

UNIVERSITE DE LIMOGES
FACULTE DE DROIT ET DES SCIENCES ECONOMIQUES

**RAPPROCHEMENT DES RICHESSES
PAR TETE :
CONVERGENCE OU RATRAPAGE ?**

Thèse de doctorat en Sciences Economiques
présentée et soutenue publiquement le 26 Novembre 2001 par

Catherine CELERIER-MOUNET

Jury

Directeur : **M. Ph. DARREAU**
Professeur à l'Université de Limoges

Rapporteurs : **M. Ch. AUBIN**
Professeur à l'Université de Poitiers
M. Ch. TAVERA
Professeur à l'Université de Rennes I

Assesseurs : **M. R. ARCHER**
Professeur à l'Université de Limoges
M. B. WIGNIOLLE
Professeur à l'Université de Paris I

**RAPPROCHEMENT DES RICHESSES
PAR TETE :
CONVERGENCE OU RATTRAPAGE ?**

Thèse de doctorat en Sciences Economiques
présentée et soutenue publiquement le 26 Novembre 2001 par

Catherine CELERIER-MOUNET

Jury

Directeur : **M. Ph. DARREAU**
Professeur à l'Université de Limoges

Rapporteurs : **M. Ch. AUBIN**
Professeur à l'Université de Poitiers
M. Ch. TAVERA
Professeur à l'Université de Rennes I

Assesseurs : **M. R. ARCHER**
Professeur à l'Université de Limoges
M. B. WIGNIOLLE
Professeur à l'Université de Paris I

"La faculté n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans les thèses ; elles doivent être considérées comme propres à leurs auteurs."

Remerciements

Mes remerciements s'adressent, en premier lieu, à Monsieur le Professeur Philippe Darreau qui a accepté de diriger mon travail de thèse. Sa confiance, ses encouragements et surtout sa disponibilité m'ont été d'une grande aide et m'ont permis de mener à terme cette recherche.

Je voudrais ensuite remercier Messieurs les Professeurs Raymond Archer, Christian Aubin, Christophe Tavéra et Bertrand Wigniolle d'avoir accepté de faire partie de ce jury.

Je tiens également à remercier Pascale Heniau-Torre pour les nombreuses discussions que nous avons eues ensemble. Je lui suis très reconnaissante d'avoir toujours été disponible pour répondre à mes questions, relire mon travail et plus généralement pour m'avoir toujours encouragée. Ses critiques et ses remarques m'ont été précieuses.

Je remercie aussi Monsieur le Professeur Alain Sauviat de son accueil au sein du Centre de Recherche en Macroéconomie Monétaire et des conditions matérielles mises à ma disposition. Je n'oublierai pas non plus de citer ici toutes les personnes du CRMM pour leur gentillesse et l'attention qu'elles ont portée à la relecture de cette thèse.

Je ne pourrai conclure sans remercier ma famille. Merci à mes parents pour leur confiance et leur aide. Merci aussi aux parents d'Olivier pour leur soutien. Merci encore à tous mes amis pour leurs encouragements et pour la tolérance à laquelle je les ai contraints ces derniers temps par manque d'attention.

Enfin, un grand merci tout particulier pour Olivier qui m'a "supportée", dans tous les sens du terme, tout au long de ces années. Sa patience, sa conviction et sa confiance m'ont été, à l'évidence, d'un grand réconfort.

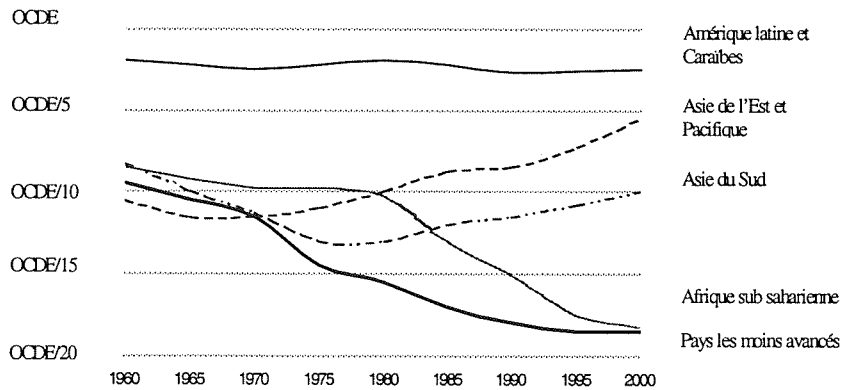
SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Chapitre 1 Définitions et limites du concept de convergence des PIB par tête	14
Chapitre 2 Convergence et rattrapage : quelle modélisation retenir pour les séparer ?.....	64
Chapitre 3 Un modèle théorique de rapprochement des PIB par tête .	118
Chapitre 4 Mesure de la technologie : des limites de la productivité totale des facteurs à la construction d'un indicateur synthétique	154
Chapitre 5 Séparation de la convergence et du rattrapage : analyse empirique du rapprochement des PIB par tête.....	197
CONCLUSION GÉNÉRALE	237
BIBLIOGRAPHIE	246
TABLE DES MATIÈRES	259

Introduction générale

Au cours du 20^{ème} siècle, la richesse par tête des pays pauvres ne s'est pas rapprochée de celle des pays riches. Au contraire, le phénomène de croissance rapide des pays riches et de croissance lente des pays pauvres semble inexorablement faire diverger les richesses par tête dans le monde. En 1960, de nombreux pays (Asie de l'Est et Pacifique, Asie du Sud, Afrique sub-saharienne) possédaient un revenu moyen par habitant environ 9 à 10 fois inférieur à celui des pays de l'OCDE à revenu élevé (figure 1). La croissance phénoménale enregistrée par les pays asiatiques s'est ensuite traduite par une forte progression du revenu par habitant, avec une proportion qui a été multipliée par deux entre 1960 et 1998. En revanche, dans le même temps, la situation des pays africains se détériore : le revenu en Afrique sub-saharienne et dans les pays les moins avancés est 18 fois moindre en 1998.

FIG. 1 – Comparaison des revenus (PNUD (2001))



Curieusement, la théorie économique de la croissance fournit un modèle de croissance de long terme qui prévoit la convergence des revenus par tête. Certes, le modèle de Solow est à même de fournir une prédiction plus nuancée. Il prévoit, en fait, une convergence conditionnelle aux paramètres structurels propres à chaque pays, que ce soit du côté des conditions de production (élasticités de la fonction de production, taux d'amortissement du capital...) ou du côté des comportements des agents (goût pour l'épargne, pour la procréation...). Mais comment imaginer que, à long terme, ces paramètres ne convergent pas eux-mêmes? Comment se contenter d'une explication aussi exogène du sous-développement?

La théorie de la croissance endogène a, depuis 20 ans, permis de voir plus clair sur le rôle de l'accumulation de capital autre que le capital physique. Que ce soit le capital humain ou surtout le capital technologique, nous comprenons mieux maintenant comment ces capitaux sont accumulés et les défaillances liées

à ces accumulations (externalités, biens publics, congestion...). Un apport fondamental de ces théories a été de mettre en évidence la possibilité de trappes à sous développement, d'absence de convergence. Dans certains cas, les économies pauvres ne peuvent pas converger parce qu'elles se trouvent dans un équilibre où, à cause d'un manque de capital humain ou de capital technologique, elles n'ont aucune incitation à accumuler du capital physique. Mais, comment imaginer qu'à long terme ces stocks de capital humain ou technologique ne convergent pas eux-mêmes? Comment se contenter d'une explication aussi peu endogène du sous développement?

La technologie et les connaissances sont un bien public et libre qui, à terme, doit se diffuser dans toutes les économies. Il existe un concept, utilisé par Abramovitz (1986) et Maddison (1987), qui s'applique à la diffusion de la technologie : le rattrapage. Le rattrapage signifie que les pays en retard technologiquement profitent gratuitement de la technologie du pays leader et, de ce fait, bénéficient d'un bonus de croissance. Il se peut que, pour diverses raisons avancées par la théorie de la croissance endogène, certains pays ne profitent pas de ce rattrapage. Vu ainsi, le non rattrapage pourrait alors être une cause de la non convergence mise en évidence par les modèles de croissance endogène.

Les phénomènes de convergence et de rattrapage sont donc distincts. Mais, cette distinction n'a jamais été clairement établie. Ces termes sont souvent employés comme synonymes pour parler de l'évolution des PIB par tête les uns vers les autres, c'est-à-dire pour étudier le *rapprochement* des PIB par tête.

Distinction convergence rattrapage

La convergence, enseignement principal du modèle de Solow, résulte de l'existence de rendements décroissants sur le capital physique. Du fait d'un niveau de capital relativement faible, la productivité marginale du capital dans les pays pauvres est très élevée et les investissements sont bien rémunérés. Les capitaux s'accumulent dans ces pays. L'augmentation du capital par tête entraîne une augmentation rapide du produit par tête dans les pays pauvres. Cela conduit au résultat de convergence : plus le niveau initial de PIB par tête est faible, plus le taux de croissance de l'économie est transitoirement élevé. A long terme, les économies ont toutes le même taux de croissance.

Mais, pour que le rapprochement du Japon vers les USA soit compatible avec la dynamique transitoire du modèle néoclassique, King et Rebelo (1993) soulignent que les taux d'intérêt annuels du Japon auraient dû dépasser 500% par an. Cela n'a pas été le cas, or le Japon s'est effectivement rapproché des USA. L'accumulation de capital n'est donc pas suffisante pour expliquer la rapidité de leur transition. L'introduction des transferts de technologie permet alors d'expliquer les transitions rapides qui ont été observées, tout en gardant des valeurs du taux d'intérêt cohérentes.

Au mécanisme de convergence s'ajoute un autre mécanisme, selon nous, tout aussi important : le rattrapage technologique. Il y a rattrapage lorsqu'un pays, à cause de la faiblesse de son niveau de technologie, bénéficie de transferts gratuits de technologie et va ainsi croître plus vite.

Du fait de leur retard, les pays les moins avancés technologiquement n'entre-

prennent pas de dépenses de recherche et développement puisqu'ils bénéficient du stock considérable des technologies que possède le pays le plus avancé. Il existe, en effet, des avantages à ne pas être à la pointe du progrès.¹ En imitant les technologies existant dans les pays avancés, ils bénéficient de dépenses moindres de recherche et développement. Un pays bénéficie, en principe, d'opportunités de croissance d'autant plus grandes que son retard technologique est accentué. Profitant des technologies mises au point par les pays les plus avancés, il pourra connaître une croissance particulièrement forte. Il parviendra ainsi à rattraper ces pays. Puisque la croissance potentielle est proportionnelle au retard technologique, les pays les plus attardés sont aussi ceux qui sont le plus incités à adopter la technologie des pays les plus avancés. Les pays près de la frontière technologique sont, eux, moins performants en termes de croissance économique. A mesure que l'écart technologique se réduit, les bénéfices dont profitent les pays diminuent et l'incitation à imiter le pays le plus avancé technologiquement est moins pressante. Le rattrapage résulte donc de l'existence d'écarts de technologie entre les pays.

Chaque concept fait appel à un mécanisme très précis. La convergence s'explique par l'existence de rendements décroissants sur le capital physique : par le biais d'une accumulation de capital physique, à long terme, les pays croissent au même taux et les productions par tête tendent à se rapprocher les unes des autres. En revanche, le rattrapage est lié aux écarts de technologie : les productions par tête tendent à se rapprocher grâce à un transfert gratuit de technologie du pays leader vers le pays suiveur. Ce mécanisme est bien distinct de celui de la

1. Par exemple, dans le secteur des nouvelles technologies de l'information et de la communication, une entreprise qui copie un équipement va supporter un coût beaucoup plus faible aujourd'hui que quelques années plus tôt. Elle va aussi éviter les erreurs commises par les premiers et bénéficiera finalement de gains d'efficacité.

convergence et contribue aussi à l'explication du rapprochement des économies. L'utilisation indifférenciée de ces deux termes dans la littérature sur la croissance économique² se révèle donc incorrecte. Le rapprochement des pays doit être expliqué, d'une part par la convergence et, d'autre part, par le rattrapage. Cette thèse est fondée sur l'idée que la séparation rigoureuse de ces deux concepts doit être faite pour clarifier le processus de rapprochement des richesses par tête nationales.

Intérêt du problème

La question conventionnelle est de savoir par quel processus les pays suiveurs se rapprochent du niveau de productivité des USA. Est-ce par accumulation de capital physique ou par transfert de technologie? Ces deux phénomènes doivent être séparés car il est aujourd'hui utile de comprendre si ce sont les dotations en capital technologique qui rattrapent (ou non) ou si ce sont les dotations en capital physique qui convergent (ou non). Les conséquences de la réponse à cette interrogation en termes de politique économique sont évidemment importantes.

Selon les pays considérés, les raisons du rapprochement sont différentes. Le Japon est, par exemple, l'illustration d'un pays qui a bénéficié du rattrapage technologique. Selon Maddison (1992), le Japon a "déployé de remarquables efforts visant à promouvoir les transferts et l'assimilation des techniques. Cette période [1950-1973] a, de ce fait, été marquée par de fortes augmentations de la productivité du travail et de la productivité globale des facteurs. Souvent inter-

2. Dans l'abondante littérature sur la convergence, les auteurs emploient comme synonyme les termes "convergence" et "rattrapage" (Sala I Martin (1996), Le Pen (1997), Durlauf et Quah (1998)). Une exception est sans doute Abramovitz (1986) qui définit le rattrapage comme les opportunités de croissance dont un pays bénéficie du fait de son retard technologique.

prété comme une accélération du progrès technique, il s'est principalement agi d'un simple rattrapage technologique".

Depuis quelques années, nous assistons à un débat sur les origines de la forte croissance des pays asiatiques. Cette croissance s'explique-t-elle par la forte accumulation des facteurs de production ou par la capacité des pays à assimiler la technologie étrangère à moindre coût? Young (1995) montre que la caractéristique principale des nouveaux pays industrialisés est d'avoir augmenté avec succès l'investissement et l'emploi dans l'industrie. Ainsi, la croissance des NPI résulterait essentiellement d'un phénomène de convergence. A l'inverse, Klenow et Rodriguez-Clare (1997b) expliquent que l'interprétation des résultats de Young n'est pas correcte. Ce dernier aurait réalisé son étude sur la croissance du PIB alors que c'est sur le taux de croissance du PIB par tête que doit porter l'analyse. Dans ce cas, les résultats sont complètement différents et l'accumulation des facteurs a un rôle mineur. La raison principale du succès des économies asiatiques résiderait dans la diffusion du progrès technique et dans les transferts de technologie.

Il apparaît difficile de dissocier, dans les faits, la convergence et le rattrapage. L'Europe et le Japon, au lendemain de la guerre, disposaient d'un stock de capital très faible et d'un niveau de technologie peu élevé. Parce que les capitaux étaient mieux rémunérés dans ces pays, les investissements ont été importants et nous avons effectivement assisté à un processus de convergence. Mais ces pays ont aussi bénéficié de l'avance technologique des américains, ce qui leur a permis de rattraper leur retard. Maddison (1987), qui suppose que le bonus du rattrapage dépend de l'ampleur de l'écart entre les pays et du taux auquel cet écart diminue,

prétend que l'effet du rattrapage a été beaucoup plus important au Japon que dans les autres pays, parce que le Japon avait la position de départ la plus basse (14% environ du niveau des Etats-Unis). Aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne où le niveau de technologie était proche de celui des Etats-Unis, le rattrapage fut bien moindre.

Les deux mécanismes ont donc fonctionné pour expliquer le rapprochement des Etats-Unis par l'Europe et le Japon, et l'écheveau semble difficile à démêler. La théorie économique contient, en effet, des éléments permettant d'expliquer pourquoi les deux phénomènes sont liés. La théorie de progrès technique incorporé considère que le progrès technique est incorporé aux dernières unités de capital investies. L'accumulation de capital est alors le principal vecteur de diffusion du progrès technique.

Symétriquement, les avancées technologiques dont bénéficient les pays suivants stimulent l'accumulation de capital parce que les opportunités de modernisation des équipements promettent un taux de rendement de l'investissement plus élevé.

De même, à long terme, dans la logique du modèle de Solow, les faibles coûts d'importation des connaissances devraient permettre à tous les pays d'atteindre un jour ou l'autre le même paramètre de technologie dans leur fonction de production. La transmission du savoir devrait permettre aux fonctions de production d'être les mêmes dans tous les pays. Dans ce cas, les pays pauvres sont effectivement ceux dont le stock de capital est faible. L'épargne étrangère devrait alors être attirée par la perspective de rendement plus élevé et ce jusqu'à ce que tous les pays aient la même productivité moyenne du capital.

Ainsi, sur le plan théorique, nous assistons parallèlement à un phénomène de

rattrapage et convergence de tous les pays vers le même niveau de PIB réel par tête.

Distinguer ces deux phénomènes dans le rapprochement des PIB par tête nous semble important pour pouvoir mieux expliquer les phénomènes passés et proposer, sur cette base, des politiques futures.

Objectif de la thèse et intérêt pratique

Notre objectif est de construire une théorie permettant de dissocier clairement la convergence et le rattrapage dans le rapprochement des PIB par tête.

L'intérêt d'une telle démarche n'est pas seulement théorique mais également pratique.

L'intérêt théorique est, comme nous venons de le souligner, de séparer deux causes du rapprochement qui sont fondamentalement différentes et dont les implications respectives nous semblent du même ordre de grandeur. Nous voulons dire par là que le rattrapage est, sans doute, dans les faits, un phénomène aussi important que la convergence.

L'intérêt pratique de notre réflexion concerne les implications en termes de politique économique. Les programmes de développement butent, en effet, à un niveau très général, sur cette question. La politique du big push des années soixante a échoué parce que les transferts de capitaux sans transferts de technologie n'ont pas permis aux pays en développement de décoller.

En fait, en s'intéressant au débat de politique économique concernant le problème du développement des pays pauvres au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, nous observons que les deux grandes variables de politique économique qui sont en jeu sont l'épargne et l'éducation. Dans les années soixante, à

la suite du modèle de Solow (1957), l'épargne constituait l'instrument privilégié du développement. A la fin des années quatre-vingts, avec le modèle de croissance endogène de Lucas (1988), l'éducation est devenue l'instrument "vedette" du développement. Notre objectif est d'apporter une contribution à la question fondamentale suivante : quelle est la politique la plus efficace pour permettre le rapprochement des PIB par tête des pays pauvres ? Notre façon de concevoir le problème du rapprochement des PIB par tête en termes à la fois de convergence et de rattrapage permet d'aborder cette question de manière très schématique. Si le rapprochement des PIB par tête s'explique par la convergence conditionnelle aux taux d'épargne, les différences de PIB par tête viennent des différences de taux d'épargne. Mener des politiques favorisant l'épargne/investissement doit permettre le rapprochement des PIB par tête. Si le rapprochement des PIB par tête s'explique par le rattrapage conditionnel aux niveaux d'éducation, mener des politiques favorisant l'éducation doit permettre ce rapprochement.

Il est donc important de connaître, empiriquement, pour les pays qui ont réussi leur démarrage, les effets de la convergence et du rattrapage. Cette connaissance empirique, expliquée par un modèle théorique, pourrait être un guide précieux pour l'action publique.

L'objectif de cette thèse est de distinguer l'influence de chaque phénomène dans la croissance des PIB par tête. Au traditionnel mécanisme des rendements décroissants, s'ajoute l'existence d'écarts de technologie qui vient accélérer le processus de croissance. Comment modéliser théoriquement ces deux mécanismes dans un même contexte ? Quelle est leur contribution dans le processus de croissance des pays depuis une trentaine d'années ? Pourquoi certains pays ne rattrapent-ils pas ? Telles sont les questions auxquelles cette thèse tente de répondre.

Plan de la thèse

Cette thèse se compose de cinq chapitres. Le premier expose les limites des estimations traditionnelles de convergence. Le deuxième chapitre cherche à définir le cadre d'analyse permettant la séparation théorique de la convergence et du rattrapage. Dans le troisième chapitre, nous construisons un modèle de croissance exogène intégrant les écarts de technologie dans le processus d'accumulation de la technologie. Sa résolution permet d'obtenir une équation théorique séparant explicitement les effets de la convergence et les effets du rattrapage. Dans le chapitre 4, nous nous interrogeons sur la mesure de la technologie et le cinquième chapitre développe des tests économétriques afin de déterminer la présence et la nature de la convergence et du rattrapage dans le rapprochement des PIB par tête.

Le premier chapitre analyse le concept de convergence. Il ne s'agit nullement de faire une revue de la nombreuse littérature existant sur les tests de convergence mais plutôt de montrer les limites posées par ceux-ci afin notamment de mettre en évidence l'importance de la variable technologique. La première section présente les différentes notions de convergence proposées par la littérature. La seconde section développe les limites économétriques des estimations de β convergence et montre que l'introduction des niveaux de technologie dans l'estimation de l'équation de convergence modifie les résultats habituels de Mankiw, Romer et Weil (1992). Cette revue critique de la littérature nous amène à conclure sur la nécessité de tenir compte de la technologie dans l'analyse du rapprochement.

Le deuxième chapitre aborde la question du cadre théorique à retenir pour étudier simultanément les effets de l'accumulation de capital et des écarts de

technologie. Notre modèle théorique doit répondre à une double préoccupation : séparer explicitement convergence et rattrapage et aboutir à une équation qui puisse faire l'objet d'estimations économétriques. La première section présente un modèle de croissance semi endogène dans lequel la séparation entre convergence et rattrapage n'est obtenue que sous certaines hypothèses très restrictives. Nous abandonnons donc ce cadre d'analyse pour, dans la seconde section, montrer que le cadre de croissance endogène n'est pas compatible avec notre objectif. Nous concluons à la nécessité de modéliser convergence et rattrapage dans un cadre de croissance exogène.

Notre modèle et sa résolution sont exposés dans le chapitre 3 . Nous présentons, tout d'abord, le cadre général, en nous attachant principalement à expliquer la construction de la fonction d'accumulation de la technologie. Puis, la deuxième section caractérise la situation de régime permanent. Nous montrons qu'il peut exister des cas pour lesquels le pays initialement le plus avancé technologiquement est dépassé en termes de production par tête par un autre pays. L'étude de la dynamique transitoire, présentée dans la troisième section, permet de séparer théoriquement la convergence et le rattrapage dans la croissance du produit par tête.

Pour pouvoir estimer économétriquement l'équation théorique du chapitre 3, il est nécessaire de disposer d'indicateurs du niveau de technologie. C'est pourquoi le chapitre 4 traite de la mesure de la technologie à retenir. La technologie, comme nous l'expliquons dans la première section, est souvent assimilée à la productivité totale des facteurs (PTF). Or, la PTF ne constitue pas, semble-t-il, une

bonne mesure. Elle englobe, en effet, tout ce qui n'est pas expliqué par les facteurs capital et travail. La deuxième section développe les principaux indicateurs de technologie qui assimilent la technologie à l'activité de recherche et développement. Comme chacun de ces indicateurs apporte une information différente et pertinente, nous décidons de construire notre propre indicateur de technologie. La méthode utilisée et les résultats obtenus sont exposés dans la dernière section.

Enfin, le chapitre 5 est consacré à la réalisation d'une étude économétrique pour déterminer empiriquement la nature et l'ampleur de chaque mécanisme. Après avoir, dans une première section, présenté les équations à estimer ainsi que les données, nous montrons qu'il existe, au sein des pays de l'OCDE, un phénomène de convergence conditionnelle et de rattrapage absolu. En revanche, au niveau mondial, c'est-à-dire lorsque nous étudions le comportement de pays avec des niveaux de développement très différents, il n'existe pas de rattrapage. Toutefois, en excluant les pays les moins avancés, nous mettons en évidence la présence de rattrapage conditionnel au niveau d'éducation. Nous concluons cette étude par quelques recommandations en termes de politique économique.

Chapitre 1

Définitions et limites du concept de
convergence des PIB par tête

Introduction

Depuis le milieu des années quatre-vingts, l'analyse de la convergence des revenus par tête fait l'objet d'une abondante littérature empirique. Comme le soulignent Baumol, Blackman et Wolff (1989), ce développement de la recherche empirique s'explique surtout par l'importance de la question elle-même : peut-on espérer que le niveau de PIB par tête des pays pauvres atteigne un jour celui des pays riches ?

Nous nous intéressons, dans le cadre de ce chapitre, aux différentes études empiriques portant sur la convergence. Notre but n'est pas de proposer une revue de la littérature¹ mais plutôt de montrer pourquoi il va être nécessaire d'intégrer la technologie dans l'explication du taux de croissance du PIB par tête des pays.

Ainsi, l'objectif de ce chapitre est d'exposer les limites des différentes études de convergence et plus particulièrement les limites de l'approche habituellement retenue, celle de β convergence.

La littérature propose trois approches de la convergence que nous développons dans la première section. Nous montrons, par rapport à notre problématique, que seule l'approche par la β convergence peut nous permettre de caractériser le

1. voir les travaux de Barro et Sala I Martin (1995b), Sala I Martin (1996b), de la Fuente (1995), Le Pen (1997), Durlauf et Quah (1998) ou encore Temple (1999).

comportement des économies pendant la dynamique transitoire.

Toutefois, cette notion de β convergence souffre de nombreuses limites que nous présentons dans la seconde section. Il découle de l'analyse de ces limites la nécessité de tenir compte de l'hétérogénéité des niveaux de technologie dans l'équation de convergence.

1.1 La notion de convergence

Dans cette section, nous exposons les différentes approches et formalisations de la notion de convergence : β , σ et S convergence. Puis, nous développons les principaux résultats des études réalisées à partir de ces différentes définitions. Enfin, nous présentons les raisons pour lesquelles seule la β convergence est retenue comme mesure de la convergence.

1.1.1 Différentes définitions de la convergence

Nous trouvons, dans la littérature, trois définitions de la convergence. La première définition, la β convergence, repose sur des fondements théoriques issus du modèle de Solow. Les deux autres définitions correspondent à des mesures statistiques et économétriques. Plus précisément, la σ convergence mesure directement la réduction des écarts de PIB par tête au cours du temps ; la S convergence concerne la stationnarité des écarts de PIB par tête.

1.1.1.1 La β convergence : relation entre taux de croissance et niveau initial du PIB par tête

La première définition de la convergence, la β convergence, a pour fondement le modèle théorique néoclassique de Solow.

Définition : la β convergence est la prédiction d'une corrélation négative entre les taux de croissance et les niveaux initiaux de revenus par tête en coupe instantanée.

Deux concepts de β convergence peuvent être distingués : la β convergence absolue et la β convergence conditionnelle.

Le concept de β convergence absolue. Il existe une relation de β convergence absolue entre N pays si on observe une relation négative entre le taux de croissance moyen et le niveau initial du PIB par tête.

Si on note $g_{i,t_1,t_2} = \frac{\ln y_{i,t_2} - \ln y_{i,t_1}}{(t_2 - t_1)}$ le taux de croissance moyen du pays i sur la période $[t_1, t_2]$ et $\ln y_{i,t_1}$ le logarithme du PIB par tête à la date t_1 , on estime la β convergence absolue à partir de l'équation suivante (Baumol (1986)) :

$$g_{i,t_1,t_2} = a + b \ln y_{i,t_1} + \varepsilon_i, \quad (1.1)$$

Le résultat de β convergence absolue est vérifié si le coefficient b est négatif. Toutes choses égales par ailleurs, de faibles valeurs du revenu par tête initial sont associées à des valeurs élevées du taux de croissance moyen sur la période. Ainsi, la β convergence absolue implique qu'une économie pauvre aura un taux de croissance plus élevé qu'une économie riche, *ceteris paribus*. Deux économies en tous points identiques convergent vers le même état stationnaire, l'économie dont le niveau de revenu par tête est plus faible ayant un taux de croissance plus élevé. Nous devrions donc assister, à terme, à une convergence des PIB par tête des pays pauvres vers ceux des pays riches.

Rejet de l'hypothèse de β convergence absolue. La convergence absolue repose sur l'hypothèse selon laquelle les paramètres des états réguliers des diffé-

rentes économiques sont identiques. Si cette hypothèse n'est pas acceptée, le concept de β convergence absolue ne s'applique plus. En effet, une économie riche peut avoir un taux de croissance plus élevé qu'une économie pauvre si elle est plus éloignée de son état régulier que l'économie pauvre n'est éloignée du sien. Ce résultat peut être montré graphiquement en étudiant la dynamique du capital (figure 1.1). Nous considérons deux économies, une économie riche (r) et une économie pauvre (p) qui diffèrent non seulement par le niveau initial du stock de capital par tête efficace mais aussi par le taux d'épargne. Nous rappelons que l'équation dynamique fondamentale est de la forme : $g_{\hat{k}} = s \frac{\hat{y}}{\hat{k}} - (x + n + \delta)$, où s désigne le taux d'épargne, n le taux de croissance de la population, x le taux de croissance de la technologie, δ le taux de dépréciation du capital, \hat{k} le stock de capital par tête efficace et \hat{y} le produit par tête efficace. A l'état stationnaire, $g_{\hat{k}}$ est nul, ce qui implique $s \frac{\hat{y}}{\hat{k}} = x + n + d$.

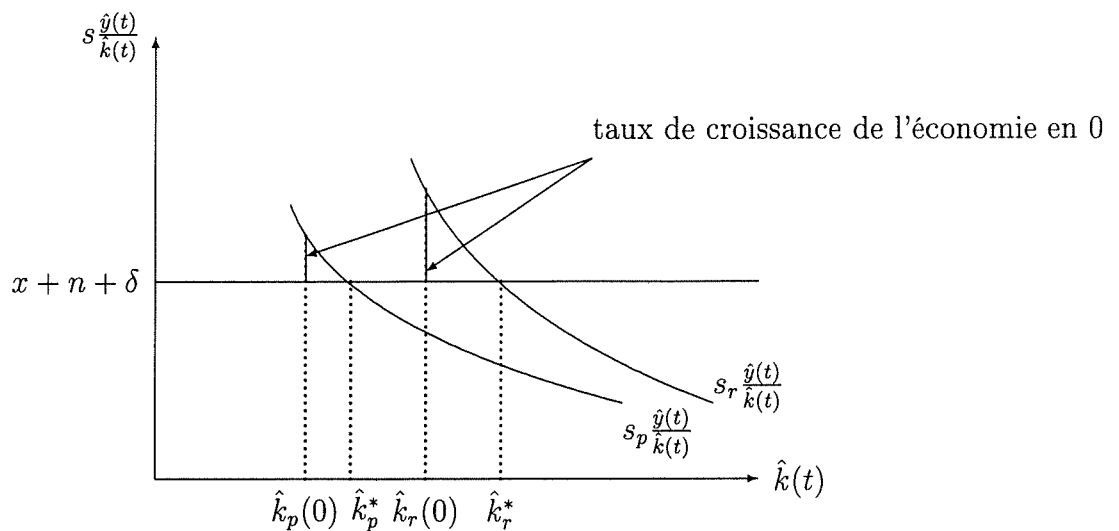


FIG. 1.1 – β convergence conditionnelle dans le modèle de Solow

Comme l'illustre la figure 1.1, l'économie riche se trouve proportionnellement plus éloignée de sa position d'état stationnaire que l'économie pauvre. L'idée principale de la convergence, issue de la propriété de stabilité de l'état régulier du modèle de croissance néoclassique, est qu'une économie croît d'autant plus vite qu'elle est plus éloignée de son propre état stationnaire. Il est ainsi possible que l'économie riche croisse plus vite que l'économie pauvre. On parle de β convergence conditionnelle : le taux de croissance d'une économie est relié positivement à la distance qui sépare cette économie de son état stationnaire.

Spécification du test de β convergence conditionnelle : le modèle de Solow "augmenté". Nous expliquons ici comment le modèle de Solow "augmenté" permet de déduire le résultat de β convergence conditionnelle. Nous prenons comme cadre de référence le modèle de Mankiw, Romer et Weil (1992) qui considère un facteur supplémentaire dans la fonction de production du modèle de Solow : le capital humain.

Soit la fonction de production de type Cobb-Douglas suivante :

$$Y(t) = K(t)^\alpha H(t)^\gamma (A(t)L(t))^{1-\alpha-\gamma}$$

où Y désigne la production, K le stock de capital physique, L le stock de travail, H le stock de capital humain et A le niveau de technologie. On suppose que : $\alpha + \gamma < 1$.

$L(t)$ et $A(t)$ croissent respectivement aux taux exogènes n et x :

$$L(t) = L(0)e^{nt} \quad A(t) = A(0)e^{xt}$$

Les rendements d'échelle sont constants et la productivité marginale du capital physique est une fonction décroissante du stock de capital physique. Cette

hypothèse est la caractéristique fondamentale du modèle néoclassique qui conduit à la β convergence.

Nous pouvons alors réécrire la fonction de production en variables par tête efficace :

$$\hat{y}(t) = \hat{k}^\alpha(t) \hat{h}^\gamma(t) \quad (1.2)$$

avec $\hat{y} = \frac{Y}{AL}$ la production par tête efficace, $\hat{k} = \frac{K}{AL}$ le capital physique par tête efficace et $\hat{h} = \frac{H}{AL}$ le capital humain par tête efficace.

Les dynamiques du capital physique par tête efficace et du capital humain par tête efficace sont respectivement déterminées par :

$$D\hat{k}(t) = s_k \hat{y}(t) - (x + n + \delta) \hat{k}(t) \quad (1.3)$$

$$D\hat{h}(t) = s_h \hat{y}(t) - (x + n + \delta) \hat{h}(t) \quad (1.4)$$

s_k et s_h représentent les parts constantes de la production qui sont respectivement investies en capital physique et en capital humain.

A l'état stationnaire, le taux de croissance des variables par tête efficace est nul. La résolution du modèle montre que le niveau de production par tête efficace atteint la valeur constante \hat{y}^* définie par :

$$\ln \hat{y}^* = \frac{\alpha}{1 - \alpha - \gamma} \ln s_k + \frac{\gamma}{1 - \alpha - \gamma} \ln s_h - \frac{\alpha + \gamma}{1 - \alpha - \gamma} \ln(x + n + \delta)$$

d'où l'expression du niveau de la production par tête à l'état stationnaire :

$$\ln y^*(t) = \ln A(0) + xt + \frac{\alpha}{1 - \alpha - \gamma} \ln s_k + \frac{\gamma}{1 - \alpha - \gamma} \ln s_h - \frac{\alpha + \gamma}{1 - \alpha - \gamma} \ln(x + n + \delta) \quad (1.5)$$

En dérivant cette équation par rapport au temps, nous retrouvons le résultat du modèle de Solow selon lequel la production par tête croît au même taux que

le progrès technique. A long terme, il y a donc égalisation des taux de croissance des variables par tête entre les différents pays.

Pour déduire le résultat de convergence conditionnelle, il faut caractériser le comportement des économies en dehors de leur régime permanent. Ce comportement, issu des équations d'accumulation du capital physique, du capital humain ainsi que de la fonction de production², est déterminé par l'équation de dynamique transitoire suivante :

$$\frac{d \ln \hat{y}(t)}{dt} = -\beta [\ln \hat{y}(t) - \ln \hat{y}^*]$$

où $\beta = (1 - \alpha - \gamma)(x + n + \delta)$ désigne le coefficient de convergence. De cette équation, on établit que :

$$\ln \hat{y}(t_2) - \ln \hat{y}(t_1) = -(1 - e^{-\beta\tau})(\ln \hat{y}(t_1) - \ln \hat{y}^*) \quad (1.6)$$

où $\hat{y}(t_1)$ représente le niveau de production par tête efficace à une date initiale donnée et $\tau = t_2 - t_1$. En remplaçant $\ln \hat{y}^*$ par son expression, on obtient l'équation de β convergence conditionnelle :

$$\begin{aligned} \ln y(t_2) - \ln y(t_1) = & (1 - e^{\beta\tau}) \ln A(t_1) + x(t_2 + e^{-\beta\tau}t_1) - (1 - e^{\beta\tau}) \ln y(t_1) \\ & + (1 - e^{\beta\tau}) \left(\frac{\alpha}{1-\alpha-\gamma} \right) \ln s_k + (1 - e^{\beta\tau}) \left(\frac{\gamma}{1-\alpha-\gamma} \right) \ln s_h \\ & - (1 - e^{\beta\tau}) \left(\frac{\alpha+\gamma}{1-\alpha-\gamma} \right) \ln(x + n + \delta) \end{aligned} \quad (1.7)$$

Ainsi, la théorie montre que la convergence est conditionnelle aux paramètres des économies. En général, on considère qu'elle est conditionnelle aux valeurs

2. Voir annexe 1.A.

d'état stationnaire, en particulier au taux d'épargne (en capital physique ou en capital humain) et au taux de croissance de la population.

Déterminée par la résolution de la dynamique transitoire du modèle néoclassique, la β convergence correspond à une mesure théorique. La σ convergence et la S convergence s'apparentent, en revanche, respectivement à des mesures statistiques et économétriques.

1.1.1.2 La σ convergence : réduction de la dispersion des PIB par tête

La deuxième définition possible de la convergence, la σ convergence, est celle introduite dans les travaux de Barro et Sala I Martin (1991) et Barro (1991).

Alors que la β convergence est un concept théorique qui résulte de la présence d'un mécanisme d'ajustement d'un PIB par tête vers son état stationnaire, la σ convergence est une mesure statistique de l'évolution des PIB par tête entre eux.

Définition : il y a σ convergence entre les économies de l'échantillon étudié s'il est possible de mettre en évidence une diminution de la dispersion des revenus par tête en coupe instantanée. Il existe une relation de σ convergence entre N pays si la dispersion, mesurée par la variance de la distribution des PIB par tête en logarithme des N pays, σ_t^2 , diminue dans le temps :

$$\sigma_0^2 > \sigma_1^2 > \sigma_2^2 > \dots > \sigma_T^2 \quad t \in [0; T] \quad (1.8)$$

$$\text{où } \sigma_t^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\ln y_{it} - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln y_{it} \right) \right)^2.$$

La figure 1.2 illustre ce phénomène de σ convergence.

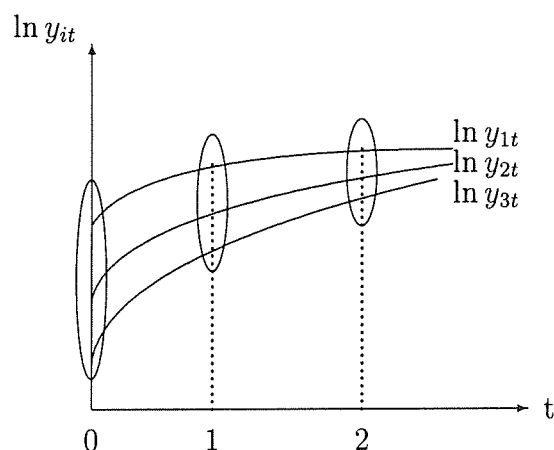


FIG. 1.2 – Diminution de la dispersion du revenu par tête

La dispersion des revenus par tête à la période 0 étant plus élevée qu'aux périodes 1 et 2, nous pouvons conclure à la présence de σ convergence entre les trois économies étudiées.

1.1.1.3 La S convergence : stationnarité des écarts de PIB par tête

Cette définition, proposée par Quah (1992), Bernard et Durlauf (1995) ou encore St Aubyn (1999), repose sur le comportement à long terme des écarts de PIB par tête. Nous appelons cette définition de la convergence la S convergence.

Définition : il y a S convergence quand l'espérance des différences de revenus entre deux pays tend vers 0 au fur et à mesure que l'horizon de prévision tend vers l'infini. Ainsi, le pays i S -converge vers le pays j si et seulement si y_{it} ne peut s'éloigner durablement de y_{jt} , c'est-à-dire si $y_{it} - y_{jt}$ est un processus stochastique stationnaire de moyenne nulle. Il existe alors entre y_i et y_j une relation de court terme faisant apparaître un mécanisme de correction d'erreurs. On appelle I_t

l'ensemble d'informations disponibles à la date t et on suppose que: $y_{it} > y_{jt}$.

Alors les pays i et j convergent si :

$$\lim_{k \rightarrow +\infty} E(y_{i,t+k} - y_{j,t+k} | I_t) = 0 \quad (1.9)$$

où E est l'opérateur d'espérance mathématique.

La S convergence, définie comme un processus de long terme, repose sur l'utilisation des outils associés aux séries temporelles. Tester l'hypothèse de l'existence d'une S convergence consiste à vérifier si les écarts de PIB par tête sont stationnaires. Si ces écarts admettent un processus stationnaire de moyenne nulle, alors il y a S convergence. En revanche, dans le cas où les écarts admettent une moyenne non nulle ou une racine unitaire, c'est-à-dire une tendance stochastique permanente, l'hypothèse de S convergence est rejetée. Une condition nécessaire mais non suffisante est que les séries y_{it} et y_{jt} soient cointégrées. Le pays i S -converge vers le pays j s'il existe, entre leurs PIB par tête, une relation de cointégration de la forme $(1, -1)^3$.

En résumé, la littérature portant sur la convergence fait apparaître trois notions différentes: la β convergence, résultat théorique du modèle de Solow; la σ convergence, calcul statistique de la dispersion des PIB par tête; la S convergence, méthode économétrique vérifiant la stationnarité des écarts de PIB par tête.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les principaux résultats concernant la vérification empirique de chacune des définitions de la convergence.

3. pour N pays, on doit avoir $N - 1$ relations de cointégration de la forme $(1, -1)$ sans constante.

1.1.2 Principaux résultats des études empiriques

Nous présentons successivement les principales études empiriques réalisées sur les trois définitions de la convergence.

1.1.2.1 Les études de β convergence

L'étude de β convergence repose sur l'estimation de l'équation :

$$g_{i,t_1,t_2} = a + b \ln y_{i,t_1} + c\Phi_{i,t_1} + \varepsilon_i \quad (1.10)$$

où $b = \frac{1-e^{-\beta T}}{T}$ (β est le coefficient de convergence), Φ_i correspond aux variables qui déterminent l'état stationnaire et $T = t_2 - t_1$.

Selon la nature de l'échantillon sur lequel la β convergence est estimée, deux types d'étude sont réalisées.

Homogénéité des échantillons : β convergence absolue. Barro et Sala I Martin (1995b), Sala I Martin (1996a, 1996b) estiment l'équation de convergence sur un ensemble de pays présentant des états stationnaires identiques, c'est-à-dire dont on peut accepter l'hypothèse selon laquelle ils ont les mêmes caractéristiques structurelles (états des USA ou les provinces canadiennes) : ils cherchent ainsi à vérifier l'existence de β convergence absolue.

Ces auteurs concluent à la présence de β convergence absolue, pour des pays à état régulier proche. Un résultat étonnant est, en outre, la similitude des coefficients de convergence entre les différents échantillons. Les estimations de β sont de l'ordre de 2% quel que soit l'échantillon étudié (tableau 1.1) : il faut environ 35 ans pour éliminer la moitié de l'écart initial par rapport à l'état régulier.

	48 états des USA	47 préfectures du Japon	90 régions européennes	10 provinces canadiennes
β	0.017 (0.002) ^a	0.019 (0.004)	0.015 (0.002)	0.024 (0.008)
R^2 ajusté	0.89	0.59	non fourni	0.29

TAB. 1.1 – Résultats du test de Sala I Martin (1996a)

^aLes chiffres entre parenthèses correspondent aux écart-types.

Hétérogénéité des échantillons : β convergence conditionnelle. Une seconde série d'études (Barro (1991), Barro et Sala I Martin (1991, 1992), Mankiw, Romer et Weil (MRW) (1992)) porte sur des échantillons beaucoup plus hétérogènes.

La possibilité d'états stationnaires différents est prise en compte par l'introduction des taux d'investissement, des taux de croissance de la population et du niveau de capital humain (approché par le taux de scolarisation dans le secondaire). Elle conduit à des résultats très divers selon les échantillons.

Alors que le résultat de β convergence absolue n'est pas vérifié sur un échantillon hétérogène, la β convergence conditionnelle n'est jamais rejetée : le niveau initial du PIB par tête, $\ln y_{60}$, a un effet négatif significatif sur le taux de croissance et les coefficients associés aux variables mesurant les différences d'états stationnaires ont le signe attendu et sont significatifs. Le tableau 1.2 présente les résultats obtenus par MRW (1992).

g_{t_1, t_2} expliqué par ^a .	98 pays	75 pays	22 pays
$cste$	3.04 (0.83)	3.69 (0.91)	2.81 (1.19)
$\ln y_{60}$	-0.289 (0.062)	-0.366 (0.067)	-0.398 (0.070)
$\ln \left(\frac{I}{GDP} \right)$	0.524 (0.087)	0.538 (0.102)	0.335 (0.174)
$\ln (n + x + \delta)$	-0.505 (0.288)	-0.551 (0.288)	-0.844 (0.334)
$\ln school$	0.233 (0.060)	0.271 (0.081)	0.223 (0.144)
R^2 ajusté	0.46	0.43	0.65
β	0.0137	0.0182	0.02

TAB. 1.2 – Résultats des estimations de Mankiw, Romer et Weil (1992)

^aLe premier échantillon est constitué de 98 pays : ce sont tous les pays dont les données sont disponibles, exceptés les pays producteurs de pétrole; le deuxième échantillon comprend 75 pays : les 98 pays précédents moins les pays dont la population est inférieure à un million d'habitants en 1960; enfin, le dernier échantillon est composé des 22 pays de l'OCDE dont la population est supérieure à un million d'habitants.

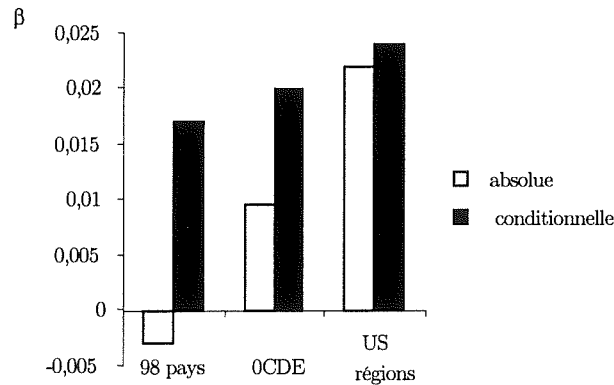
Les données sont extraites de l'UNESCO pour le taux de scolarisation et de Summers et Heston (1988b) pour toutes les autres variables.

La période d'étude est 1960-1985. g_{t_1, t_2} correspond au taux de croissance du PIB par tête de 1960 à 1985; $\ln y_{60}$ est le PIB par tête en 1960; $\ln \left(\frac{I}{PIB} \right)$ le ratio moyen de l'investissement (I) au PIB par tête réel de 1960 à 1985; n le taux de croissance annuel de la population de 1960 à 1985; x le taux de progrès technique; δ le taux de dépréciation du capital; $x + \delta = 0.05$; enfin $\ln school$ représente le taux moyen de scolarisation secondaire de 1960 à 1985.

Selon l'échantillon étudié, l'estimation du coefficient de convergence est différente mais les résultats sont relativement proches : la convergence semble s'opérer au taux d'environ 1.8% par an.

De La Fuente (2000a) montre les différences de coefficients de convergence selon la nature de l'échantillon et la nature de la convergence (absolue ou conditionnelle) (figure 1.3).

FIG. 1.3 – Convergence entre pays et régions (De La Fuente (2000a))



La convergence est la plus faible lorsque l'échantillon est très hétérogène (sur cet échantillon d'ailleurs, la convergence absolue est rejetée). En outre, plus l'échantillon étudié est homogène (par exemple les régions des USA), plus le coefficient estimé (β) issu du test de convergence absolue est proche de celui issu du test de convergence conditionnelle.

Les études réalisées sur la β convergence font apparaître qu'il n'existe pas au niveau mondial de β convergence absolue mais seulement de la β convergence conditionnelle.

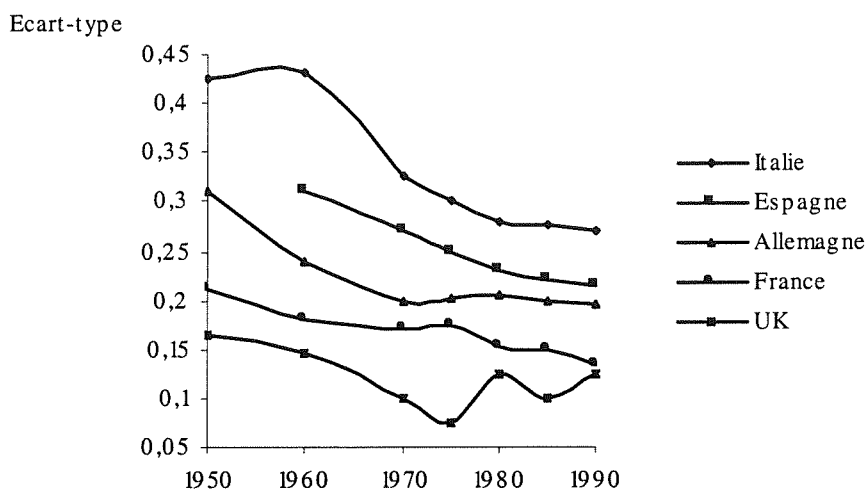
1.1.2.2 Les études de σ convergence

Comme pour la β convergence, nous distinguons les études faites sur un échantillon homogène de celles réalisées sur un échantillon plus hétérogène.

Barro et Sala I Martin (1995b) étudient la présence de σ convergence dans cinq régions européennes, c'est-à-dire au sein d'échantillons relativement homogènes. La figure 1.4 montre la variance en coupe instantanée du log du PIB par tête de

1950 à 1990, pour 11 régions d'Allemagne, 11 du Royaume-Uni, 20 d'Italie, 21 de France et 17 d'Espagne. Cette mesure de la dispersion baisse dans la plupart des cas depuis 1950 mais est relativement stable depuis 1970 en Allemagne et au Royaume-Uni. La présence de σ convergence dans les régions européennes peut donc être acceptée. Des résultats similaires sont obtenus dans le cas des états américains et des régions japonaises.

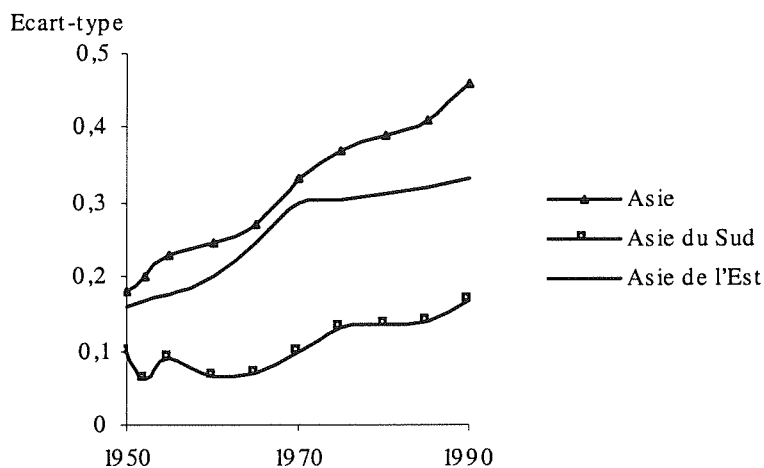
FIG. 1.4 – σ convergence sur les régions européennes (Barro et Sala I Martin (1995b))



En revanche, la dispersion des PIB par tête dans la région asiatique (Serranito (2000)) s'accroît au cours de la période 1950-1990. Quel que soit le groupe de pays considéré⁴, l'écart-type des logarithmes des revenus réels par tête augmente au cours de la période étudiée (figure 1.5). Il n'y a aucune tendance à la σ convergence en Asie.

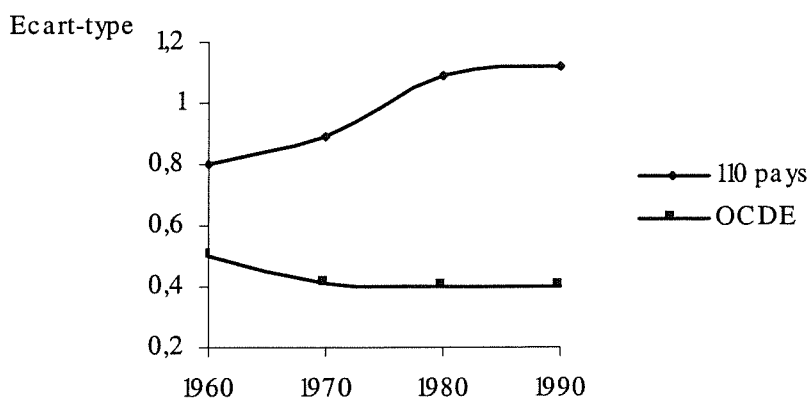
4. L'auteur distingue deux échantillons : le groupe Asie du Sud comprend le Bangladesh, la Birmanie, l'Inde et le Pakistan. L'Asie de l'Est comporte la Chine, l'Indonésie, le Japon, les Philippines, la Corée du Sud, Taiwan et la Thaïlande.

FIG. 1.5 – σ convergence dans les zones asiatiques (Serranito (2000))



L'étude de la σ convergence au sein d'un échantillon hétérogène (figure 1.6) met en avant l'augmentation de la dispersion des PIB par tête au niveau mondial. L'écart-type des logarithmes des PIB par tête de 110 pays est passé de 0.8 en 1960 à 1.5 en 1990 alors qu'en même temps, l'écart-type des logarithmes des revenus par tête des pays de l'OCDE diminue.

FIG. 1.6 – σ convergence sur 110 pays et sur l'OCDE (Sala I Martin (1996b))



Les différentes études réalisées semblent accepter la présence de σ convergence sur un échantillon homogène de pays ou de régions, mais la rejettent sur un échantillon plus hétérogène.

1.1.2.3 Les études de S convergence

Dans la littérature empirique (Quah (1992), Bernard et Durlauf (1995, 1996), Bernard et Jones (1996), Evans et Karras (1996)), cette définition de la convergence donne lieu à deux tests différents :

- un test d'absence de persistance des écarts de PIB par tête, c'est-à-dire de non stationnarité des écarts de revenu. Il y a S convergence si les PIB par tête sont cointégrés avec pour vecteur cointégrant $(1, -1)$.
- un test "plus souple" sur l'existence d'une tendance commune entre les séries des PIB par tête: le pays i et le pays j admettent une tendance commune si leurs PIB par tête sont cointégrés avec pour vecteur cointégrant $(1, -\alpha)$.

Les résultats obtenus sont généralement défavorables à la S -convergence (Quah (1992), Bernard et Jones (1996b)).

Bernard et Durlauf (1995) appliquent, par exemple, un test de racine unitaire pour vérifier la convergence des PIB par tête de 15 pays de l'OCDE sur la période 1900-1987. La S convergence, au sens d'absence de persistance des écarts de PIB par tête, est toujours rejetée. Ils cherchent ensuite à déterminer le nombre de relations cointégrantes entre ces séries. En appliquant la méthode de Johansen (1988), ils acceptent l'existence de seulement deux ou trois tendances

stochastiques communes pour les 15 pays de l'OCDE. Il n'y a pas S convergence⁵.

En revanche, Evans et Karras (1996) montrent la présence de S convergence des revenus par travailleur pour 54 pays de 1950 à 1990. L'équation qu'ils testent est la suivante :

$$\Delta(y_{it} - \bar{y}_t) = \alpha_i + \rho_i(y_{it-1} - \bar{y}_{t-1}) + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} \Delta(y_{it-j} - \bar{y}_{t-j}) + u_{it} \quad (1.11)$$

où \bar{y} désigne la moyenne des N PIB par tête à la date t , $\alpha_i = c\Phi_i$ tel que défini par l'équation (1.10), u_{it} un terme aléatoire spécifique à l'économie i . Les paramètres ρ_i sont négatifs si les économies convergent et sont nuls si elles divergent. L'hypothèse nulle d'absence de S convergence s'écrit alors : $H_0 : \rho_i = 0 \quad \forall i$ et l'hypothèse alternative de S convergence : $H_1 : \rho_i < 0 \quad \forall i$.

La procédure d'Evans et Karras permet, d'une part de tenir compte de l'hétérogénéité des vitesses de convergence ρ_i , et d'autre part de tester à travers les valeurs estimées de α_i si la convergence se révèle conditionnelle ou non. Leur approche se déroule en quatre étapes.

Dans une première étape, ils estiment par les moindres carrés ordinaires l'équation (1.11) afin d'obtenir pour chaque pays l'écart-type de la régression, $\hat{\sigma}_i$. Grâce à ces écart-types, ils calculent les valeurs centrées réduites de y_{it} , notées $\hat{z}_{it} = \frac{y_{it} - \bar{y}_t}{\hat{\sigma}_i}$.

Dans une deuxième étape, ils estiment par les moindres carrés ordinaires le modèle :

$$\Delta \hat{z}_{it} = \delta_i + \rho \hat{z}_{it-1} + \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} \Delta \hat{z}_{it-j} + \hat{U}_{it} \quad (1.12)$$

5. Pour accepter la S convergence, il aurait fallu mettre en évidence l'existence de $N - 1$ relations, c'est-à-dire de 14 relations de cointégration.

avec $\delta_i = \frac{\alpha_i}{\sigma_i}$ et $U_{it} = \frac{u_{it}}{\sigma_i}$ et obtiennent ainsi une estimation du paramètre ρ ainsi que la statistique de Student, $t_{\hat{\rho}}$.

La troisième étape consiste ensuite à comparer la valeur de $\hat{\rho}$ à une valeur critique. Si $t_{\hat{\rho}}$ excède la valeur critique correspondant à un niveau donné, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle $\rho_i = 0$ en faveur de l'hypothèse alternative $\rho_i < 0 \quad \forall i$ ⁶.

Enfin, dans une quatrième et dernière étape, si l'hypothèse nulle est rejetée, ils calculent la statistique de Fisher pour statuer sur la nature de la convergence (absolue ou conditionnelle). Si la statistique $F_{\hat{\delta}} = \frac{\sum_{i=1}^N (t_{\hat{\delta}_i})^2}{N-1}$ excède pour un niveau donné la valeur simulée, ils concluent au rejet de l'hypothèse nulle de convergence absolue (δ identique pour tous les pays) au profit de celle de convergence conditionnelle (δ spécifique à chaque pays). Les résultats de cette procédure leur permettent de conclure à la présence de convergence au sein de l'échantillon de pays étudié. Ainsi, sur leur échantillon, il semble que la convergence soit conditionnelle, le paramètre δ étant spécifique à chaque pays.

Les études portant sur la stationnarité des écarts de PIB par tête font donc généralement apparaître l'absence de S convergence, même au sein d'un échantillon relativement homogène.

Selon la définition retenue, les études empiriques conduisent à des résultats différents parce qu'elles n'abordent pas la notion de convergence de la même façon. Par rapport à notre problématique, qui est de distinguer convergence et

6. Le caractère hétérogène du coefficient apparaît à travers la présence d'un effet individuel fixe, δ_i .

rattrapage dans le rapprochement des PIB par tête, les approches en termes de σ et S convergence présentent des imperfections.

1.1.3 Imperfection des mesures du phénomène de convergence

Les trois définitions présentées précédemment cherchent à rendre compte de la convergence des niveaux de vie au cours du temps. Evidemment, ces définitions ne sont pas équivalentes. Nous voulons distinguer ce que chacune apporte comme information sur les mécanismes de convergence.

Nous expliquons, tout d'abord, qu'étudier la convergence à partir de l'approche par la σ convergence peut conduire à conclure à l'absence de convergence alors qu'au sein des pays étudiés, la β convergence est présente. Puis, nous montrons que la S convergence impose sur les séries de PIB par tête des conditions plus fortes que la β convergence, de sorte que, là encore, nous pouvons être amenés à conclure à l'absence de convergence, même en présence de β convergence.

1.1.3.1 Limite de la σ convergence : une mesure trop descriptive de la convergence

La β convergence tend à générer la σ convergence mais la vérification de cette propriété peut être perturbée par des chocs spécifiques qui induisent, *in fine*, un accroissement de la dispersion. Hénin et Le Pen (1995) montrent que la présence de chocs aléatoires peut maintenir constante ou même accroître la dispersion de la distribution.

Nous expliquons que, même lorsque la convergence absolue est vérifiée, la dispersion des revenus par tête ne tend pas nécessairement à décroître avec le temps. Il peut exister des cas où la dispersion entre deux pays ne varie pas alors qu'on

assiste, dans le même temps, à une β convergence du pays pauvre.

Plusieurs arguments peuvent être avancés pour montrer les limites de la σ convergence.

Une première illustration de ces limites est présentée en étudiant le lien théorique entre la β et la σ convergence.

Afin de préciser ce lien, nous considérons l'équation de convergence absolue qui découle du modèle de croissance néoclassique :

$$\ln(y_{iT}) - \ln(y_{i0}) = a + b \ln(y_{i0}) + \epsilon_i \quad (1.13)$$

Cette équation relie le taux de croissance du PIB par tête au niveau du revenu à la date initiale. Il y a β convergence quand $b = -(1 - e^{-\beta T})$ est négatif, c'est-à-dire quand $1 - e^{-\beta T}$ est positif. En d'autres termes, β doit être strictement supérieur à zéro. Selon l'hypothèse de convergence absolue, a est supposé constant et identique pour tous les pays. En outre, les chocs sont supposés avoir tous la même variance, σ_ϵ^2 , et être indépendants à la fois dans le temps et entre les différentes économies.

L'équation de la β convergence implique en particulier⁷ :

$$\ln(y_{iT}) = a + (1 + b) \ln(y_{i0}) + \epsilon_{iT} \quad (1.14)$$

En prenant la variance de l'équation (1.14) et en posant σ_T^2 la variance de $\ln(y_{i,t})$, on obtient⁸ :

$$\sigma_T^2 = (1 + b)^2 \sigma_0^2 + \sigma_{\epsilon_T}^2 \quad (1.15)$$

7. On pose : $b = -(1 - e^{-\beta T})$.

8. Comme ϵ_i est distribuée indépendamment de $\ln(y_{i,t-1})$, la covariance est nulle.

où σ_T^2 et σ_0^2 représentent la variance du PIB par tête (en log) respectivement aux dates terminale et initiale et $\sigma_{\epsilon_T}^2$ la variance des chocs qui affectent la relation de convergence. Cette équation est encore équivalente à⁹ :

$$\frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} = \frac{(1+b)^2}{R^2} \quad (1.16)$$

où $R^2 = \frac{\sigma_T^2 - \sigma_{\epsilon_T}^2}{\sigma_T^2}$ est le coefficient de détermination multiple de la régression en coupe instantanée¹⁰.

Il existe un phénomène de σ convergence si σ_T^2 est inférieur à σ_0^2 c'est-à-dire si $\frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2}$ est inférieur à 1. Cette condition implique que $(1+b)^2$ doit être inférieur à R^2 , ce qui est encore équivalent à $(1+b)^2 + (1-R^2) < 1$. Un coefficient b négatif (synonyme de β convergence) apparaît donc comme une condition nécessaire mais pas suffisante à la σ convergence. La β convergence implique seulement l'existence d'une tendance mécanique à la réduction des écarts de PIB par tête. Cependant, dans la réalité, les économies sont soumises à des chocs aléatoires spécifiques qui se répercutent sur la répartition du niveau de PIB par tête. Pour que la σ convergence se produise, il faut donc que la β convergence domine l'effet des chocs spécifiques. La figure 1.7 illustre le lien qui existe entre la β et la σ convergence.

9. La démonstration figure en annexe 1.B.

10. Cette relation est démontrée par Hénin et Le Pen (1995).

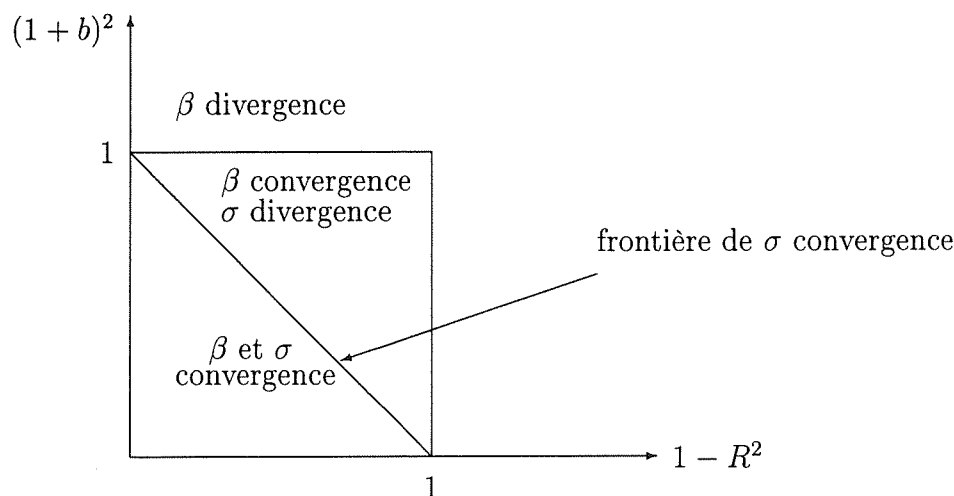


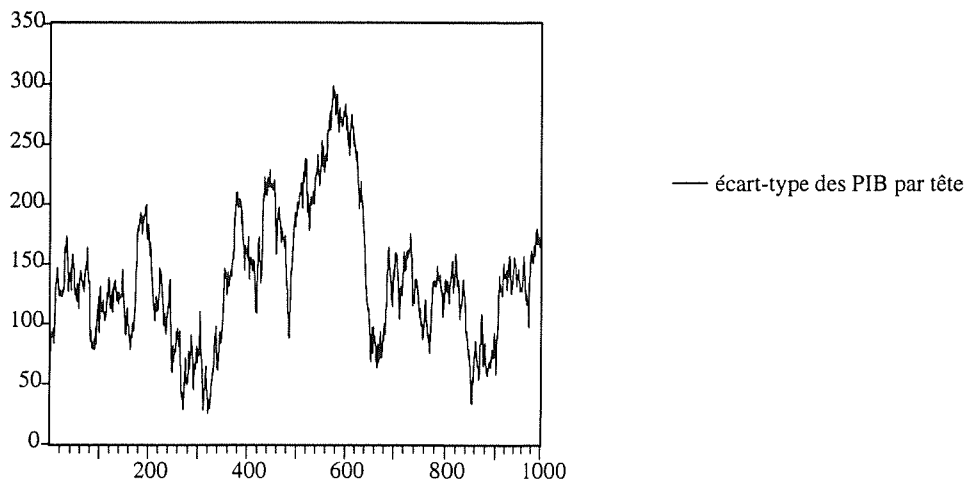
FIG. 1.7 – Représentation des conditions de β et de σ convergence

On a β convergence si $-1 < b < 0$, ce qui équivaut à $0 < (1+b)^2 < 1$. Ainsi, la frontière de β convergence est la droite $(1-b)^2 = 1$. En outre, on a σ convergence si $\frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2}$ est inférieur à 1. La frontière de σ convergence est donc déterminée par la droite $\sigma_T^2 = \sigma_0^2$, c'est-à-dire par l'équation $(1-b)^2 - (1-R^2) = 1$.

S'il y a σ convergence, alors il y a β convergence. En revanche, l'absence de σ convergence n'implique pas l'absence de β convergence. Nous avons représenté, sur la figure 1.8, l'évolution de la dispersion du PIB par tête pour cinq économies présentant un phénomène de β convergence¹¹. Toutefois, ces économies sont soumises à des chocs qui viennent perturber la relation de β convergence. Dans ce cas, l'écart-type ne diminue pas. Bien qu'il y ait β convergence, il n'y a pas σ convergence.

11. Pour illustrer le résultat selon lequel l'absence de σ convergence n'engendre pas l'absence de β convergence, nous avons généré de façon aléatoire 5 économies pour lesquelles il existe bien une relation de β convergence. Nous supposons que cette relation est perturbée par des erreurs spécifiques dont leur écart-type croît avec le temps. Nous représentons alors l'évolution, sur 1000 périodes, de la dispersion des PIB par tête de ces économies.

FIG. 1.8 – Evolution de la dispersion des PIB par tête



De plus, comme le montrent Barro et Sala I Martin (1995b), la σ convergence dépend fortement de la date initiale choisie pour débiter l'étude. Il est possible de résoudre l'équation de récurrence (1.15) afin d'obtenir l'évolution de la dispersion dans le temps. Il s'en suit (Sala I Martin (1996a)) :

$$\sigma_t^2 = (\sigma^2)^* + (1 + b)^2 (\sigma_0^2 - (\sigma^2)^*)$$

Si la variance à la date initiale (σ_0^2) est inférieure à la variance d'état stationnaire ($(\sigma^2)^*$), alors la variance augmente et il y a σ divergence (figure 1.9). Ce résultat fournit par conséquent une limite importante du test de la convergence par la σ convergence : la dépendance à la date initiale du PIB choisie pour débiter l'étude. Par conséquent, un véritable test de σ convergence nécessiterait que soit vérifiée l'existence de σ^{2*} . La notion de σ convergence renvoie ainsi à la dynamique de la variance des revenus et au processus d'ajustement de celle-ci vers sa valeur d'équilibre.

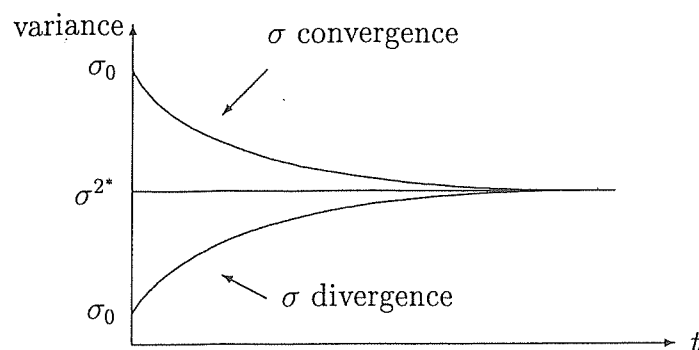


FIG. 1.9 – *Evolution de la dispersion*

Ainsi, les tests de σ convergence doivent être utilisés avec certaines précautions et, pour le moins, sur des périodes $[0, T]$ suffisamment longues pour que puisse être écarté le risque d'avoir $\sigma_0^2 < \sigma^{2*}$.

Une autre façon de mettre en évidence les limites des études de la σ convergence est illustré par le sophisme de Galton¹².

Galton (1886) examina la taille des enfants en fonction de la taille moyenne de leurs parents et nota que les enfants de parents de grande taille étaient plus grands que la moyenne mais moins grands que leurs parents, et inversement pour les enfants des parents de petite taille. C'est la propriété de retour vers la moyenne. Cependant, ce retour vers la moyenne n'entraîne pas pour autant une réduction de la dispersion des tailles au sein de la population¹³.

12. Voir annexe 1.C.

13. Pour une discussion plus détaillée, nous pouvons nous reporter à Bliss (1999).

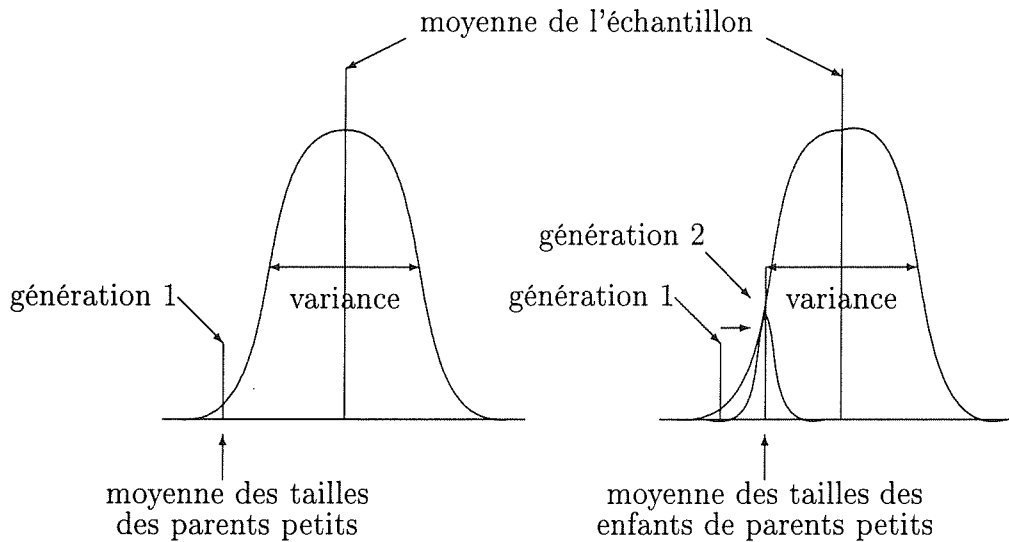


FIG. 1.10 – *Illustration du sophisme de Galton*

Parmi l'ensemble de la population étudiée (figure 1.10), la variance reste la même quelle que soit la génération considérée. Mais, d'une génération à l'autre, la moyenne des gens de petite taille tend vers la moyenne de l'échantillon. Les enfants de parents petits sont toujours plus petits que la moyenne mais sont plus grands que leur parents. Le raisonnement inverse s'appliquerait pour les gens de grande taille.

Le sophisme de Galton permet d'illustrer l'idée selon laquelle l'absence de diminution de la dispersion d'une série n'est pas synonyme d'absence de β convergence.

Cet argument est d'ailleurs repris par Valdès (1999). Il explique que l'idée selon laquelle une augmentation de la dispersion du revenu par tête conduit à conclure que les pauvres ne se rapprochent pas des riches est injustifiée. En effet, même si la variance de la distribution est constante (ou même augmente), la position des pays à l'intérieur de cette distribution change. Des pays initialement

pauvres (Corée du Sud) deviennent riches, alors que dans le même temps des pays initialement riches (Vénézuéla) deviennent relativement pauvres¹⁴. On assiste alors à des effets en croix (figure 1.11).

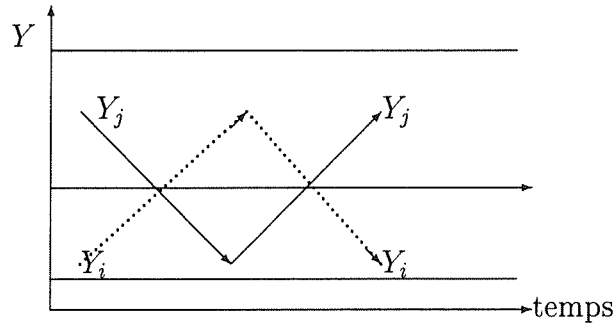


FIG. 1.11 – *Limite de la σ convergence : effets en croix*

La σ convergence n'est donc qu'une mesure statistique impropre à traduire l'idée qui ressort de la théorie de la croissance de long terme. La théorie prédit une tendance de très long terme à la convergence des PIB par tête. La σ convergence est une mesure trop sensible aux chocs exogènes pour mesurer ce que nous souhaitons mesurer.

1.1.3.2 La S convergence : une définition trop restrictive de la convergence

Cette définition de la convergence, qui repose sur la stationnarité des PIB par tête, impose sur les séries des PIB par tête des conditions plus fortes que la β convergence. Comme le montrent Bernard et Durlauf (1996), le test de la S convergence apparaît, en effet, trop restrictif car la définition de la S convergence

14. L'exemple du classement des équipes de sport illustre parfaitement cette critique : la distribution reste constante mais, à l'intérieur, une équipe dernière au début de la saison peut terminer première à la fin du championnat, et inversement.

suppose que tous les pays étudiés sont déjà parvenus à leur état stationnaire. Dans le cas de figure où la S convergence est en cours de réalisation pendant la durée d'observation, le test de cointégration (c'est-à-dire l'existence de relations stables à long terme) conduira à un rejet systématique de la S convergence.

Ce résultat peut s'expliquer à l'aide d'une illustration graphique (figure 1.12)¹⁵. Supposons deux pays i et j qui β convergent. Comme illustré sur le graphique de gauche, les deux pays i et j n'auront complètement S -convergé qu'à la date T (lorsque leur écart de PIB sera stationnaire). Cependant, supposons que notre échantillon d'étude s'arrête quant à lui à la date T_0 , l'évolution des variables après cette période n'étant pas connue. L'écart de revenu entre ces deux pays, entre le début de la période et T_0 , n'est pas stationnaire et les écarts affichent d'ailleurs plutôt une tendance décroissante au cours de la période (graphique de droite). Ainsi, dans l'idéal, pour que la S convergence traduise de la β convergence, il faudrait disposer de mesures situées beaucoup plus près de la date T .

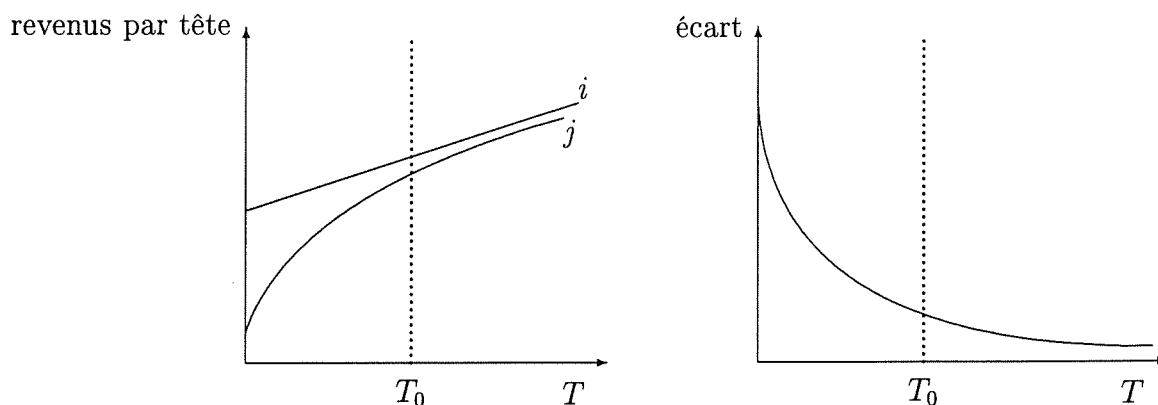


FIG. 1.12 –

15. Cette figure est extraite de Serranito (2000).

Si les économies sont dans une phase de transition (c'est-à-dire de β convergence), alors les tests de cointégration sur les séries temporelles n'accepteront jamais l'existence de S convergence. Bernard et Durlauf (1996) considèrent, dans ce cas, qu'il est préférable d'utiliser les tests en coupe transversale.

L'approche par la β convergence cherche, en fait, à déterminer si deux économies sont en train de converger alors que l'approche par la S convergence vérifie que les deux économies ont déjà convergé. Dans le premier cas, la β convergence est définie comme un processus menant à l'état stationnaire tandis que dans le second cas, la S convergence représente cet état stationnaire.

La S convergence ne permet donc pas, elle non plus, de mesurer le phénomène prédit par la théorie de la croissance.

Si la β convergence se révèle donc être la mesure appropriée du phénomène prédit par la théorie, nous allons voir, cependant, que cette définition de la convergence souffre de plusieurs limites.

1.2 Remise en cause des tests de β convergence

Cette section est consacrée aux problèmes économétriques que suscite la β convergence.

Dans un premier paragraphe, nous présentons les critiques faites par De Long (1988) sur l'étude de β convergence réalisée par Baumol (1986). Nous expliquons, dans un deuxième paragraphe, qu'en imposant l'unicité et la stabilité des coefficients de l'équation de convergence, les résultats peuvent plaider en faveur d'une absence de convergence alors qu'elle existe, mais seulement par clubs de pays. Nous nous intéressons, dans un troisième paragraphe, aux problèmes posés par

l'absence de prise en compte des effets spécifiques aux pays. Dans un quatrième paragraphe, nous montrons que l'hypothèse de niveaux de technologie identiques retenue par Mankiw, Romer et Weil (1992) biaise les résultats de la mesure de la β convergence. Nous examinons, dans un dernier paragraphe, les difficultés posées par l'introduction de l'hétérogénéité des niveaux de technologie dans l'estimation de MRW. Notre thèse consistera à proposer une méthode pour résoudre ce problème.

1.2.1 Erreurs de mesure et biais de sélection

Les critiques abordées dans ce paragraphe ont été formulées par De Long (1988) et portent sur l'existence d'erreurs de mesure et de biais de sélection.

De Long (1988) soulève, en effet, deux critiques à l'encontre des résultats de Baumol (1986)¹⁶. La première critique porte sur l'existence d'erreurs de mesure dans l'évaluation du PIB par tête en 1870. Les erreurs de mesure du revenu amplifient la tendance à la convergence. Si le revenu de 1870 est surestimé, la croissance sur la période 1870-1979 est sous-estimée et si le revenu est sous-estimé, la croissance est surestimée. De Long propose alors d'estimer la relation suivante :

$$\begin{cases} \ln y_{i,1979} - (\ln y_{i,1870})^* = a + b(\ln y_{i,1870})^* + \varepsilon_i \\ \ln y_{i,1870} = (\ln y_{i,1870})^* + u_i \end{cases} \quad (1.17)$$

où $(\ln y_{i,1870})^*$ est la valeur effective du logarithme du PIB par tête en 1870 et $\ln y_{i,1870}$ la valeur estimée. u_i représente l'erreur de mesure.

De Long (1988) choisit alors des valeurs acceptables pour l'écart-type de l'erreur de mesure, σ_u ($\sigma_u = 0.10$ signifie que le revenu initial a été mesuré avec un

16. Baumol (1986) teste l'hypothèse de convergence sur un échantillon de 16 pays industrialisés à partir des données construites par Maddison (1982). Il régresse le taux de croissance de la productivité du travail de 1870 à 1979 sur le logarithme de la productivité en 1870. Le coefficient estimé de la productivité est proche de -1 et indique donc la présence de convergence.

degré moyen d'imprécision de 10%).

Cette procédure permet de montrer que les résultats de Baumol sont biaisés en faveur de l'hypothèse de β convergence. Ainsi, en choisissant des erreurs de mesure de plus en plus grandes, le coefficient perd de sa significativité et devient même positif pour des valeurs acceptables de l'erreur de mesure.

La seconde critique concerne la sélection de l'échantillon et notamment l'existence d'un biais de sélection. En effet, les pays ont été choisis parce qu'ils avaient tous atteint un niveau élevé de développement en 1979. De Long (1988) prend pour critère les pays qui étaient riches en 1870¹⁷. Les résultats plaident alors nettement moins en faveur de la β convergence : le coefficient de convergence diminue de moitié et devient moins significatif (tableau 1.3).

	pays riches en 1979 ^a	pays riches en 1870
coef. associée au revenu initial	-0.995 (0.094)	-0.566 (0.144)

TAB. 1.3 – *Estimation de De Long (1988)*

^a(.) correspond à l'écart-type

Ces deux premières critiques nous incitent donc à prendre avec précaution la pratique du test de β convergence. Evidemment, des améliorations ont été faites dans la mesure des différentes variables et l'augmentation de la disponibilité des données permet de prendre en compte dans les études des pays de niveau de développement très différents.

17. Il exclut alors le Japon et ajoute l'Allemagne de l'Est, l'Argentine, le Chili, l'Espagne, l'Irlande, la Nouvelle Zélande et le Portugal.

1.2.2 Unicité et stabilité des coefficients

Nous avons expliqué ci-dessus que l'absence d'une relation négative et significative entre taux de croissance et niveau initial du PIB par tête permet de conclure à l'absence de β convergence.

Or, il est possible que ce ne soit pas toujours le cas. Quelques pays peuvent converger mais si leur poids dans l'échantillon total est trop faible, cette convergence n'apparaîtra pas. La conclusion d'une absence de β convergence repose sur le fait que l'équation de convergence $g_{i,t_1,t_2} = a + b \ln y_{i,t_1} + c\Phi_{i,t_1} + \epsilon_i$ suppose l'unicité et la stabilité des coefficients. Or, si quelques pays convergent pendant que d'autres divergent, le système économique dans son ensemble est caractérisé par des clubs.

Sur le plan théorique, Galor (1996) démontre qu'un système économique peut être caractérisé par des équilibres multiples stationnaires et ce dans le cadre traditionnel du modèle de croissance néoclassique.

Au niveau économétrique, l'existence d'équilibres multiples se manifeste par une instabilité des paramètres. Dès lors, les estimations habituelles de β convergence conditionnelle ne s'appliquent plus dans la mesure où elles imposent la stabilité des coefficients. Durlauf et Johnson (1995) et Bernard et Durlauf (1996) montrent qu'en imposant l'unicité des coefficients, les régressions traditionnelles en coupe transversale ne peuvent mettre en évidence la présence d'équilibres multiples.

Quah (1996a, b, d) propose alors d'estimer le système suivant :

$$\begin{cases} g_{i,t_1,t_2} = a + b \ln y_{i,t_1} + c\Phi_{i,t_1} + \varepsilon_{i,t_1} & \text{si } \ln y_{i,t_1} < \ln \bar{y} \\ g_{i,t_1,t_2} = a' + b' \ln y_{i,t_1} + c'\Phi_{i,t_1} + \varepsilon'_{i,t_1} & \text{si } \ln y_{i,t_1} > \ln \bar{y} \end{cases} \quad (1.18)$$

où $\ln \bar{y}$ désigne le seuil de convergence¹⁸. La première équation permet de voir s'il existe une relation négative entre le taux de croissance et le niveau initial du PIB par tête dans un groupe de pays avec un revenu initial faible. La seconde équation porte, elle, au contraire, sur l'étude de la relation de convergence au sein des pays les plus riches.

Quah observe ainsi non seulement des différences considérables entre les groupes, mais aussi des différences par rapport aux résultats de MRW : les coefficients associés au niveau initial du PIB par tête sont beaucoup plus élevés que ceux estimés par MRW, ce qui entraîne une convergence plus rapide dans le cas des clubs.

Cette méthode est intéressante puisqu'elle montre que si on peut prendre en compte la possibilité de clubs de convergence, l'équation de β convergence reste valable. Cependant, l'existence de clubs provient, en théorie, de l'absence de "transferts" entre les pays. Il est clair que des transferts de capital humain ou de technologie sont un puissant facteur pour éliminer la possibilité de clubs. En tenant compte des transferts, on introduit un mécanisme qui fait que les pays tendent vers les mêmes valeurs d'état stationnaire et les clubs disparaissent.

18. La détermination du seuil de convergence peut se faire a priori ou de façon endogène. Baumol (1986) ou encore Maddison (1982) ont cherché à révéler l'existence de clubs de convergence en classant les pays suivant des critères arbitraires tels que l'appartenance à une zone géographique. Cependant, cette sélection arbitraire génère des clubs de convergence pour lesquels différents processus de croissance interviennent. C'est pourquoi certains auteurs (et plus particulièrement Durlauf et Johnson (1995)) ont endogénéisé la sélection des clubs en utilisant notamment la méthode de l'arbre de décomposition (voir annexe 1.D).

1.2.3 Effets spécifiques

La critique présentée ici porte sur l'absence de prise en compte des effets spécifiques et, en particulier, des différences de niveaux de technologie. D'après la fonction de production dont est issue l'équation de convergence, la variable A qui correspond au niveau de technologie est propre à chaque pays. L'équation de convergence devrait donc, en toute rigueur, intégrer cet effet individuel.

Dans leur estimation, Mankiw, Romer et Weil (1992) décomposent la variable A comme la somme d'une composante commune κ (constante) et d'un terme d'erreur, u_i afin de pouvoir intégrer la possibilité de différences entre les pays : $\ln A_i = a_i = \kappa + u_i$. Mais, en procédant de la sorte, les estimations obtenues sont nécessairement biaisées. En effet, l'utilisation des moindres carrés ordinaires n'est possible que sous l'hypothèse d'absence de corrélation entre les effets individuels et les autres variables explicatives. En décomposant la variable A , MRW (1992) créent une dépendance entre les erreurs de la régression ϵ et les variables explicatives. Au lieu d'estimer l'équation : $g_{i,t_1,t_2} = a_i + b \ln y_{i,t_1} + \epsilon_i$, ils estiment l'équation : $g_{i,t_1,t_2} = \kappa + b \ln y_{i,t_1} + (u_i + \epsilon_i)$.

Dans le cas où y_{i,t_1} est corrélé (ce qui est vraisemblable) avec la composante technologique spécifique u_i , l'estimateur \hat{b} des moindres carrés ordinaires est biaisé et non convergent.

La décomposition de la variable A n'est donc pas correcte et il semble nécessaire de tenir compte explicitement des niveaux de technologie. Ce point est central dans nos développements futurs.

Plusieurs études économétriques ont essayé de remédier à cette limite. Knight, Loayza et Villanueva (KLV) (1993) et Islam (1995) tiennent compte des effets in-

dividuels en introduisant des niveaux de technologie différents selon les pays. Ils montrent alors que la vitesse de convergence est sous estimée du fait de l'omission d'une variable corrélée aux autres variables explicatives. Ils estiment l'équation de convergence à l'aide des données de panel qui permettent de prendre en compte explicitement les effets spécifiques (c'est-à-dire les niveaux de technologie différents). La vitesse de convergence trouvée est bien plus élevée qu'en coupe transversale, entre 5 et 10% par an. La différence entre les résultats de MRW et de KLV met en évidence le biais dû à la non prise en compte des effets spécifiques.

Il semble donc, au vu de ces résultats, que le niveau technologique initial est un déterminant important de différenciation entre pays.

Nous sommes ainsi amenés à nous poser la question suivante : si le niveau de technologie est une variable qui diffère entre les pays, comment le modèle de MRW (qui suppose le contraire) peut-il être aussi performant ?

1.2.4 Problème de la mesure du capital humain

Dans leur estimation de l'équation de convergence, MRW (1992) choisissent comme variable proxy du taux d'investissement en capital humain (s_h), le taux de scolarisation dans le secondaire, en soulignant que si le taux d'investissement en capital humain est proportionnel à cette variable, alors les coefficients estimés sont sans biais¹⁹.

Dinopoulos et Thompson (1999) expliquent que c'est la mesure du capital humain qui conduit aux résultats de MRW. Ils expliquent que le taux de scolarisation

19. MRW soulignent toutefois que leur variable proxy n'est pas parfaite. Mais en étant proportionnelle au taux d'investissement en capital humain, elle peut être utilisée dans l'équation de régression sans biaiser les estimations des coefficients du modèle.

secondaire n'est proportionnel ni au taux d'investissement en capital humain ni au niveau de capital humain. Cette variable sur-estime le stock de capital humain dans les pays développés et sous-estime celui des pays en développement, ce qui affecte les résultats obtenus.

Klenow et Rodriguez-Clare (1997a) montrent qu'en tenant compte des autres niveaux d'enseignement, le modèle de MRW explique moins de 50% des différences de taux de croissance (contre environ 80% lorsque seul l'enseignement secondaire est considéré). En construisant deux autres mesures du capital humain (un indicateur du niveau de capital humain et une mesure de la qualité de la force de travail), Dinopoulos et Thompson (1999) montrent que le modèle de MRW est rejeté. Leur estimation de l'équation de convergence conduit à une somme de la part des facteurs capital physique et capital humain ($\alpha + \gamma$) supérieure à 1. La condition nécessaire à l'existence d'un état stationnaire n'est donc pas satisfaite. De plus, l'hypothèse d'un même niveau de technologie est largement rejetée. Ils montrent que c'est la définition de la variable proxy du capital humain associée à l'hypothèse de niveau de technologie identique qui explique les résultats de MRW.

Pour Dinopoulos et Thompson (1999), les écarts technologiques entre les pays, qui sont dus à des niveaux de capital humain différents, sont la cause essentielle des différences internationales de taux de croissance.

Il apparaît donc essentiel de prendre en compte explicitement les niveaux de technologie.

1.2.5 Prise en compte de la technologie dans l'équation de convergence

Bernard et Jones (1996a) comparent, pour 14 pays de l'OCDE, les dispersions du PIB par tête et de la technologie. Deux résultats apparaissent. D'une part, il y a une variation importante de la technologie entre les pays et d'autre part, les changements dans la dispersion du PIB par tête au cours du temps correspondent aux changements dans la dispersion de la technologie.

Hall et Jones (1996a) montrent que les différences internationales dans la productivité totale des facteurs (qui sert généralement de mesure du niveau de technologie) sont importantes et qu'il faut tenir compte de ce résultat dans l'explication des différences de taux de croissance de la production par tête.

Les travaux de Klenow et Rodriguez-Clare (1997b) confirment ce résultat²⁰. Ils ont estimé que les différences dans la croissance de la productivité globale des facteurs expliquent 90% des variations dans les taux de croissance du PIB par travailleur pour 98 pays de 1960 à 1985.

20. Afin de déterminer quel facteur, technologie ou capital, explique le plus les disparités de croissance, Klenow et Rodriguez-Clare (1997b) réécrivent la fonction de production de MRW de la façon suivante : $\frac{Y}{L} = A \left(\frac{K}{Y}\right)^{1-\alpha-\beta} \left(\frac{H}{Y}\right)^{1-\alpha-\beta} = AX$ où X est un composite des deux formes de capital. Ils montrent que cette équation peut se décomposer comme suit :

$$\frac{\text{var}(\ln(\frac{Y}{L}))}{\text{var}(\ln(\frac{Y}{L}))} = \frac{\text{cov}(\ln(\frac{Y}{L}), \ln(\frac{Y}{L}))}{\text{var}(\ln(\frac{Y}{L}))} = \frac{\text{cov}(\ln(\frac{Y}{L}), \ln X) + \text{cov}(\ln(\frac{Y}{L}), \ln A)}{\text{var}(\ln(\frac{Y}{L}))}$$

ce qui est encore équivalent à : $1 = \frac{\text{cov}(\ln(\frac{Y}{L}), \ln X)}{\text{var}(\ln(\frac{Y}{L}))} + \frac{\text{cov}(\ln(\frac{Y}{L}), \ln A)}{\text{var}(\ln(\frac{Y}{L}))}$.

Cette décomposition permet alors de répondre à la question suivante : quand un pays possède un taux de croissance du revenu par tête 1% plus élevé que la moyenne des 98 pays étudiés, quelle est la part imputable à X et celle imputable à A ? Ils concluent alors que 90% des différences de taux de croissance entre pays sont dues à des différences dans la productivité globale des facteurs.

Par ailleurs, De La Fuente (2000a) observe que les niveaux de développement technologique diffèrent énormément entre les pays. Ainsi, la non prise en compte de ces différences biaise les estimations des différents paramètres car le niveau de technologie est corrélé avec les autres variables explicatives. En particulier, le niveau de technologie apparaît comme un déterminant du taux de rendement de l'investissement.

Tous montrent ainsi le rôle essentiel de la technologie, mais comment la prendre en compte?

Nonneman et Vanhoudt (1996), pour intégrer le rôle de la technologie, spécifient la fonction de production de la manière suivante :

$$Y_t = L_t^{1 - \sum_{i=1}^m \alpha_i} K_{1t}^{\alpha_1} \dots K_{mt}^{\alpha_m} \quad (1.19)$$

où L désigne le travail, K_i le capital de type i (avec $i = 1 \dots m$).

Dans leur modèle, il existe trois types de capital ($m = 3$) : le capital physique (K), le capital humain (H) et le capital technologique (τ).

En supposant que les taux de dépréciation sont constants et égaux à δ , ils obtiennent une spécification "ré-augmentée" de l'équation de convergence :

$$\ln \left(\frac{y_{i,t}}{y_{i,0}} \right) = (1 - e^{-\beta t}) \ln y_i^* - (1 - e^{-\beta t}) \ln y_{i,0} \quad (1.20)$$

avec

$$\begin{aligned} \ln y_i^* &= \alpha_0 + \frac{\alpha_k}{1 - \alpha_k - \alpha_h - \alpha_\tau} \ln(s_{k_i}) + \frac{\alpha_h}{1 - \alpha_k - \alpha_h - \alpha_\tau} \ln(s_{h_i}) + \frac{\alpha_\tau}{1 - \alpha_k - \alpha_h - \alpha_\tau} \ln(s_{\tau_i}) \\ &\quad - \frac{\alpha_k + \alpha_h + \alpha_\tau}{1 - \alpha_k - \alpha_h - \alpha_\tau} \ln(n_i + \delta) + \epsilon \end{aligned}$$

où s_τ est la moyenne du ratio des dépenses intérieures brutes en R&D sur le PIB nominal de 1975 à 1985.

L'estimation de cette équation sur un échantillon de 22 pays de l'OCDE conduit à des résultats très différents de ceux de MRW (1992) (tableau 1.4).

modèle contraint ^a	MRW	$m = 3$
$\ln Y_0$	-0.402 (0.069)	-0.492 (0.082)
$\ln(s_k) - \ln(n + 0.05)$	0.396 (0.152)	0.413 (0.156)
$\ln(s_h) - \ln(n + 0.05)$	0.236 (0.141)	0.175 (0.113)
$\ln(s_\tau) - \ln(n + 0.05)$		0.098 (0.055)
<i>cste</i>	3.55 (0.63)	4.573 (0.934)
R^2 ajusté	0.66	0.774
β estimé	2.06%	2.9%
α_k	0.38	0.350
α_h	0.23	0.148
α_τ		0.084

TAB. 1.4 – Estimation de Nonneman et Vanhoudt (1996)

^aPériode d'étude : 1960-1985 ; 22 pays de l'OCDE (même échantillon que MRW) ; variable dépendante : $\ln y_t$: Log du PIB par travailleur en 1985 ; variables explicatives : (i) s_k : ratio moyen investissement sur PIB réel de 1960 à 1985, (ii) s_h : % de la population en âge de travailler scolarisée dans le secondaire, (iii) s_τ : la moyenne du ratio des dépenses intérieures brutes de R&D sur le PIB nominal de 1975 à 1985, (iv) n : taux de croissance de la population de 1960 à 1985.

Tout d'abord, le coefficient de convergence est plus élevé que chez MRW (on retrouve ici le résultat d'Islam (1995) et de KLV (1993)), ce qui implique que la convergence est plus rapide. De plus, l'influence du capital humain est moins importante que celle suggérée par MRW. Enfin, le modèle "ré-augmenté" explique 77% des disparités contre seulement 66% chez MRW. L'investissement en capital physique, l'investissement en capital humain, la technologie et le niveau initial du revenu présentent des coefficients significatifs. Les estimations des élasticités sont cohérentes et la fonction de production peut s'écrire : $Y = K^{1/3}H^{3/20}T^{3/35}L^{2/5}$. Ils concluent donc que le capital technologique est une variable importante omise

dans le test de MRW.

Ainsi, comme ces résultats le prouvent, il faut tenir compte de l'hétérogénéité des niveaux de technologie lorsque l'équation de convergence est estimée.

L'omission d'une variable explicative biaise les estimations des coefficients des autres variables explicatives (comme le PIB initial) en créant un phénomène de corrélation entre l'erreur du modèle estimé et les variables explicatives présentes.

Si nous estimons le modèle 1 :

$$g_{i,t_1,t_2} = a + b \ln y_{i,t_1} + c(\ln(s_{k_i}) - \ln(n_i + 0.05)) + d(\ln s_{h_i} - \ln(n_i + 0.05)) + \psi_i$$

alors que le vrai modèle est le modèle 2 :

$$g_{i,t_1,t_2} = a + b \ln y_{i,t_1} + c(\ln(s_{k_i}) - \ln(n_i + 0.05)) + d(\ln s_{h_i} - \ln(n_i + 0.05)) + e \ln \tau_i + \epsilon$$

alors l'erreur ψ_i du modèle 1 est $\psi_i = \epsilon_i + e \ln \tau_i$. Il est évident que si τ_i est corrélé avec $\ln y_{i,t_1}$, alors $\ln y_{i,t_1}$ est corrélé avec ψ_i et l'estimateur \hat{b} est biaisé.

Par ailleurs, l'équation de convergence ne doit plus être estimée en supposant que $\ln A$ est la somme d'une constante et d'un terme d'erreur puisque, là encore, les estimations sont biaisées. Les niveaux de technologie doivent donc apparaître explicitement. La bonne équation à estimer est alors :

$$\ln y_{i,T} - \ln y_{i,0} = a - (1 - e^{-\beta T}) \ln y_{i,0} - (1 - e^{-\beta T}) \ln A_{i,0} + c\Phi_i \quad (1.21)$$

où $c\Phi_i$ détermine les variables d'état stationnaire.

Ainsi, l'évolution des analyses empiriques de la β convergence a conduit à un consensus sur le fait de prendre en compte la technologie.

Nous pensons, cependant, que cette prise en considération est insuffisante puisqu'elle bute sur une incohérence théorique. En effet, la plupart des études distingue les niveaux de technologie des pays tout en conservant un progrès technique mondial unique. En toute logique, l'existence de niveaux de technologie différents impose que le processus d'accumulation de la technologie soit spécifique à chaque pays. Alors, le taux de croissance de la technologie n'est plus identique pour tous les pays. L'hypothèse d'un progrès technique unique est incohérente. Face à cet argument, l'équation de MRW qui suppose que $\frac{DA_i}{A_i} = x \quad \forall i$, n'est donc plus valide. Il faut alors revoir la spécification théorique de la fonction d'accumulation de la technologie.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de présenter les problèmes posés par les études de la β convergence, notamment pour mettre en évidence la nécessité d'intégrer la technologie dans l'explication des taux de croissance du PIB par tête.

Après avoir présenté les trois grandes notions de convergence et expliqué pourquoi la σ et la S convergence constituent, par rapport à notre problématique, des mesures imparfaites de la convergence, nous nous sommes intéressés aux limites des tests de β convergence. Le résultat principal est que l'obtention d'un coefficient négatif entre le niveau initial du PIB par tête et son taux de croissance ne permet pas forcément d'apporter une réponse définitive quant à la présence de convergence au sein d'un échantillon étudié. En particulier, l'absence de différences dans les niveaux de technologie entre les pays biaise les résultats de MRW. C'est, sans aucun doute, dans le cadre de notre problématique, la limite la plus importante du test de MRW puisque cela fait apparaître la nécessité de reformuler le processus d'accumulation de la technologie.

Nous pensons alors qu'il faut aller plus loin dans cette voie et tenir compte des écarts de technologie comme facteur supplémentaire dans l'explication des taux de croissance des économies. Il semble ainsi nécessaire de construire un modèle qui prend en compte la technologie mais surtout la possibilité d'un rattrapage technologique entre pays. Nous considérons alors qu'il existe deux mécanismes

qui poussent au rapprochement des économies :

- la convergence, définie par une relation négative entre le niveau initial du PIB par tête et son taux de croissance ;
- le rattrapage, défini par l'existence d'écarts de technologie qui donnent la possibilité à un pays en retard de bénéficier d'un "bonus" de croissance.

La construction d'un modèle théorique intégrant ces deux mécanismes fait l'objet des chapitres suivants.

Annexes du chapitre 1

1.A Détermination de l'équation de dynamique transitoire du modèle de Mankiw, Romer et Weil

Pour déterminer l'équation de dynamique transitoire, nous considérons la fonction de production en variables par tête efficace :

$$\hat{y} = \hat{k}^\alpha \hat{h}^\gamma$$

En prenant le taux de croissance de cette équation et en remplaçant $D\hat{k}$ et $D\hat{h}$ par leurs expressions respectives (équations 1.5 et 1.6), on obtient :

$$\frac{D\hat{y}}{\hat{y}} = \alpha [s_k \hat{k}^{\alpha-1} \hat{h}^\gamma - (x + n + d)] + \gamma [s_h \hat{k}^\alpha \hat{h}^{\gamma-1} - (x + n + d)]$$

Cette équation est une équation différentielle non linéaire qu'il faut linéariser par un développement de Taylor pour la résoudre.

$$\gamma_{\hat{y}} = \left(\frac{D\hat{y}}{\hat{y}} \right)^* + \left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{k}} \right)_{SS} (\ln \hat{k} - \ln \hat{k}^*) + \left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{h}} \right)_{SS} (\ln \hat{h} - \ln \hat{h}^*) \quad (1.22)$$

Calcul des dérivées $\left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{k}}\right)_{SS}$ et $\left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{h}}\right)_{SS}$:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{k}}\right)_{SS} &= \alpha s_k (\alpha - 1) e^{(\alpha-1) \ln \hat{k} + \gamma \ln \hat{h}} + \gamma s_h \alpha e^{\alpha \ln \hat{k} - (\gamma-1) \ln \hat{h}} \\ \left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{k}}\right)_{SS} &= \alpha s_k (\alpha - 1) \hat{k}^{\alpha-1} \hat{h}^{\gamma} + \gamma s_h \alpha \hat{k}^{\alpha} \hat{h}^{\gamma-1}\end{aligned}$$

De la même façon : $\left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{h}}\right)_{SS} = \alpha s_k (\gamma) \hat{k}^{\alpha-1} \hat{h}^{\gamma} + \gamma s_h (\gamma - 1) \hat{k}^{\alpha} \hat{h}^{\gamma-1}$

A l'état stationnaire :

$$\begin{aligned}\hat{k}^* &= \left(\frac{s_k^{1-\gamma} s_h^{\gamma}}{x+n+d}\right)^{\frac{1}{1-\alpha-\gamma}} \\ \hat{h}^* &= \left(\frac{s_k^{\alpha} s_h^{1-\alpha}}{x+n+d}\right)^{\frac{1}{1-\alpha-\gamma}}\end{aligned}$$

En remplaçant \hat{k}^* et \hat{h}^* par leurs valeurs d'état stationnaire dans les deux équations ci-dessus , on obtient :

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{k}}\right)_{SS} &= -\alpha(1 - \alpha - \gamma)(x + n + d) \\ \left(\frac{\partial \gamma_{\hat{y}}}{\partial \ln \hat{h}}\right)_{SS} &= -\gamma(1 - \alpha - \gamma)(x + n + d)\end{aligned}$$

En revenant à l'équation (1.22), on a :

$$\gamma_{\hat{y}} = 0 - \alpha(1 - \alpha - \gamma)(x + n + d)(\ln \hat{k} - \ln \hat{k}^*) - \gamma(1 - \alpha - \gamma)(x + n + d)(\ln \hat{h} - \ln \hat{h}^*)$$

Sachant que $\ln \hat{y} = \alpha \ln \hat{k} + \gamma \ln \hat{h}$, l'équation de dynamique transitoire est :

$$\gamma_{\hat{y}} = -\beta(\ln \hat{y} - \ln \hat{y}^*)$$

avec $\beta = (1 - \alpha - \gamma)(x + n + d)$

1.B Démonstration de la relation qui lie b et R^2

D'après l'équation de convergence, on a :

$$\sigma_T^2 = (1 + b)^2 \sigma_0^2 + \sigma_{\varepsilon T}^2$$

En divisant membre à membre par σ_0^2 , l'équation devient :

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} &= (1 + b)^2 + \frac{\sigma_{\varepsilon T}^2}{\sigma_0^2} \Leftrightarrow \frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} = (1 + b)^2 \left[1 + \frac{\sigma_{\varepsilon T}^2}{\sigma_0^2} * \frac{1}{(1 + b)^2} \right] \\ \Leftrightarrow \frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} &= (1 + b)^2 \left[1 + \frac{\sigma_{\varepsilon T}^2}{\sigma_T^2 - \sigma_{\varepsilon T}^2} \right] \Leftrightarrow \frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} = (1 + b)^2 \left[\frac{\sigma_T^2}{\sigma_T^2 - \sigma_{\varepsilon T}^2} \right] \\ \Leftrightarrow \frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} &= \frac{(1 + b)^2}{\frac{\sigma_T^2 - \sigma_{\varepsilon T}^2}{\sigma_T^2}} \Leftrightarrow \frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} = \frac{(1 + b)^2}{1 - \frac{\sigma_{\varepsilon T}^2}{\sigma_T^2}} \end{aligned}$$

Finalement, on a :

$$\frac{\sigma_T^2}{\sigma_0^2} = \frac{(1 + b)^2}{R^2}$$

1.C Sophisme de Galton

D'après l'équation de convergence, on a :

$$\ln y_t = a + (1 + b) \ln y_{t-1} + \epsilon_t \quad (1.23)$$

avec $b = -(1 - e^{-\beta})$

L'estimation de cette équation par les MCO conduit à :

$$1 + \hat{b} = \frac{\text{cov}(\ln y_t, \ln y_{t-1})}{\text{var}(\ln y_{t-1})} = \frac{\text{cov}(\ln y_t, \ln y_{t-1})}{\sigma_{t-1}^2} \quad (1.24)$$

Supposons que la distribution du revenu par tête ne diminue pas, c'est-à-dire que la variance du revenu par tête ne décroît pas au cours du temps. Pour simplifier, on pose : $\sigma_{t-1}^2 = \sigma_t^2$. L'équation 1.24 devient :

$$1 + \hat{b} = \frac{\text{cov}(\ln y_t, \ln y_{t-1})}{\sqrt{\sigma_t^2} \sqrt{\sigma_{t-1}^2}} = r_{\ln y_t, \ln y_{t-1}} \quad (1.25)$$

r représente le coefficient de corrélation entre $\ln y_t$ et $\ln y_{t-1}$ et est compris entre -1 et 1.

$$-1 < 1 + \hat{b} < 1 \quad \Leftrightarrow \quad -2 < \hat{b} < 0$$

Ainsi, on peut obtenir un coefficient b négatif sans observer simultanément une diminution de la dispersion dans le revenu par tête. Autrement dit, la distribution peut diverger alors que la relation entre le niveau initial et le taux de croissance est négative.

1.D La méthode de l'arbre de décomposition

La méthode de l'arbre de décomposition permet, en combinant plusieurs critères de sélection, de déterminer de façon endogène la composition et le nombre des clubs de convergence. On ne fixe donc plus a priori (comme par exemple sur la base de critères géographiques ou institutionnels) le nombre et la composition de chaque club de convergence.

L'algorithme de l'arbre de décomposition est le suivant (Durlauf et Johnson (1995) :

1. On choisit d'abord le premier critère de sélection, par exemple le niveau de PIB par tête.
2. On classe les N pays par valeur croissante du niveau de PIB. On partage de façon arbitraire l'échantillon en deux sous échantillons : l'échantillon $E1$ où les pays ont un niveau de PIB inférieur à une certaine valeur V et l'échantillon $E2$ constitué des pays dont le PIB est supérieur à V .
3. Pour chaque sous échantillon, on régresse le taux de croissance du PIB par tête (qui est la variable expliquée de l'équation de convergence) sur le niveau initial du PIB par tête et le taux d'alphabétisation et on ajoute la somme des carrés des résidus des deux échantillons.
4. On recommence cette procédure mais en changeant la valeur de partage V qui devient V' (comme on veut spécifier au mieux la composition de chaque groupe, on procède par tâtonnement en diminuant à chaque fois la valeur de V). On ajoute à nouveau la somme des carrés des résidus des deux sous échantillons et on la compare avec celle obtenue pour la valeur V .

5. On procède ainsi jusqu'à obtenir la valeur V^* qui minimise la somme de la somme des carrés des résidus. L'échantillon total est décomposé en deux groupes :
 - un groupe $E1$ dont $y < V^*$ contenant n observations
 - et un autre $E2$ dont $y > V^*$ contenant $(N - n)$ observations.

6. On répète les étapes 2 à 5 en changeant le critère de sélection. Autrement dit, on classe les différents pays de chaque sous-groupe $E1$ et $E2$ par valeur croissante du taux d'alphabétisation. On trouve ainsi la valeur W^* qui partage chaque sous échantillon en deux. On a alors quatre clubs :
 - $C1$ dont $y < V^*$ et $TA < W^*$
 - $C2$ dont $y < V^*$ et $TA > W^*$
 - $C3$ dont $y > V^*$ et $TA < W^*$
 - $C4$ dont $y > V^*$ et $TA > W^*$

7. On peut à nouveau prendre chaque échantillon et les partager en fonction du niveau initial du PIB par tête. Cette procédure de décomposition est tout de même limitée par le nombre d'observations présentes dans chaque club (on ne peut pas en effet pour des raisons économétriques avoir des échantillons contenant moins de 10 observations).

Chapitre 2

Convergence et rattrapage :
quelle modélisation retenir pour les
séparer ?

Introduction

Modéliser l'accumulation de capital et les transferts de technologie dans un même cadre est une nécessité si nous voulons déterminer théoriquement puis empiriquement les effets de la convergence et du rattrapage dans la croissance des pays.

Pendant longtemps, la technologie ne s'appuyait sur aucun fondement théorique. Il s'agissait d'un facteur supplémentaire introduit en comptabilité de la croissance (Maddison (1987)). Depuis la théorie de la croissance endogène et du modèle de Romer (1990), la technologie résulte d'une activité délibérée de recherche et développement. Des modèles de diffusion technologique (Grossman et Helpman (1991), Barro et Sala I Martin (1995c)) sont alors apparus. Le pays suiveur n'invente pas nécessairement ses produits intermédiaires mais bénéficie des produits découverts par le pays leader. Les transferts de technologie apparaissent, en fait, comme un bonus dont le pays va profiter, bonus dont l'ampleur est fonction des écarts de technologie entre les pays. Cependant, dans ces modèles de diffusion technologique, les effets de l'accumulation de capital ne sont pas pris en compte explicitement et seul le rattrapage est étudié.

L'objectif de ce chapitre est de trouver les conditions nécessaires pour obtenir un cadre d'analyse permettant d'étudier simultanément les effets de l'accumula-

tion de capital et des transferts de technologie. Ce modèle doit répondre à une double préoccupation :

- séparer explicitement la convergence et le rattrapage ;
- aboutir à une équation qui puisse faire l'objet d'études économétriques.

Après avoir montré pourquoi rattrapage et convergence **doivent** être séparés, nous nous demandons, dans le cadre de ce chapitre, si rattrapage et convergence **peuvent** être séparés. Si *a priori* nous pouvons penser qu'il n'y a pas de raisons qui empêchent de séparer théoriquement le rôle des transferts de technologie et celui de l'accumulation de capital, nous allons voir qu'une telle entreprise bute sur des impossibilités techniques majeures, du moins dans le cadre des modèles de croissance endogène.

Dans une première section, en nous appuyant sur le modèle de Jones (1995), nous introduisons les transferts de technologie dans un modèle de croissance semi endogène où la croissance est exogène mais le progrès technique endogène. Le cadre de croissance exogène permettant de caractériser la dynamique transitoire, notre modèle étudie les effets de la convergence et du rattrapage sur le taux de croissance transitoire de la production par tête. Nous montrons que cette séparation entre convergence et rattrapage n'est possible que sous les hypothèses d'exogénéité et de constance du taux d'épargne et de la part du travail affecté à la recherche.

Ces restrictions nous semblent impossibles à admettre et nous conduisent, dans une seconde section, à construire donc un modèle de croissance endogène au sein duquel taux d'épargne et part du travail sont déterminés de façon endogène. Nous montrons alors qu'il n'est plus possible, dans un tel cadre d'analyse,

de séparer convergence et rattrapage. C'est la raison pour laquelle, au chapitre suivant, nous abandonnons le cadre endogène pour retenir un cadre de croissance exogène.

2.1 Illusion d'une séparation dans un modèle de croissance semi endogène

Dans cette section, nous nous appuyons sur le modèle de Jones (1995) pour construire un modèle intégrant l'accumulation de capital et les écarts de technologie.

Nous expliquons, tout d'abord, pourquoi le cadre d'analyse du modèle de Jones est plus approprié à notre problématique que les modèles de croissance endogène de Romer (1990) et Aghion et Howitt (1992). Puis, nous développons les hypothèses du modèle afin de déterminer le taux de croissance d'ouverture de l'économie. Nous montrons notamment que les transferts de technologie n'ont aucun effet sur le taux de croissance de long terme de la production par tête. Enfin, nous nous intéressons à l'étude de la dynamique transitoire et aux effets des transferts de technologie et de l'accumulation de capital sur le taux de croissance de la production par tête.

2.1.1 Pertinence du modèle de Jones (1995)

Dans les modèles de croissance endogène intégrant l'activité de recherche et développement, la taille de l'économie constitue un facteur explicatif déterminant : le taux de croissance de l'économie est directement proportionnel aux ressources allouées à la recherche ($\frac{DA}{A} = \delta L_A A$ où L_A représente la population af-

fectée à la recherche¹) et donc, par voie de conséquence, à la taille de l'économie. Toutes choses égales par ailleurs, si le nombre d'ingénieurs affectés au secteur de la recherche double, le taux de croissance de la production par tête devrait aussi doubler, du moins à l'état stationnaire. Grossman et Helpman (1991) se servent de cet effet de taille pour justifier les effets bénéfiques de l'intégration économique sur la croissance : si deux économies s'intègrent complètement en une seule, celle-ci se retrouve avec une dotation en capital humain deux fois plus importante et le taux de croissance augmente. D'autres, au contraire, le rejettent. Le chef de file de cette critique est Jones (1995) qui considère cet effet sans fondement empirique. La critique de Jones vise le choix ad hoc de la valeur des paramètres dans la fonction de production des idées ($DA = \delta L_A^\lambda A^\phi$) du modèle de Romer ($\lambda = 1, \phi = 1$) et le peu de pertinence de l'effet d'échelle. Il prend pour exemple le nombre de scientifiques américains engagés dans le secteur de la recherche qui a augmenté de façon spectaculaire depuis quarante ans, alors que parallèlement les taux de croissance sont restés constants, voire ont même en moyenne diminué.

Jones (1995) construit un modèle de croissance dans lequel l'effet de taille, résultat traditionnel des modèles de croissance endogène avec technologie, est éliminé mais où les autres caractéristiques du modèle de Romer (1990) et de Aghion et Howitt (1992) sont gardées, en particulier l'idée selon laquelle la recherche résulte d'une activité privée. Le taux de croissance de long terme de la production par tête dépend uniquement de paramètres exogènes ; il est, par conséquent, indépendant de la taille de l'économie. Ce modèle se situe, toutefois, en économie fermée.

A partir du modèle de Jones, nous construisons un modèle permettant d'étu-

1. Cette équation correspond à la spécification du secteur de la recherche dans le modèle de Romer (1990). Chez Aghion et Howitt (1992), cette équation est de la forme : $\frac{DA}{A} = \lambda L_A \ln \gamma$.

dier les effets de l'ouverture d'une économie à la connaissance mondiale, ouverture se manifestant par des transferts de technologie vers cette économie. Les effets positifs de l'intégration de deux pays ont déjà largement été étudiés en croissance endogène avec effet d'échelle (Rivera-Batiz et Xie (1991), Rivera-Batiz et Romer (1992)). Un des résultats essentiel de ces modèles est qu'à l'état stationnaire, grâce à la liberté d'échange des connaissances, chaque pays a un taux de croissance plus élevé qu'en situation d'autarcie. Or, il nous semble que, si les bénéfices de l'ouverture sont évidents, ils ne sont pourtant que transitoires. Il est donc utile de construire un modèle sans effet d'échelle et qui ne prédise un effet positif de l'ouverture que pendant la phase de transition où s'effectuent les transferts de technologie.

2.1.2 Introduction des transferts de technologie dans le modèle de Jones

Comme dans le modèle de Romer (1990), l'économie est dotée de trois secteurs (le secteur produisant le bien final, le secteur de production des biens d'équipement et le secteur de la recherche). Le progrès technique résulte de la production d'idées par les chercheurs motivés par le profit qu'ils espèrent retirer de leurs inventions. La structure du marché et l'incitation économique qui sous-tendent ce processus ne sont pas présentées car bien connues. Nous ne retenons que les éléments macroéconomiques du modèle.

2.1.2.1 La technologie de production

La fonction de production indique comment le stock de capital (K), la quantité de travail (L_Y) et la technologie (A) sont utilisés pour produire un bien Y :

$$Y(t) = (A(t)L_Y(t))^{1-\alpha} K(t)^\alpha \quad (2.1)$$

La quantité de travail dans l'économie, L , est utilisée soit dans la production directe (L_Y) soit dans l'accumulation de technologie (L_A), de sorte que l'économie est soumise à la contrainte suivante: $L = L_Y + L_A$ ².

En posant $y = \frac{Y}{L}$, $k = \frac{K}{L}$, la fonction de production devient:

$$y(t) = A(t)^{1-\alpha} \left(\frac{L_Y(t)}{L(t)} \right)^{1-\alpha} k(t)^\alpha$$

En notant p la part de la population employée dans le secteur du bien final: $p = \frac{L - L_A}{L}$, la fonction de production par tête s'écrit alors:

$$y(t) = A(t)^{1-\alpha} (p(t))^{1-\alpha} k(t)^\alpha \quad (2.2)$$

2.1.2.2 L'accumulation de capital

L'accumulation de capital correspond à l'investissement moins la dépréciation. Nous supposons que l'épargne est exogène, de sorte que l'accumulation de capital s'écrit:

$$DK(t) = sY(t) - dK(t) \quad (2.3)$$

où s et d sont respectivement le taux d'épargne et le taux de dépréciation du capital.

L'équation d'accumulation du capital par tête est:

$$Dk(t) = sy(t) - (n + d)k(t) \quad (2.4)$$

où $n = \frac{DL}{L}$ correspond au taux de croissance de la population³.

2. La répartition des travailleurs entre les deux secteurs est telle que la rémunération du travail dans le secteur du bien final est égale à celle dans le secteur de la recherche.

3. Pour simplifier notre étude, nous supposons que s et n sont identiques pour tous les pays.

2.1.2.3 Le secteur de la recherche

L'activité de recherche consiste à repousser toujours plus loin la borne supérieure du *continuum* de variétés de biens d'équipement, A . Il s'agit d'inventer de nouvelles variétés qui viennent s'ajouter à celles déjà existantes. $DA(t)$ représente ainsi le nombre d'idées nouvelles produites à tout moment.

La production de nouvelles variétés est égale au nombre de personnes qui recherchent des idées nouvelles, L_A , multiplié par le taux auquel elles découvrent ces idées, $\tilde{\delta}$:

$$DA(t) = \tilde{\delta}(t)L_A(t) \quad (2.5)$$

Le taux auquel les chercheurs découvrent des variétés nouvelles est fonction du stock de variétés déjà inventées dans l'économie. Il peut dépendre positivement ou négativement de ce stock. Si les inventions passées ont un effet positif sur la productivité des chercheurs actuels, alors $\tilde{\delta}$ est une fonction croissante de A . Mais, les variétés nouvelles peuvent être de plus en plus difficiles à découvrir et dans ce cas, $\tilde{\delta}$ est une fonction décroissante de A . L'équation décrivant la production des variétés prend ainsi la forme suivante:

$$\tilde{\delta} = \delta A^\phi(t) \quad (2.6)$$

où ϕ et δ ($\delta > 0$) sont des constantes. $\phi < 0$ indique que les découvertes déjà réalisées rendent la découverte d'idées nouvelles de plus en plus difficile: on assiste à un effet d'épuisement. Dans le cas où $\phi > 0$, les découvertes passées facilitent la recherche d'idées nouvelles: il existe un effet d'entraînement. Enfin, $\phi = 0$ signifie que le taux auquel les idées sont découvertes est indépendant du stock des idées déjà découvertes.

Comme Jones, nous supposons que les découvertes passées augmentent la productivité de la recherche mais que cet effet d'entraînement est à rendements décroissants :

$$0 < \phi < 1$$

Enfin, une dernière hypothèse est introduite : l'existence d'un effet d'encombrement dû à la duplication des projets de recherche. Les chercheurs ne prennent pas en compte le fait que leur activité diminue la productivité de la recherche par un effet de duplication. Cet effet vient réduire le nombre total d'innovations produites par les L_A unités de travail. La fonction de production des idées devient :

$$DA(t) = \tilde{\delta}(t)L_A(t)^\lambda$$

avec $0 < \lambda < 1$. En prenant en compte cette modification dans l'équation décrivant la production des idées, la fonction de production des idées dans chaque pays s'écrit :

$$DA(t) = \delta L_A(t)^\lambda A(t)^\phi \tag{2.7}$$

Cette équation soulève trois remarques :

- la production des nouvelles idées dépend ainsi de deux externalités : une externalité négative de duplication ($\lambda < 1$) et une externalité positive de connaissance ($\phi > 0$). La productivité de la recherche augmente avec les innovations. Il apparaît alors un effet de *standing on shoulders* (Caballero et Jaffe (1993)).⁴
- la productivité marginale du travail engagé dans le secteur de la recherche est une fonction croissante du savoir accessible à tous mais à taux décroissant.

4. Cette expression est attribuée à Newton qui déclara : "Si j'ai vu plus loin que les autres, c'est parce que j'étais assis sur des épaules de géants".

- quand $\lambda = 1$ et $\phi = 1$, l'équation est équivalente à la fonction de production considérée par Romer.

Les hypothèses présentées caractérisent l'économie en situation d'autarcie. Ce cadre correspond au cadre du modèle de Jones. Un des résultats essentiels de ce modèle concerne la valeur du taux de croissance d'état stationnaire. Le taux de croissance ne dépend que des paramètres exogènes du modèle et est égal à⁵ :

$$g = \frac{\lambda n}{1 - \phi} \quad (2.8)$$

Nous allons considérer que, partant de cette situation d'état stationnaire, l'économie subit un choc : elle s'ouvre à la connaissance mondiale, profitant ainsi des technologies supplémentaires pour produire ses propres idées.

Nous nous intéressons donc maintenant aux conséquences de cette ouverture sur la fonction de production du secteur de la recherche et sur la nouvelle situation d'état stationnaire de l'économie ouverte. Nous supposons l'absence de libre échange des biens d'équipement, de sorte que la fonction de production du bien final reste inchangée.

2.1.2.4 Les conséquences de l'ouverture sur la fonction de production des idées

Doit-on considérer que l'ouverture à la connaissance permet aux chercheurs d'utiliser, en plus de leur propre stock d'idées, les idées étrangères pour produire des idées nouvelles?

5. Voir Jones (1995) p 767.

Tous les modèles étudiant les effets de l'ouverture internationale sur la croissance à partir du modèle de Romer (où $\phi = 1$) (Rivera-Batiz et Romer (1991), Rivera-Batiz et Xie (1992), Aubin (1994)) considèrent que le stock de connaissances disponible dans chaque pays correspond au stock global de connaissances. En considérant un modèle à deux pays, i et j , le stock total de connaissances disponible dans chaque pays est égal à la somme du stock du pays i et du stock du pays j : $A_i + A_j$. Cette approche a ses mérites mais aussi de nombreux inconvénients parmi lesquels l'effet d'échelle et le problème de la duplication des idées.

Notre approche est différente. Nous supposons, tout d'abord, que l'ouverture à la connaissance permet au pays d'accéder à la frontière technologique. Cette frontière technologique, qui correspond au niveau de technologie maximal qui existe, évolue sous l'impulsion des dépenses en R&D effectuées par les pays les plus avancés. Nous admettons (voir Benhabib et Spiegel (1994) ou Jones (1996)) que cette frontière technologique croît au taux exogène et constant g_{max} .

Nous considérons, ensuite, que l'accès à la frontière technologique affecte la production des idées du pays en améliorant le taux auquel les chercheurs découvrent des variétés nouvelles. Ainsi, le taux auquel les chercheurs découvrent de nouvelles idées dépend toujours de façon positive des variétés déjà inventées dans l'économie mais également de l'écart de technologie qui existe entre le pays et la frontière technologique. L'équation (2.6) devient alors :

$$\tilde{\delta}'(t) = \delta A^\phi(t) \left(\frac{A_{max}(t)}{A(t)} \right)^\epsilon \quad (2.9)$$

Plus le pays est initialement éloigné de la frontière technologique, plus l'ouverture augmente la production d'idées nouvelles. Le paramètre ϵ , qui représente l'élasticité de la production par rapport à l'écart technologique, est positif et inférieur

à 1 : l'ouverture à la connaissance augmente la productivité de la recherche mais cet effet d'entraînement est à rendements décroissants. La fonction de production du secteur de la recherche devient alors :

$$DA(t) = \delta L_A(t)^\lambda A(t)^\phi \left(\frac{A_{max}(t)}{A(t)} \right)^\epsilon \quad (2.10)$$

Notre approche écarte les problèmes d'effet d'échelle, tout en conservant les effets (désirés) de l'ouverture et permet d'étudier les effets transitoires des transferts.

C'est dans ce nouveau contexte d'économie ouverte que nous nous intéressons maintenant à la situation de l'économie en régime permanent. Nous montrons que les transferts n'ont aucun effet, dans ce cadre, sur le taux de croissance de long terme.

2.1.3 Insensibilité du taux de croissance d'état stationnaire aux transferts de technologie

Montrons, tout d'abord, qu'il existe une solution d'état régulier pour laquelle toutes les variables du modèle (k , y et A) croissent au même taux g .

La solution d'état régulier assure que toutes les variables du modèle croissent à taux constant :

$$\left(\frac{Dk}{k} \right)^* = cste \quad \left(\frac{Dy}{y} \right)^* = cste \quad \left(\frac{DA}{A} \right)^* = cste$$

Comme $\frac{Dk}{k}$ est constant, on peut conclure que le rapport $\frac{y}{k}$ est constant, ce qui induit $\left(\frac{Dk}{k} \right)^* = \left(\frac{Dy}{y} \right)^*$.

De plus, d'après l'équation de la fonction de production en variables par tête, on a : $\left(\frac{Dy}{y}\right)^* = \alpha \left(\frac{Dk}{k}\right)^* + (1 - \alpha) \left(\frac{DA}{A}\right)^* + (1 - \alpha) \left(\frac{Dp}{p}\right)^*$.

Comme on est à l'état stationnaire, la part de la population affectée au secteur du bien final est constante, donc $\left(\frac{Dp}{p}\right)^* = 0$. Il s'en suit nécessairement que : $\left(\frac{DA}{A}\right)^* = \left(\frac{Dk}{k}\right)^*$. Finalement, on a :

$$\left(\frac{Dy}{y}\right)^* = \left(\frac{Dk}{k}\right)^* = \left(\frac{DA}{A}\right)^* = g$$

Le taux de croissance de l'économie se détermine à partir de la fonction de production de la recherche. En effet, on a : $DA = \delta L_A^\lambda A^\phi \left(\frac{A_{max}}{A}\right)^\epsilon$ ce qui est encore équivalent à : $\frac{DA}{A} = \delta L_A^\lambda A^{\phi-1} \left(\frac{A_{max}}{A}\right)^\epsilon$.

Le long du sentier de croissance équilibrée, le taux de croissance de la connaissance est, par définition, constant. En outre, l'écart de technologie entre le pays et la frontière est constant de sorte que : $\left(\frac{DA}{A}\right)^* = \left(\frac{DA_{max}}{A_{max}}\right)^*$. En prenant la dérivée logarithmique de l'équation de $\frac{DA}{A}$, nous déterminons explicitement le taux de croissance de l'économie à l'état stationnaire :

$$g_A = g_y = g_k = \frac{\lambda n}{1 - \phi} \quad (2.11)$$

Plusieurs enseignements peuvent être extraits de cette équation du taux de croissance de long terme :

- le taux de croissance d'ouverture est identique à celui d'autarcie (équation (2.8)). En d'autres termes, les transferts de technologie n'affectent l'économie que de façon transitoire.
- la taille de la population n'a qu'un effet niveau et pas d'effet taux. En effet, le long du sentier de croissance équilibrée, le ratio $\frac{y}{A}$ est constant et donné par :

$$\frac{y^*(t)}{A(t)} = \left(\frac{s}{n + g_A + d}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} p$$

Le long du sentier de croissance équilibrée, l'équation du taux de croissance de la technologie peut être résolue pour faire apparaître A comme une fonction de la population :

$$A(t) = \left(\frac{(1 - \phi)\delta ((1 - p)L(t))^\lambda A_{max}(t)^\epsilon}{\lambda n} \right)^{\frac{1}{1-\phi+\epsilon}}$$

En combinant ces deux équations, nous obtenons l'équation décrivant l'évolution de la production par tête à l'état stationnaire :

$$y^*(t) = \left(\frac{s}{n + g_A + d} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} p \left(\frac{\delta(1 - \phi) ((1 - p)L(t))^\lambda A_{max}(t)^\epsilon}{\lambda n} \right)^{\frac{1}{1-\phi+\epsilon}} \quad (2.12)$$

L'évolution de y^* est gouvernée par l'évolution de la technologie, elle-même gouvernée par l'évolution de la population. La production par tête est donc proportionnelle à la population. La taille de la population affecte le niveau de la production par tête (y^*) mais, contrairement aux modèles de Romer, Grossman et Helpman, elle n'affecte pas le taux de croissance, g .

- de plus, comme dans le modèle de Solow, les modifications du taux d'investissement n'ont pas d'effets sur le taux de croissance de long terme. Elles affectent, en revanche, de manière transitoire le taux de croissance et le niveau du revenu.

Nous pouvons conclure cette présentation du modèle de Jones, quelque peu modifiée par les transferts, par la remarque de Jones (1998) :

"Un effet transitoire peut être allongé jusqu'à devenir arbitrairement proche d'un effet permanent. Mais la réciproque n'est pas vraie : un effet permanent ne peut être assimilé à un effet d'une durée déterminée aussi longue soit-elle."

Sur cette base, nous pensons que notre modélisation est une meilleure approche des effets de l'ouverture que les modèles à la Rivera-Batiz, Romer et Xie (1991). Elle permet, comme nous allons le montrer à présent, d'analyser les effets de l'ouverture en dynamique transitoire.

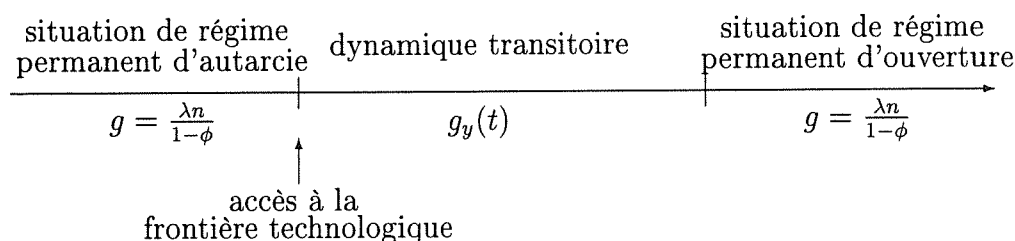
2.1.4 Effets des transferts de technologie pendant la dynamique transitoire

Si les transferts ont des effets, ceux-ci ne sont que transitoires. Notre objectif est ici d'étudier les effets des transferts pendant la dynamique transitoire. Il s'agit pour cela de déterminer l'expression du taux de croissance de la production par tête, $g_y = \frac{Dy}{y}$, en dehors de l'état stationnaire. Pour simplifier notre analyse, nous supposons, comme le fait Jones, que, pendant la dynamique transitoire, la part de travail affecté à la recherche ne change pas. Nous revenons, dans le paragraphe 2.1.5, sur cette hypothèse très critiquable que nous relâchons dans la section suivante.

2.1.4.1 L'ouverture à la connaissance dans un modèle à la Jones

Avant de s'ouvrir à la connaissance, l'économie est à son état stationnaire d'autarcie, elle croît au taux $g = \frac{\lambda n}{1-\phi}$. A une date t (par exemple, $t = 0$, pour simplifier), l'économie s'ouvre à la connaissance et accède à la frontière technologique. Instantanément, sa fonction de production dans le secteur de la recherche est modifiée: les transferts de technologie interviennent comme un facteur supplémentaire dans la production des idées nouvelles. L'économie quitte alors son état stationnaire pour entrer dans une phase de transition. A long terme, elle retourne vers ce même état stationnaire (puisque les transferts de technologie n'ont pas d'effet sur le taux de croissance de régime permanent). C'est pendant cette

phase de transition que les transferts de technologie mais aussi le capital ont une influence sur l'évolution de l'économie⁶. L'évolution globale de l'économie peut se résumer ainsi :



La question fondamentale que nous évoquons ici est de savoir si la communication entre les communautés est un élément constitutif de la croissance d'état régulier ou de la seule dynamique transitoire. Est-ce que, si Christophe Colomb n'avait jamais découvert l'Amérique, les américains auraient fini par connaître la même croissance que les européens? Oui, car la croissance a pour moteur les idées (Jones (1995)), les idées ont pour support créateur les individus et donc en fin de compte, la croissance est liée au taux de croissance de la population. Si nous admettons (Lotka (1939)) que les taux de croissance des populations sont, à l'état stationnaire, les mêmes pour toutes les économies, alors la découverte de l'Amérique n'a eu qu'un effet transitoire sur la croissance. L'accès à la technologie occidentale des pays d'Asie après 1945 n'a eu, de même, qu'un effet transitoire. Les fondamentaux de la croissance sont les idées et les individus qui les créent. La communication des idées est un élément indispensable de ce processus. Ouvrir l'économie pour accroître cette communication peut engendrer une croissance transitoire, comme nous allons le voir. Mais la croissance de long terme retrouve

6. L'économie n'étant plus à l'état stationnaire, ce sont les équations d'accumulation de la technologie et du capital qui gouvernent l'évolution de la production par tête.

en définitive ses fondamentaux⁷.

2.1.4.2 Transformation de la situation de croissance à taux constant en situation de croissance à taux nul

Dans le long terme, les niveaux des variables sont déterminés par leurs taux de croissance. Ces taux de croissance, tous égaux entre eux, sont constants mais non nuls. Il est donc nécessaire pour étudier la dynamique transitoire de transformer ces variables en variables qui croissent à taux nul à l'état stationnaire. On pose :

$$q = \frac{y}{k} \quad u = \frac{DA}{A}$$

En effet, comme k et y croissent au même taux, $\left(\frac{Dq}{q}\right)^* = 0$ et comme $\frac{DA}{A}$ est constant, $\left(\frac{Du}{u}\right)^* = 0$. La dynamique transitoire repose donc sur l'étude du comportement de ces deux variables en dehors de l'état stationnaire.

2.1.4.3 Détermination du taux de croissance de la production par tête

Etant donné l'expression de la fonction de production en variables par tête, le taux de croissance de la production par tête s'écrit :

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = \alpha \frac{Dk(t)}{k(t)} + (1 - \alpha) \frac{DA(t)}{A(t)} + (1 - \alpha) \frac{Dp}{p}$$

Sous l'hypothèse que la part de la population dans la recherche est constante, le taux de croissance de la production par tête devient : $\frac{Dy}{y} = \alpha(sq - (n + d)) + (1 - \alpha)u$ ce qui est encore équivalent à :

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = (1 - \alpha)u(t) + \alpha sq(t) - \alpha(n + d)$$

7. Si la communication entre les économies modifie certains fondamentaux de la croissance (en particulier le rendement de la recherche ϕ), alors la croissance d'état stationnaire est modifiée et il apparaît un effet permanent de l'ouverture (Mounet(2000)).

Nous montrons que $\frac{Dy}{y}$ peut encore s'écrire⁸:

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = (1 - \alpha)(u(t) - g) + \alpha s(q(t) - q^*) + g \quad (2.13)$$

où $g = \frac{\lambda n}{1-\phi}$ (d'après 2.11) et $q^* = \frac{y^*}{k^*} = \frac{g+n+d}{s}$

Ainsi, le taux de croissance de la production par tête est exprimé en fonction des variables u et q dont nous allons étudier le comportement en dehors de l'état stationnaire.

Etude de la dynamique transitoire de $u(t)$. Sachant que $u = \frac{DA}{A} = \delta L_A^\lambda A^{\phi-1} \left(\frac{A_{max}}{A}\right)^\epsilon$, le taux de croissance de u s'écrit: $\frac{Du}{u} = \lambda n + (\phi - 1 - \epsilon)u + \epsilon g_{max}$. Or, on sait qu'à l'état stationnaire $g = \frac{\lambda n}{1-\phi}$ et $g_{max} = g$. Il s'en suit que: $\frac{Du}{u} = g(1 - \phi) - (1 - \phi + \epsilon)u + \epsilon g$ ce qui est encore équivalent à:

$$\frac{Du(t)}{u(t)} = -(1 - \phi + \epsilon)(u(t) - g) \quad (2.14)$$

Il s'agit d'une équation différentielle non linéaire. L'utilisation d'un développement de Taylor d'ordre 1 au voisinage du point d'état stationnaire permet de linéariser cette équation différentielle dont la solution est donnée par:

$$u(t) - g = (u(0) - g)e^{-\mu t} \quad (2.15)$$

avec $\mu = (1 - \phi + \epsilon)g$

Etude de la dynamique transitoire de $q(t)$. D'après la définition de q , on a: $\frac{Dq}{q} = \frac{Dy}{y} - \frac{Dk}{k} = (1 - \alpha)u - (1 - \alpha)sq + (1 - \alpha)(n + d)$. On montre que ceci est équivalent à:

$$\frac{Dq(t)}{q(t)} = (1 - \alpha)(u(t) - g) - (1 - \alpha)s(q(t) - q^*) \quad (2.16)$$

8. Les explications complètes de la dynamique transitoire figurent en annexe 2.A.

En procédant là aussi à un développement de Taylor au voisinage du point d'état stationnaire, on obtient une équation différentielle linéaire dont la solution est :

$$q(t) - q^* = (q(0) - q^*)e^{-\beta t} + \frac{\alpha q^*}{\beta - \mu}(u(0) - g)(e^{-\mu t} - e^{-\beta t}) \quad (2.17)$$

avec $\beta = (1 - \alpha)(g + n + d)$ et q^* la valeur d'état stationnaire de la variable q .

2.1.4.4 Evolution du taux de croissance de la production par tête

Les solutions de chaque équation différentielle permettent de caractériser l'évolution du taux de croissance de la production par tête en dehors de l'état stationnaire. Pour cela, on remplace $u(t) - g$ et $q(t) - q^*$ par leurs équations respectives dans l'expression de $g_y(t)$ (équation (2.13)) et on a :

$$g_y(t) = (1 - \alpha)(u(0) - g)e^{-\mu t} + \alpha s(q(0) - q^*)e^{-\beta t} + \alpha \frac{\beta}{\beta - \mu}(u(0) - g)(e^{-\mu t} - e^{-\beta t}) + g \quad (2.18)$$

Le taux de croissance de la production par tête dépend, pendant la dynamique transitoire, de trois éléments :

1. $(1 - \alpha)(u(0) - g)e^{-\mu t}$ correspond aux effets des transferts de technologie sur le taux de croissance de la production par tête. Ce terme mesure la part du taux de croissance qui est expliquée par le rattrapage. Le coefficient $\mu = (1 - \phi + \epsilon)g$ correspond au taux de rattrapage et permet de calculer la vitesse à laquelle l'économie se rapproche de son état stationnaire. Plus les transferts sont importants (c'est-à-dire ϵ élevé), plus le rattrapage est rapide : le temps pour combler la moitié de l'écart qui sépare le pays de son état stationnaire est plus court, comme l'illustre la figure 2.1.

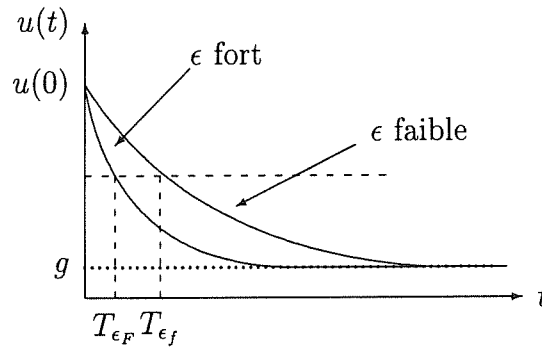


FIG. 2.1 – Influence de l'élasticité de production sur le temps de rattrapage

2. $\alpha s(q(0) - q^*)e^{-\beta t}$ mesure les effets de l'accumulation de capital. Cette expression est identique à celle du modèle de Solow. Le coefficient β représente le taux de convergence.
3. $\alpha \frac{\beta}{\beta - \mu} (u(0) - g)(e^{-\mu t} - e^{-\beta t})$ représente l'interaction entre le progrès technique et la productivité marginale de capital. Lorsque l'accumulation des idées augmente, il y a augmentation de la productivité marginale du capital permettant ainsi de compenser la décroissance habituelle des rendements.

Nous avons supposé que, partant d'une situation d'état régulier, l'économie s'ouvre à la connaissance, ouverture qui se manifeste par l'accès à la technologie mondiale. A la suite de ce choc (ouverture), l'économie bénéficie de gains de productivité qui l'écartent de son état stationnaire. Durant cette dynamique transitoire, nous avons mesuré (équation (2.18)) la part de la croissance spécifiquement liée aux transferts, celle spécifiquement liée à la convergence et celle liée aux effets croisés. Dans cette équation, plus l'élasticité des transferts (ϵ) est élevée, plus le coefficient de rattrapage est important et, donc, plus la phase de transition est courte. A long terme, les effets des transferts disparaissent et

l'économie rejoint son ancien taux de croissance d'état stationnaire.

Cette décomposition, qui nous a permis de séparer convergence et rattrapage, est, en fait, de la même forme que celle obtenue par Jones lorsqu'il étudie la dynamique transitoire à la suite d'un choc sur la part des travailleurs dans le secteur de la recherche.

Mais, comme nous allons le voir dans le paragraphe suivant, cette équation n'est valable que sous certaines hypothèses très restrictives.

2.1.5 Séparation illusoire de la convergence et du rattrapage

En reprenant les hypothèses de Jones (1995) (part des chercheurs constante et taux d'épargne exogène), nous obtenons l'équation (2.18). Cette équation est fort intéressante vis-à-vis de notre préoccupation, séparer convergence et rattrapage.

Malheureusement, cette approche doit être écartée. Il apparaît que ce sont ces deux hypothèses qui permettent de séparer convergence et rattrapage.

En effet, la part du travail dans la recherche, $1 - p$, est déterminée par les fondements microéconomiques et la structure du marché : elle est donc endogène. Dans ces conditions, lorsque l'économie s'ouvre à la connaissance (elle entre en dynamique transitoire), $1 - p$ se modifie. Selon l'agent considéré, la part est déterminée différemment. Dans le modèle décentralisé, elle s'obtient en égalisant le salaire payé dans le secteur du bien final à celui payé dans le secteur de la recherche. En revanche, c'est par la résolution d'un problème d'optimisation que le dictateur détermine cette part⁹.

Quelle que soit la situation considérée, l'ouverture à la connaissance affecte

9. En présence d'externalités positives, la part de la population affectée à la recherche par les agents représentatifs est plus faible que celle allouée par le dictateur.

le mécanisme de détermination de p puisque la fonction d'accumulation de la technologie (DA) est modifiée. p n'est donc plus constant et nous ne pouvons ainsi plus considérer, dans l'équation $\frac{Dy(t)}{y(t)} = \alpha \frac{Dk(t)}{k(t)} + (1 - \alpha) \frac{DA(t)}{A(t)} + (1 - \alpha) \frac{Dp(t)}{p(t)}$, que $\frac{D(p(t))}{p(t)}$ est nul pendant la dynamique transitoire. L'équation 2.18 n'est alors plus valable. Il faut intégrer la dynamique de p . L'exogénéité de la part du travail affecté à la recherche est une première faiblesse.

De même, dans le problème du dictateur, l'épargne est déterminée de façon endogène à partir de la maximisation d'une fonction d'utilité sous contraintes. Or, pour résoudre la dynamique transitoire, Jones suppose que s est exogène. L'exogénéité du taux d'épargne constitue une seconde limite.

Ainsi, l'équation (2.18) est initialement déterminée dans un modèle de croissance semi endogène alors que finalement la dynamique transitoire est totalement exogène.

Le modèle présenté ci-après étudie les conséquences de l'endogénéisation de p et de s sur l'étude de la dynamique transitoire. Est-il alors toujours possible d'obtenir une équation qui sépare convergence et rattrapage?

2.2 Impossibilité d'une séparation dans un modèle canonique de croissance endogène

L'objectif de cette section est de voir si le cadre de croissance endogène permet de séparer la convergence et le rattrapage et donc, s'il est approprié de retenir un tel modèle dans le cadre de notre problématique.

Nous proposons, pour cela, de construire un modèle de croissance endogène avec accumulation de capital physique et de technologie. Nous caractérisons, tout

d'abord, le cadre général du modèle. Puis, nous présentons les différentes étapes de la résolution. Enfin, nous expliquons qu'il est impossible de dissocier convergence et rattrapage.

2.2.1 Présentation générale du modèle canonique

Les différentes hypothèses du modèle sont tout d'abord décrites. Puis, la résolution du problème d'optimisation est exposée.

2.2.1.1 Les hypothèses du modèle

L'économie est composée de deux secteurs : le secteur de production du bien final et le secteur d'accumulation de la technologie. Le travail est disponible en quantité L et employé dans chaque secteur de la façon suivante : L_Y est la quantité de travail utilisée dans le secteur du bien final, L_A la quantité utilisée dans le secteur de la technologie.

Le secteur de production du bien final. A chaque instant, l'économie dispose de capital physique (K), de technologie (A) et de travail (L_Y) pour produire un bien final Y . La fonction de production s'écrit :

$$Y(t) = F[K(t), L_Y(t), A(t)]$$

Nous supposons que cette fonction de production est une fonction néoclassique, c'est-à-dire qu'elle satisfait les propriétés suivantes :

- pour tout $K > 0$, $L > 0$ et $A > 0$, $F(.)$ possède des productivités marginales positives et décroissantes par rapport aux facteurs de production ;
- $F(.)$ est à rendements d'échelle constants ;

- la productivité marginale du capital (respectivement du travail) tend vers l'infini quand le capital (travail) tend vers 0 et elle tend vers 0 quand le capital (travail) tend vers l'infini.

Nous appelons $p(t) = \frac{L_Y(t)}{L(t)}$ la part de travail affecté à ce secteur ; pour simplifier, nous posons $L(t) = 1$ ¹⁰. La fonction de production devient :

$$Y(t) = F[K(t), p(t), A(t)] \quad (2.19)$$

Nous supposons, enfin, que le progrès technique est neutre au sens de Harrod, c'est-à-dire qu'il augmente l'efficacité du travail.

Le secteur d'accumulation de la technologie. L'équation d'accumulation de la technologie est donnée par :

$$DA(t) = G[A(t), L_A(t), h(A, A_{max})]$$

L'accumulation de technologie dépend de la technologie disponible, A , du travail affecté à ce secteur, L_A , et enfin d'une fonction, h . Cette fonction h rend compte des effets de la technologie maximale disponible (A_{max}) sur l'accumulation de technologie de l'économie. Elle correspond à un bonus dont bénéficie l'économie du fait de son écart par rapport à la frontière technologique. Plus l'écart avec la frontière technologique est élevé, plus les effets sur l'accumulation sont importants. En revanche, si l'économie est proche de cette frontière, les effets sont faibles :

$$\frac{\partial h(A, A_{max})}{\partial A_{max}} > 0 \quad \frac{\partial h(A, A_{max})}{\partial A} < 0 \quad (2.20)$$

10. Comme la population est normée à 1, les variables par tête et les variables en niveau sont identiques. Le taux de croissance des agrégats et le taux de croissance par tête sont donc aussi identiques.

Comme dans le modèle de Romer, nous supposons que la fonction G est linéaire en A , hypothèse qui rend possible une croissance sans borne. La linéarité en L_A n'est pas essentielle mais nous permet de simplifier l'étude. Comme $p = \frac{L_Y}{L}$, $1 - p = \frac{L_A}{L}$ et la fonction d'accumulation de la technologie devient :

$$DA(t) = G[A(t), 1 - p(t), h(A, A_{max})] \quad (2.21)$$

Le secteur d'accumulation du capital physique. L'accumulation de capital physique correspond à l'investissement (nous supposons qu'il n'y a pas de dépréciation). L'investissement est toujours égal à l'épargne, c'est-à-dire à la part non consommée de la production du bien final. L'équation d'accumulation du capital s'écrit :

$$DK(t) = Y(t) - C(t) = F[K(t), p(t), A(t)] - C(t) \quad (2.22)$$

Les préférences des agents. Les préférences des agents sont décrites par la fonction d'utilité intertemporelle : $\int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{C(t)^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} dt$ où C est la consommation, ρ le taux de préférence pour le présent, σ l'inverse de l'élasticité de substitution intertemporelle ($\sigma > 1$).

C'est dans le cadre défini par ces hypothèses que nous étudions le problème d'optimisation.

2.2.1.2 Le problème d'optimisation de l'agent représentatif

Pour simplifier la présentation, nous considérons que l'économie est gouvernée par un agent représentatif, à la fois consommateur et producteur, qui dicte les choix de consommation et affecte son travail entre les secteurs au cours du temps. Cet individu cherche à maximiser l'utilité sous les contraintes d'accumulation

auxquelles il est confronté, contraintes d'accumulation du capital physique et d'accumulation de la technologie. Son problème s'écrit ainsi :

$$MAX \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} dt \quad (2.23)$$

sous les contraintes :

$$DK = F[K, p, A] - C \quad (2.24)$$

$$DA = G[A, 1 - p, h(A, A_{\max})] \quad (2.25)$$

$$L = L_Y + L_A \quad (2.26)$$

et les conditions à l'origine: $K(0), A(0), A_{\max}(0)$

Les variables C et p sont des variables de contrôle pour l'agent représentatif, les variables K et A des variables d'état.

Nous appelons λ_K et λ_A les multiplicateurs associés aux deux contraintes du problème. Ces multiplicateurs sont les prix implicites des facteurs en termes d'utilité actualisée. Ainsi, λ_K est le prix implicite du capital et λ_A le prix implicite de la technologie. Le hamiltonien associé au problème s'écrit :

$$H = e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \lambda_K [F[K, p, A] - C] + \lambda_A G[A, 1 - p, h(A, A_{\max})] \quad (2.27)$$

L'équilibre, s'il existe (c'est le cas lorsque ρ est suffisamment important), doit vérifier les conditions suivantes :

$$\frac{\partial H}{\partial C} = 0 \quad \frac{\partial H}{\partial p} = 0 \quad - \frac{\partial H}{\partial K} = D\lambda_K \quad - \frac{\partial H}{\partial A} = D\lambda_A$$

Deux conditions de transversalité doivent être respectées :

$$\lim_{t \rightarrow +\infty} \lambda_K K(t) = 0 \quad \lim_{t \rightarrow +\infty} \lambda_A A(t) = 0$$

Enfin, à toutes ces conditions, s'ajoute traditionnellement la condition de continuité des trajectoires.

Les conditions d'optimalité conduisent aux équations suivantes¹¹ :

$$\frac{\partial H}{\partial C} = 0 \Leftrightarrow \frac{DC}{C} = \frac{1}{\sigma} \left(-\frac{D\lambda_K}{\lambda_K} - \rho \right) \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial H}{\partial p} = 0 \Leftrightarrow \lambda_K \frac{\partial F[K, p, A]}{\partial p} = -\lambda_A \frac{\partial G[A, 1 - p, h(\cdot)]}{\partial p} \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial H}{\partial K} = -\frac{D\lambda_K}{\lambda_K} \Leftrightarrow \frac{D\lambda_K}{\lambda_K} = -\frac{\partial F[K, p, A]}{\partial K} \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial H}{\partial A} = -\frac{D\lambda_A}{\lambda_A} \Leftrightarrow \frac{D\lambda_A}{\lambda_A} = -\frac{\lambda_K}{\lambda_A} \frac{\partial F[K, p, A]}{\partial A} - \frac{\partial G[A, 1 - p, h(\cdot)]}{\partial A} \quad (2.31)$$

A partir des équations (2.28) à (2.31), nous étudions la situation de croissance à taux constant pour ensuite montrer qu'en dynamique transitoire, il est impossible de séparer convergence et rattrapage.

2.2.2 Les différentes étapes de la résolution du modèle

La résolution du modèle passe par plusieurs étapes. Comme les variables du modèle croissent à un taux constant mais non nul, il faut procéder à un changement de variables pour passer à une situation de croissance à taux nul. C'est la première étape. L'étape suivante consiste à étudier, en régime permanent et en dynamique transitoire, le système formé avec les variables transformées, afin notamment de déterminer l'évolution de chaque variable dans le temps. Une étude complète de la résolution du modèle est présentée en annexe 2.B. Cette étude est faite en supposant une spécification de type Cobb Douglas pour les différentes fonctions.

11. Pour alléger les écritures, on écrit : $h(\cdot) = h(A, A_{max})$.

2.2.2.1 Taux de croissance d'état stationnaire

En égalisant les équations (2.28) et (2.30), nous obtenons la règle de Ramsey-Keynes: $\frac{DC}{C} = \frac{1}{\sigma} \left(\frac{\partial F}{\partial K} - \rho \right)$.

Ainsi, la productivité marginale du capital physique dans la production de bien final est constante à l'état stationnaire puisque le taux de croissance de la consommation est constant.

De plus, le taux de croissance du capital physique et la part des travailleurs, p , sont aussi constants. Il s'en suit que $\frac{C}{K}$ est une constante, c'est-à-dire que $\frac{DC}{C} = \frac{DK}{K}$.

Par ailleurs, comme $Y = DK + C$, $\frac{Y}{C} = \frac{C}{K} + \frac{DK}{K}$ est aussi constant et donc, $\frac{DC}{C} = \frac{DY}{Y}$.

La transformation de la fonction de production en taux de croissance garantit l'égalité: $\frac{DY}{Y} = \frac{DA}{A}$.

Enfin, en régime permanent, l'écart de technologie qui existe entre le pays et la frontière technologique est constant, ce qui implique que: $\frac{DA}{A} = \frac{DA_{max}}{A_{max}}$;

Finalement, on a :

$$g = \frac{DC}{C} = \frac{DK}{K} = \frac{DY}{Y} = \frac{DA}{A} = \frac{DA_{max}}{A_{max}} \quad (2.32)$$

La détermination des valeurs d'état stationnaire de chaque variable s'effectue donc en égalisant chaque taux de croissance au taux de croissance de la frontière technologique. Mais, ce régime permanent n'est pas caractérisé par une situation de croissance à taux nul. C'est pourquoi nous transformons la situation de croissance à taux constant en une situation de croissance à taux nul.

2.2.2.2 Changement de variables et système dynamique fonctionnel

Pour la variable de contrôle p , aucun changement n'est nécessaire puisque c'est une constante en situation de croissance à taux constant. Il ne s'agit donc de transformer que K , A et C .

Nous posons ainsi :

$$z = \frac{K}{A} \quad a = \frac{A_{max}}{A} \quad m = \frac{C}{K}$$

A l'état stationnaire, comme $\frac{DA}{A} = \frac{DK}{K} = \frac{DC}{C}$, on a bien $\frac{Dz}{z} = 0$ et $\frac{Dm}{m} = 0$. De même, comme $\frac{DA}{A} = \frac{DA_{max}}{A_{max}}$, on a $\frac{Da}{a} = 0$.

Le système formé par les équations (2.28) à (2.31) devient alors un nouveau système, le système fonctionnel tel que :

$$\begin{cases} Dz = P_1(z, a, m, p) \\ Da = P_2(z, a, m, p) \\ Dm = P_3(z, a, m, p) \\ Dp = P_4(z, a, m, p) \end{cases}$$

C'est l'étude de ce système fonctionnel qui permet de déterminer les valeurs d'état stationnaire et d'étudier la dynamique transitoire.

Les valeurs d'état stationnaire de z , a , m et p sont déterminées en résolvant $Dz = Dm = Da = Dp = 0$. On obtient : z^* , a^* , m^* et p^* .

Mais, c'est le comportement des variables en dehors de l'état stationnaire qui nous intéresse particulièrement.

2.2.2.3 Etude de la dynamique transitoire : l'impossible séparation entre convergence et rattrapage

Nous nous intéressons ici à l'évolution des variables transformées quand l'économie n'a pas les dotations initiales compatibles avec un régime permanent.

Comme la trajectoire conduisant à l'état stationnaire est exprimée en variables transformées, il faut, pour une situation initiale donnée hors de l'état stationnaire, déterminer la valeur des différentes variables transformées. Etant donné la situation initiale définie par $K(0)$, $A(0)$ et $A_{max}(0)$, les valeurs des variables transformées $z(0)$ et $a(0)$ sont connues. Il reste alors à préciser les valeurs des variables de contrôle transformées qui permettent d'être sur le sentier de rapprochement.

Hors de l'état stationnaire, le problème est le suivant :

$$\max \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} dt$$

sous :

$$\begin{cases} DK(t) = Y(t) - C(t) \\ DA(t) = G[A(t), L_A(t), h(A, A_{max})] \\ \mathbf{K(0), A(0), A_{max}(0) \text{ donnes}} \end{cases}$$

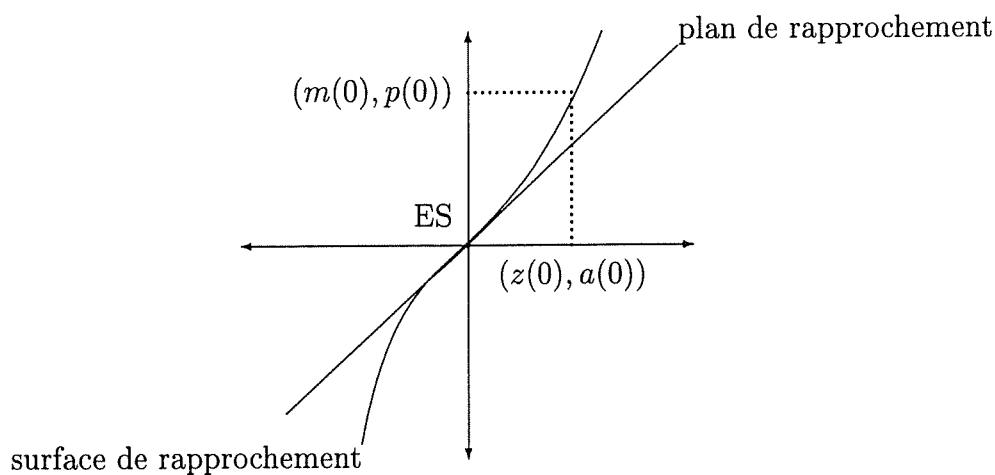
Ce problème est encore équivalent au système fonctionnel :

$$\begin{cases} Dz = P_1(z, a, m, p) \\ Da = P_2(z, a, m, p) \\ Dm = P_3(z, a, m, p) \\ Dp = P_4(z, a, m, p) \end{cases}$$

Pour des couples (z, a) différents de leur valeur d'état stationnaire (z^*, a^*) , les variables de contrôle p et m s'adaptent aux valeurs qui permettent à l'économie

de se situer sur son unique trajectoire de rapprochement. Quelle que soit la date t , il existe une relation liant z , a , m et p . En revanche, il n'existe, pour un couple (z, a) donné et pour la trajectoire stable, qu'une seule valeur de p et de m qui vérifie cette relation.

Pour un point proche de l'état stationnaire, l'agent connaît $(z(0), a(0))$ et choisit les valeurs de m et p qui lui permettent de se positionner sur le plan de rapprochement, plan sur lequel l'économie est assurée de revenir de manière optimale vers l'état stationnaire¹². Ce plan de rapprochement n'est valable qu'à proximité de l'état stationnaire. Pour un point quelconque éloigné de l'état stationnaire, ce n'est plus un plan mais une surface non plane. Il s'agit alors, connaissant un point $(z(0), a(0))$ quelconque (éloigné de l'état stationnaire), de trouver les valeurs de m et de p qui assurent d'être sur cette surface. Bien entendu, une fois sur la surface, l'économie tend vers le point d'état stationnaire.



Nous représentons la situation de l'économie dans un repère de dimension 2

12. En spécifiant explicitement les fonctions du modèle, nous montrons, en annexe 2.B, que l'économie est caractérisée par un plan de rapprochement.

(le plan devient alors une droite et la surface une courbe). Au voisinage du point d'état stationnaire, la droite et la courbe sont confondues. En revanche, pour un point éloigné, ce n'est plus le cas.

Pour résoudre le problème, nous utilisons la méthode d'élimination du temps qui permet de déterminer les trajectoires d'un système dynamique caractérisant un modèle de croissance pour lequel il existe plusieurs variables d'état et plusieurs variables de contrôle. Il faut déterminer les fonctions $p(z, a)$ et $m(z, a)$.

Connaissant $(z(0), a(0))$ et $p(z, a)$ et $m(z, a)$, nous pouvons déterminer les évolutions de $z(t)$ et $a(t)$ de la façon suivante :

$$z(t) = \int \frac{\partial}{\partial t} z [z(t), a(t), m(z(t), a(t)), p(z(t), a(t))] dt = \int \frac{\partial}{\partial t} z [z(t), a(t)] dt \quad (2.33)$$

$$a(t) = \int \frac{\partial}{\partial t} a [z(t), a(t), m(z(t), a(t)), p(z(t), a(t))] dt = \int \frac{\partial}{\partial t} a [z(t), a(t)] dt \quad (2.34)$$

Pour obtenir la chronique dans le temps des variables de contrôle p et m , il faut remplacer z par $z(t)$ et a par $a(t)$ dans les fonction de p et m :

$$m(t) = m(z(t), a(t))$$

$$p(t) = p(z(t), a(t))$$

Mais les équations (2.33) et (2.34) décrivant la chronique de z et a montrent que leurs évolutions sont liées. Dans un modèle avec accumulation endogène de deux facteurs, compte tenu de la méthode de résolution du modèle qui conduit à un système fonctionnel dans lequel toutes les variables sont interdépendantes, il est impossible d'obtenir l'évolution d'une variable indépendamment des autres variables. Les chroniques de z et a sont donc liées et il devient **impossible de dissocier convergence et rattrapage**.

Par ailleurs, un argument supplémentaire en faveur de l'abandon des modèles de croissance endogène repose sur l'absence de résultats formels. Même si convergence et rattrapage étaient dissociables, seules des solutions numériques simulées pourraient être déterminées. Aucune équation décrivant explicitement la part de la convergence et la part du rattrapage ne peut être obtenue. Or, notre modèle doit aussi aboutir à une équation estimable économétriquement. C'est pourquoi nous abandonnons l'hypothèse d'un modèle de croissance endogène.

Conclusion

L'étude menée dans ce chapitre avait pour objectif de chercher un cadre d'analyse modélisant l'accumulation de capital et les écarts de technologie pour, d'une part, séparer convergence et rattrapage et, d'autre part, obtenir une équation empiriquement testable. Il apparaît que le cadre endogène de la technologie ne convient pas à cette séparation.

En effet, bien que laissant apparaître la possibilité d'identifier l'influence de chaque facteur, le cadre du modèle de Jones n'est pas valide: l'équation du taux de croissance de la production par tête en dynamique transitoire repose sur l'hypothèse très simplificatrice selon laquelle la part du travail affecté à la recherche est exogène et surtout constante au cours du temps. La séparation entre convergence et rattrapage n'est possible que grâce à cette hypothèse.

L'abandon de cette hypothèse, dans un modèle canonique de croissance endogène, ne permet plus alors de séparer les deux phénomènes. Par ailleurs, le cadre endogène ne permet pas, de toute façon, d'obtenir une équation formelle, seules des simulations peuvent résoudre ces modèles.

Or, notre modèle théorique doit non seulement permettre de séparer convergence et rattrapage mais aussi déboucher sur une équation qui puisse être estimée économétriquement.

La seule façon d'obtenir cette séparation et cette équation repose donc sur la construction d'un modèle dans lequel le progrès technique est exogène. Nous retenons, maintenant, cette hypothèse pour modéliser les effets de l'accumulation de capital et des écarts de technologie.

Annexes du chapitre 2

2.A Dynamique transitoire avec transferts de technologie

D'après l'équation de la fonction de production exprimée en variables par tête, le taux de croissance de la production par tête, g_y , est donné par :

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = \alpha \frac{Dk(t)}{k(t)} + (1 - \alpha) \frac{DA(t)}{A(t)} + (1 - \alpha) \frac{D(p(t))}{p(t)}$$

Sous l'hypothèse que la part de la population dans la recherche (p) est constante, le taux de croissance de la production par tête devient :

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = \alpha(sq(t) - (n + d)) + (1 - \alpha)u(t)$$

ce qui est encore équivalent à :

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = (1 - \alpha)u(t) + \alpha sq(t) - \alpha(n + d)$$

De plus, à l'état stationnaire, le capital par tête efficace (défini par $\hat{k} = \frac{k}{A}$) et la production par tête efficace ($\hat{y} = \frac{y}{A}$) sont déterminés par :

$$\hat{k}^* = \left(\frac{s}{g + n + d} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} (1 - p) \quad \hat{y}^* = \left(\frac{s}{g + n + d} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} (1 - p)$$

En remarquant que le rapport $\left(\frac{\dot{y}^*}{k^*}\right)$ est aussi égal au rapport $\left(\frac{y^*}{k^*}\right)^*$, q^* est égal à :

$$q^* = \frac{g + n + d}{s}$$

En remplaçant $n + d$ par $sq^* - g$ dans l'équation de $\frac{Dy}{y}$, on obtient une nouvelle expression du taux de croissance de la production par tête :

$$\frac{Dy(t)}{y(t)} = (1 - \alpha)(u(t) - g) + \alpha s(q(t) - q^*) + g \quad (2.35)$$

On a posé $q = \frac{y}{k}$ et $u = \frac{DA}{A}$, variables qui sont constantes à l'état stationnaire. La dynamique transitoire repose sur l'étude du comportement de ces deux variables. Il s'agit d'étudier le système formé par $\frac{Dq}{q}$ et $\frac{Du}{u}$ en dehors de l'état stationnaire.

On sait que : $u(t) = \frac{DA(t)}{A(t)} = \delta L_A(t)^\lambda A(t)^{\phi-1} \left(\frac{A_{max}(t)}{A(t)}\right)^\epsilon$. On a donc : $\frac{Du(t)}{u(t)} = \lambda n + (\phi - 1 - \epsilon)x(t) + \epsilon g_{max}$. Or $\lambda n = (1 - \phi)g$ et $g = g_{max}$ donc :

$$\frac{Du(t)}{u(t)} = -(1 - \phi + \epsilon)(u(t) - g) \quad (2.36)$$

Comme $q = \frac{y}{k}$, le taux de croissance de q est donné par :

$$\frac{Dq(t)}{q(t)} = \frac{Dy(t)}{y(t)} - \frac{Dk(t)}{k(t)} = (1 - \alpha)u(t) + \alpha sq(t) - \alpha(n + d) - sq(t) + (n + d)$$

c'est-à-dire :

$$\frac{Dq(t)}{q(t)} = (1 - \alpha)u(t) - (1 - \alpha)sq(t) + (1 - \alpha)(n + d)$$

D'après l'état stationnaire, $sq^* = g + n + d$ donc $(1 - \alpha)(n + d) = (1 - \alpha)(sq^* - g)$.

On a alors :

$$\frac{Dq(t)}{q(t)} = (1 - \alpha)(u(t) - g) - (1 - \alpha)s(q(t) - q^*) \quad (2.37)$$

La dynamique transitoire est ainsi caractérisée par les équations 2.36 et 2.37 qui composent le système à étudier.

$$\begin{cases} \frac{Du(t)}{u(t)} = -(1 - \phi + \epsilon)(u(t) - g) \\ \frac{Dq(t)}{q(t)} = \alpha(u(t) - g) - \alpha s(q(t) - g) \end{cases}$$

Ce système est non linéaire. On va donc le linéariser en utilisant un développement de Taylor d'ordre 1 au voisinage du point d'état stationnaire.

- Linéarisation de $Du(t) = -(1 - \phi + \epsilon)u(t)^2 + (1 - \phi + \epsilon)u(t)g$

$$Du = (Du)^* + \left(\frac{\partial Du}{\partial u}\right)^* (u - g)$$

$$\left(\frac{\partial Du}{\partial u}\right)^* = -2(1 - \phi + \epsilon)g + (1 - \phi + \epsilon)u$$

$$Du(t) = 0 - (1 - \phi + \epsilon)g(u(t) - g)$$

Il s'agit d'une équation différentielle linéaire d'ordre 1 dont on présente la résolution.

- Equation homogène associée (EHA):

$$Du(t) + (1 - \phi + \epsilon)gu(t) = 0 \text{ ce qui conduit à:}$$

$$u(t) = Ce^{-(1-\phi+\epsilon)gt} = Ce^{-\mu t}$$

- Solution particulière de l'équation générale (SPEG):

On pose $u(t) = F$ où F est une constante. Ainsi, $Du = 0$. En remplaçant ces résultats dans l'équation de Du , on obtient:

$$(1 - \phi + \epsilon)gF = (1 - \phi + \epsilon)gg$$

ce qui implique que: $F = g$

- Solution générale de l'équation différentielle (SGEG):

$$u(t) = Ce^{-\mu t} + g$$

En $t=0$, $u(0) = C + g$ c'est-à-dire $C = u(0) - g$

Donc :

$$u(t) - g = (u(0) - g)e^{-\mu t} \quad (2.38)$$

• Linéarisation de $Dq(t) = (1 - \alpha)u(t)q(t) - (1 - \alpha)gq(t) - (1 - \alpha)sq(t)^2 + (1 - \alpha)q^*q(t)$

$$Dq = (Dq)^* + \left(\frac{\partial Dq}{\partial u}\right)^* (u - g) + \left(\frac{\partial Dq}{\partial q}\right)^* (q - q^*)$$

$$\left(\frac{\partial Dq}{\partial u}\right)^* = (1 - \alpha)q^*$$

$$\left(\frac{\partial Dq}{\partial q}\right)^* = -(1 - \alpha)sq^*$$

d'où : $Dq = 0 + (1 - \alpha)q^*(u - g) - (1 - \alpha)sq^*(q - q^*)$ ce qui est équivalent à :

$$Dq(t) + (1 - \alpha)sq^*q(t) = (1 - \alpha)q^*(u(0) - g)e^{-\mu t} + (1 - \alpha)sq^*q^*$$

Il s'agit d'une équation différentielle d'ordre 1 linéaire dont la résolution est la suivante.

◦ EHA : $Dq + (1 - \alpha)sq^*q = 0$

$$q(t) = Ce^{-(1-\alpha)(g+n+d)t} = Ce^{-\beta t}$$

◦ SPEG : étant donnée l'expression du second membre, il y a deux solutions particulières, la première prenant la forme d'une constante, la seconde d'une exponentielle.

- 1ère solution : $q(t) = F$ où F est une constante. Ainsi, $Dq = 0$ ce qui implique finalement :

$$F = q^*$$

- 2nde solution : $q(t) = Fe^{-\mu t}$. Dans ce cas, $Dq = -\mu Fe^{-\mu t}$ et la solution de

l'équation particulière est :

$$F = \frac{(1 - \alpha)q^*}{\beta - \mu}(u(0) - g)$$

o SGEG :

$$q(t) = Ce^{-\beta t} + q^* + \frac{(1 - \alpha)q^*}{\beta - \mu}(u(0) - g)e^{-\mu t}$$

En $t = 0$, $q(0) = C + q^* + \frac{(1-\alpha)q^*}{\beta-\mu}(u(0) - g)$ c'est-à-dire $C = q(0) - q^* - \frac{(1-\alpha)q^*}{\beta-\mu}(u(0) - g)$. En remplaçant C par sa valeur, on obtient l'expression de $z(t)$:

$$q(t) - q^* = (q(0) - q^*)e^{-\beta t} + \frac{(1 - \alpha)q^*}{\beta - \mu}(u(0) - g)(e^{-\mu t} - e^{-\beta t}) \quad (2.39)$$

En remplaçant les équations (2.38) et (2.39) par leurs expressions respectives dans l'équation 2.35, on obtient le taux de croissance de la production par tête de dynamique transitoire :

$$g_y(t) = (1 - \alpha)(u(0) - g)e^{-\mu t} + \alpha s(q(0) - q^*)e^{-\beta t} + \alpha \frac{\beta}{\beta - \mu}(u(0) - g)(e^{-\mu t} - e^{-\beta t}) + g$$

2.B Exemple avec une spécification Cobb Douglas

Les différentes fonctions de production et le problème de l'agent représentatif

Le secteur du bien final

La spécification Cobb Douglas de la fonction de production du bien final permet d'écrire $F[K, L_Y, A]$ sous la forme :

$$Y(t) = K(t)^\alpha [L_Y(t)A(t)]^{1-\alpha} \quad (2.40)$$

On appelle $p(t) = \frac{L_Y(t)}{L(t)}$ la part du travail affecté à ce secteur ; on a donc :

$$L_Y(t) = p(t)L(t)$$

Pour simplifier notre étude, on suppose que $L(t)$ est égal à 1. La fonction de production s'écrit finalement¹³ :

$$Y = K^\alpha [pA]^{1-\alpha} \quad (2.41)$$

Le secteur d'accumulation de la technologie

Comme Romer et Jones, on retient aussi une spécification de type Cobb Douglas pour la fonction d'accumulation de la technologie. $DA(t)$ s'écrit ainsi :

$$DA = h(A, A_{max})L_A A \quad (2.42)$$

où $h(\cdot)$ correspond à un paramètre d'efficacité technique qui dépend d'une part de l'écart qui existe entre le niveau de technologie du pays et le niveau technologique

13. Pour alléger les écritures, on élimine la variable temps lorsqu'aucune confusion n'est possible.

maximal, $\left(\frac{A_{max}}{A}\right)^\epsilon$ (avec $0 < \epsilon < 1$) et d'autre part de la capacité propre du pays à profiter de cet écart, δ :

$$h(.) = \delta \left(\frac{A_{max}}{A}\right)^\epsilon$$

Finalement, la fonction d'accumulation devient:

$$DA = \delta \cdot \left(\frac{A_{max}}{A}\right)^\epsilon \cdot (1-p) \cdot A$$

encore équivalent à:

$$DA = \delta(1-p)A^{1-\epsilon}A_{max}^\epsilon \quad (2.43)$$

Le problème d'optimisation de l'agent représentatif

Compte tenu des différentes fonctions d'accumulation, le problème de l'agent devient:

$$MAX \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} dt \quad (2.44)$$

sous les contraintes:

$$DK = K^\alpha [pA]^{1-\alpha} - C \quad (2.45)$$

$$DA = \delta(1-p)A^{1-\epsilon}A_{max}^\epsilon \quad (2.46)$$

$$1 = L_Y + L_A \quad (2.47)$$

et étant donné les conditions à l'origine: $K(0)$, $A(0)$, $A_{max}(0)$

Le hamiltonien associé au problème s'écrit:

$$H = e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \lambda_K [K^\alpha (pA)^{1-\alpha} - C] + \lambda_A [\delta(1-p)A^{1-\epsilon}A_{max}^\epsilon]$$

Les conditions d'optimalité conduisent à:

$$\frac{DC}{C} = \frac{1}{\sigma} \left(-\frac{D\lambda_K}{\lambda_K} - \rho \right) \quad (2.48)$$

$$\frac{\lambda_K}{\lambda_A} = \frac{\delta \left(\frac{A_{max}}{A} \right)^\varepsilon}{(1-\alpha)K^{-\alpha}p^{-\alpha}A^{-\alpha}} \quad (2.49)$$

$$\frac{D\lambda_K}{\lambda_K} = -\alpha K^{\alpha-1}(pA)^{1-\alpha} \quad (2.50)$$

$$\frac{D\lambda_A}{\lambda_A} = -\delta p \left(\frac{A_{max}}{A} \right)^\varepsilon - \delta(1-p)(1-\varepsilon) \left(\frac{A_{max}}{A} \right)^\varepsilon \quad (2.51)$$

Recherche d'une solution de régime de croissance permanent et stabilité du modèle

Comme les variables du modèle croissent à taux constant mais non nul, on transforme ces variables. Puis, on étudie le nouveau système pour déterminer la solution d'état stationnaire. On montre que le modèle est stable au sens du point selle.

Transformation des variables et nouveau système dynamique

Pour étudier la situation d'état stationnaire, il s'agit d'analyser le système d'équations formé par le taux de croissance du capital physique, le taux de croissance de la technologie et les taux de croissance de leur prix implicite. On obtient ainsi le système suivant :

$$\begin{cases} \frac{DC}{C} = \frac{1}{\sigma} \left(-\frac{D\lambda_K}{\lambda_K} - \rho \right) \\ \frac{DK}{K} = K^{\alpha-1}(pA)^{1-\alpha} - \frac{C}{K} \\ \frac{DA}{A} = \delta(1-p) \left(\frac{A_{max}}{A} \right)^\varepsilon \\ \frac{D\lambda_K}{\lambda_K} = -\alpha K^{\alpha-1}(pA)^{1-\alpha} \\ \frac{D\lambda_A}{\lambda_A} = -\delta p \left(\frac{A_{max}}{A} \right)^\varepsilon - \delta(1-p)(1-\varepsilon) \left(\frac{A_{max}}{A} \right)^\varepsilon \end{cases}$$

On effectue un changement de variables pour exprimer ce système en fonction de variables constantes à l'état stationnaire. On pose :

$$z = K^{\alpha-1}A^{1-\alpha} \quad a = \frac{A_{max}}{A} \quad m = \frac{C}{K}$$

On modifie à présent les taux de croissance du capital, de la technologie et des prix implicites pour obtenir les taux de croissance des variables transformées, taux qui sont nuls à l'état stationnaire.

Les taux de croissance des variables transformées sont donnés par¹⁴:

$$\begin{cases} \frac{Dz}{z} = (\alpha - 1) \frac{DK}{K} + (1 - \alpha) \frac{DA}{A} \\ \frac{Dm}{m} = \frac{DC}{C} - \frac{DK}{K} \\ \frac{Da}{a} = \frac{DA_{max}}{A_{max}} - \frac{DA}{A} \\ \frac{Dp}{p} = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{D\lambda_K}{\lambda_K} - \frac{D\lambda_A}{\lambda_A} - \varepsilon \frac{DA_{max}}{A_{max}} + \varepsilon \frac{DA}{A} + \alpha \frac{DK}{K} - \alpha \frac{DA}{A} \right] \end{cases}$$

En remplaçant $\frac{DK}{K}$, $\frac{DC}{C}$, $\frac{DA}{A}$ par leur expression respective, on obtient l'expression du système en fonction de ces variables transformées:

$$Dz = [(\alpha - 1)(p^{1-\alpha}z - m) + (1 - \alpha)\delta(1 - p)a^\varepsilon] z \quad (2.52)$$

$$Dm = \left[\frac{1}{\sigma} (\alpha p^{1-\alpha}z - \rho) - (p^{1-\alpha}z - m) \right] m \quad (2.53)$$

$$Da = [\gamma - \delta(1 - p)a^\varepsilon] a \quad (2.54)$$

$$Dp = \frac{p}{\alpha} [\delta p a^\varepsilon - \varepsilon \gamma + a^\varepsilon(1 - p)(\delta - \delta\alpha) - \alpha m] \quad (2.55)$$

Partant de ce système, on détermine les valeurs d'état stationnaire des variables transformées.

Valeurs d'état stationnaire des variables transformées

Le régime permanent de croissance des variables du modèle correspond à une croissance à taux nul pour les variables transformées:

$$Dz = Dm = Da = Dp = 0$$

14. L'expression de $\frac{Dp}{p}$ est déterminée à partir de l'équation (2.49) des conditions d'optimalité.

On obtient alors :

$$\frac{p^*}{1-p^*} = \frac{\sigma\gamma + \rho - (1-\varepsilon)\gamma}{\gamma} \quad (2.56)$$

$$a^* = \left(\frac{\gamma}{\delta(1-p^*)} \right)^{\frac{1}{\varepsilon}} \quad (2.57)$$

$$z^* = \frac{\sigma\delta(1-p^*)a^{*\varepsilon} + \rho}{\alpha p^{*(1-\alpha)}} \quad (2.58)$$

$$m^* = p^{*(1-\alpha)}z^* - \delta(1-p^*)a^{*\varepsilon} \quad (2.59)$$

Stabilité du modèle

Pour qu'il y ait rapprochement, il faut que le modèle soit stable. La procédure se décompose en trois étapes : on linéarise le système, on l'exprime sous forme matricielle pour s'intéresser à la matrice jacobienne et on diagonalise cette matrice afin de définir des valeurs propres qui permettent de se prononcer de façon simple sur la stabilité du système.

Linéarisation du système dynamique. Pour linéariser le système dynamique, il faut connaître un point qui sert de condition initiale vérifiant ce système. Le seul que l'on connaisse est le point d'état stationnaire (z^*, m^*, a^*, p^*) . La linéarisation se fait donc au voisinage de ce point. Pour simplifier, on écrit le système dynamique (2.52) à (2.55) comme suit :

$$Dz = P_1(z, m, p, a) \quad (2.60)$$

$$Dm = P_2(z, m, p, a) \quad (2.61)$$

$$Dp = P_3(z, m, p, a) \quad (2.62)$$

$$Da = P_4(z, m, p, a) \quad (2.63)$$

En utilisant un développement limité de Taylor au voisinage du point (z^*, m^*, p^*, a^*) , ces équations deviennent :

$$Dz = P_1^* + \frac{\partial P_1^*}{\partial z}(z - z^*) + \frac{\partial P_1^*}{\partial m}(m - m^*) + \frac{\partial P_1^*}{\partial p}(p - p^*) + \frac{\partial P_1^*}{\partial a}(a - a^*) + \varepsilon_1$$

$$Dm = P_2^* + \frac{\partial P_2^*}{\partial z}(z - z^*) + \frac{\partial P_2^*}{\partial m}(m - m^*) + \frac{\partial P_2^*}{\partial p}(p - p^*) + \frac{\partial P_2^*}{\partial a}(a - a^*) + \varepsilon_2$$

$$Dp = P_3^* + \frac{\partial P_3^*}{\partial z}(z - z^*) + \frac{\partial P_3^*}{\partial m}(m - m^*) + \frac{\partial P_3^*}{\partial p}(p - p^*) + \frac{\partial P_3^*}{\partial a}(a - a^*) + \varepsilon_3$$

$$Da = P_4^* + \frac{\partial P_4^*}{\partial z}(z - z^*) + \frac{\partial P_4^*}{\partial m}(m - m^*) + \frac{\partial P_4^*}{\partial p}(p - p^*) + \frac{\partial P_4^*}{\partial a}(a - a^*) + \varepsilon_4$$

où $P_i^* = P_i(z^*, m^*, p^*, a^*)$ est nul par définition à l'état stationnaire. Les ε_i sont les résidus de Taylor et peuvent être négligés au voisinage de l'état stationnaire.

Le système dynamique linéarisé peut s'écrire sous forme matricielle :

$$DX = J_d^*(X - X^*) = J_d^*X - J_d^*X^*$$

où :

- DX est une matrice colonne (4x1) d'éléments (Dz, Dm, Dp, Da) ,
- X est une matrice colonne (4x1) d'éléments (z, m, p, a) ,
- X^* est une matrice colonne (4x1) d'éléments (z^*, m^*, p^*, a^*) ,
- J_d^* est la matrice jacobienne du système dynamique de dimension (4x4)

définie par :

$$J_d^* = \begin{pmatrix} \frac{\partial P_1^*}{\partial z} & \frac{\partial P_1^*}{\partial m} & \frac{\partial P_1^*}{\partial p} & \frac{\partial P_1^*}{\partial a} \\ \frac{\partial P_2^*}{\partial z} & \frac{\partial P_2^*}{\partial m} & \frac{\partial P_2^*}{\partial p} & \frac{\partial P_2^*}{\partial a} \\ \frac{\partial P_3^*}{\partial z} & \frac{\partial P_3^*}{\partial m} & \frac{\partial P_3^*}{\partial p} & \frac{\partial P_3^*}{\partial a} \\ \frac{\partial P_4^*}{\partial z} & \frac{\partial P_4^*}{\partial m} & \frac{\partial P_4^*}{\partial p} & \frac{\partial P_4^*}{\partial a} \end{pmatrix}$$

Résolution du système linéarisé DX . Le système DX est linéaire mais il est constitué d'équations comprenant toutes les variables (z, m, p, a) , ce qui le rend difficile à résoudre. Il faut le transformer en système d'équations indépendantes qui se résolvent séparément. Pour obtenir ce nouveau système, il faut commencer par diagonaliser la matrice jacobienne J_d^* .

Pour déterminer cette matrice diagonale, on cherche les valeurs d'un scalaire λ et la matrice V des vecteurs colonnes non nuls correspondants tels que: $(J_d^* - \lambda I)V = 0$ où I est la matrice identité de dimension 4. Comme on veut que la matrice V soit non nulle, la seule solution envisageable est telle que: $\det(J_d^* - \lambda I) = 0$. Le calcul de ce déterminant définit un polynôme de degré 4 en λ appelé polynôme caractéristique. Les solutions sont appelées valeurs propres. Elles sont au nombre de quatre: $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4)$.

Sous forme matricielle, on peut écrire: $V^{-1}J_d^*V = \Lambda$ où V est la matrice (4x4) constituée des vecteurs propres (V_1, V_2, V_3, V_4) et Λ la matrice (4x4) diagonale dont les valeurs propres $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4)$ sont les éléments de la diagonale. Si toutes les valeurs propres sont différentes, la matrice jacobienne est diagonalisable en Λ . La matrice diagonalisée Λ et la matrice d'origine J_d^* ont les mêmes invariants: même déterminant, même trace. Les résultats obtenus à partir de la matrice diagonalisée peuvent être élargis pour la matrice d'origine en utilisant un changement de variables.

Pour déterminer les solutions du système linéarisé $DX = J_d^*X - J_d^*X^*$, on effectue un changement de variables. On pose $\tilde{X} = V^{-1}X$, on a donc une matrice colonne d'éléments $(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \tilde{X}_3, \tilde{X}_4)$. Le système dynamique devient: $D\tilde{X} = V^{-1}DX$.

En effectuant quelques calculs, on obtient :

$$D\tilde{X} = V^{-1}[J_d^*X - J_d^*X^*] = V^{-1}J_d^*VV^{-1}X^* \Leftrightarrow D\tilde{X} = \Lambda\tilde{X} - \Lambda\tilde{X}^*$$

Ce système est composé d'équations différentielles linéaires indépendantes, dont chacune s'écrit : $D\tilde{X}_i = \lambda_i\tilde{X}_i - \lambda_i\tilde{X}_i^*$ avec i indiquant chaque élément de \tilde{X} .

Pour résoudre chacune de ces équations, on multiplie chaque membre par $e^{-\lambda_i t}$ puis on résout l'intégrale suivante : $\int e^{-\lambda_i t}[D\tilde{X}_i - \lambda_i\tilde{X}_i]dt = \int e^{-\lambda_i t}(-\lambda_i)\tilde{X}_i^* dt$.

La solution de cette équation est : $e^{-\lambda_i t}\tilde{X}_i + cste = e^{-\lambda_i t}\tilde{X}_i^* + cste$, on obtient :

$\tilde{X}_i = b_i e^{\lambda_i t} + \tilde{X}_i^*$, où b_i est une constante. Sous forme matricielle, la solution s'écrit : $\tilde{X} = Eb + \tilde{X}^*$ où E est la matrice diagonale d'éléments $(e^{\lambda_1 t}, e^{\lambda_2 t}, e^{\lambda_3 t}, e^{\lambda_4 t})$ et b une matrice colonne d'éléments (b_1, b_2, b_3, b_4) à déterminer.

On peut, à présent, revenir aux variables d'origine : $X = V\tilde{X}$ soit :

$X = VEb + V\tilde{X}^*$ équivalent à : $X = Eb + X^*$. On a donc sous forme développée :

$$z(t) = V_{11}e^{\lambda_1 t}b_1 + V_{21}e^{\lambda_2 t}b_2 + V_{31}e^{\lambda_3 t}b_3 + V_{41}e^{\lambda_4 t}b_4 + z^* \quad (2.64)$$

$$m(t) = V_{12}e^{\lambda_1 t}b_1 + V_{22}e^{\lambda_2 t}b_2 + V_{32}e^{\lambda_3 t}b_3 + V_{42}e^{\lambda_4 t}b_4 + m^* \quad (2.65)$$

$$p(t) = V_{13}e^{\lambda_1 t}b_1 + V_{23}e^{\lambda_2 t}b_2 + V_{33}e^{\lambda_3 t}b_3 + V_{43}e^{\lambda_4 t}b_4 + p^* \quad (2.66)$$

$$a(t) = V_{14}e^{\lambda_1 t}b_1 + V_{24}e^{\lambda_2 t}b_2 + V_{34}e^{\lambda_3 t}b_3 + V_{44}e^{\lambda_4 t}b_4 + a^* \quad (2.67)$$

Pour déterminer les valeurs des b_i , on tient compte des valeurs initiales de z et de a et du fait qu'à long terme on cherche à atteindre l'état stationnaire, ce que l'on peut résumer par : $\lim(z - z^*) = 0$ quand t tend vers l'infini. On a :

- en $t = 0$ $z = z(0)$

– quand t tend vers l’infini, il faut que :

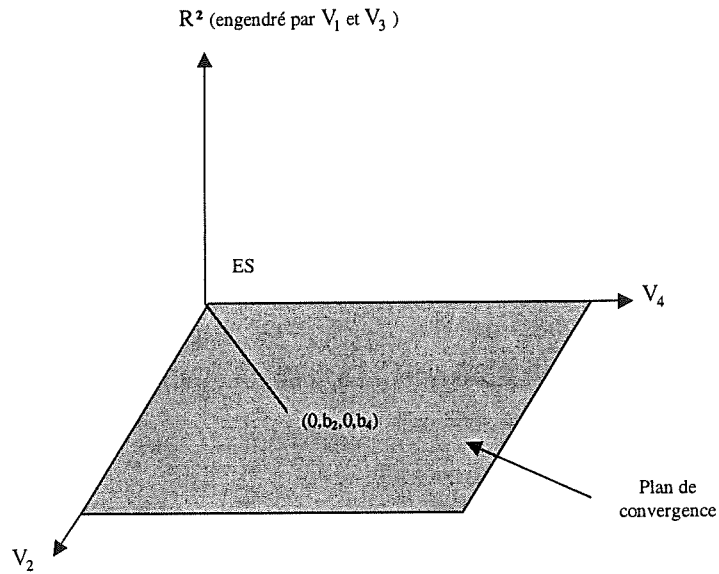
$$\begin{cases} \lim(z - z^*) = 0 \Leftrightarrow \lim(V_{11}e^{\lambda_1 t}b_1 + V_{21}e^{\lambda_2 t}b_2 + V_{31}e^{\lambda_3 t}b_3 + V_{41}e^{\lambda_4 t}b_4 + z^*) = 0 \\ \lim(a - a^*) = 0 \Leftrightarrow \lim(V_{14}e^{\lambda_1 t}b_1 + V_{24}e^{\lambda_2 t}b_2 + V_{34}e^{\lambda_3 t}b_3 + V_{44}e^{\lambda_4 t}b_4 + a^*) = 0 \end{cases} \quad (2.68)$$

Cette limite est vérifiée dans deux cas : quand les valeurs propres sont négatives ou quand les b_i sont nuls.

On peut obtenir le signe des valeurs propres à partir du déterminant (produit des valeurs propres) et de la trace (somme des valeurs propres), mais la résolution du système s’avère longue et peu lisible. Seule une résolution numérique est réalisable. Quelle que soit la valeur des paramètres, il existe quatre valeurs propres dont deux sont négatives. Nous appelons ces valeurs négatives λ_2 et λ_4 .

Lorsqu’il existe deux valeurs propres négatives, la solution stable est un plan passant par l’état stationnaire. Ce plan est généré par les vecteurs propres associés aux valeurs propres négatives.

FIG. 2.2 – Plan de rapprochement



Quel que soit un point de ce plan, il existe une trajectoire sur ce plan qui, partant de ce point, mène à l'état stationnaire.

La seule solution pour que le système (2.68) soit vérifié est que b_1 et b_3 soient nuls. On peut alors calculer b_2 et b_4 à partir de $z(0)$ et $a(0)$:

$$z(0) = V_{21}b_2 + V_{41}b_4 + z^* \quad (2.69)$$

$$a(0) = V_{24}b_2 + V_{44}b_4 + a^* \quad (2.70)$$

ce qui est équivalent à :

$$b_2 = \Omega(z(0) - z^*) - \Theta(a(0) - a^*) \quad (2.71)$$

$$b_4 = \Phi(a(0) - a^*) - \Psi(z(0) - z^*) \quad (2.72)$$

avec $\Omega = \left(1 - \frac{V_{41}V_{24}}{V_{44}V_{21} - V_{24}V_{41}}\right) \frac{1}{V_{21}}$

$$\Theta = \frac{V_{41}}{V_{44}V_{21} - V_{24}V_{41}}$$

$$\Phi = \frac{V_{21}}{V_{44}V_{21} - V_{24}V_{41}}$$

$$\Psi = \frac{V_{24}}{V_{44}V_{21} - V_{24}V_{41}}$$

Le système (2.64) à (2.67) s'écrit alors :

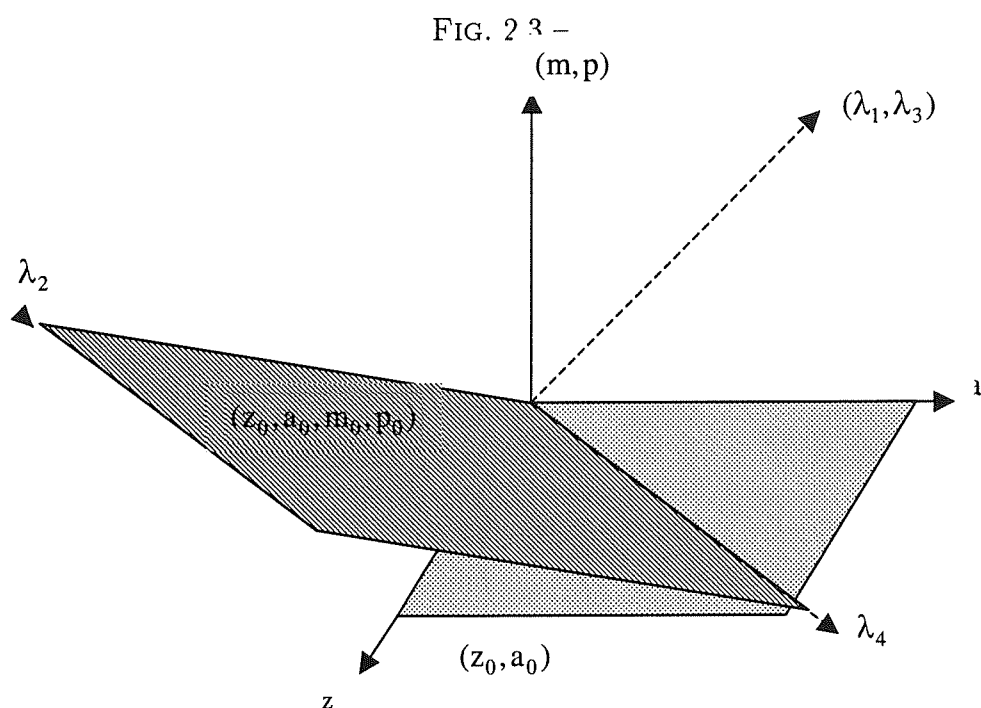
$$\begin{aligned} z(t) = & V_{21} [\Omega(z(0) - z^*) - \Theta(a(0) - a^*)] e^{\lambda_2 t} + \\ & + V_{41} [\Psi(a(0) - a^*) - \Phi(z(0) - z^*)] e^{\lambda_4 t} + z^* \end{aligned} \quad (2.73)$$

$$\begin{aligned} m(t) = & V_{22} [\Omega(z(0) - z^*) - \Theta(a(0) - a^*)] e^{\lambda_2 t} + \\ & + V_{42} [\Psi(a(0) - a^*) - \Phi(z(0) - z^*)] e^{\lambda_4 t} + m^* \end{aligned} \quad (2.74)$$

$$\begin{aligned} p(t) = & V_{23} [\Omega(z(0) - z^*) - \Theta(a(0) - a^*)] e^{\lambda_2 t} + \\ & + V_{43} [\Psi(a(0) - a^*) - \Phi(z(0) - z^*)] e^{\lambda_4 t} + p^* \end{aligned} \quad (2.75)$$

$$\begin{aligned} a(t) = & V_{24} [\Omega(z(0) - z^*) - \Theta(a(0) - a^*)] e^{\lambda_2 t} + \\ & + V_{44} [\Psi(a(0) - a^*) - \Phi(z(0) - z^*)] e^{\lambda_4 t} + a^* \end{aligned} \quad (2.76)$$

Il suffit donc de connaître $z(0)$ et $a(0)$ pour déterminer les valeurs de p et m qui assurent d'être à l'origine sur une trajectoire donnée du plan de rapprochement vers l'état stationnaire.



Partant d'une situation initiale $(z(0), a(0))$ donnée (appartenant au plan), il n'existe qu'une seule et unique trajectoire car, pour cette dotation initiale, il n'existe qu'une seule combinaison (z, m, p, a) . Le système est donc stable au sens du point selle.

Etude de la dynamique transitoire

Après avoir étudié les caractéristiques de l'économie en situation de croissance à taux constant, on s'intéresse maintenant à l'évolution des variables transformées quand l'économie n'a pas les dotations initiales compatibles avec un régime permanent. Comme la trajectoire conduisant à l'état stationnaire est exprimée en variables transformées, il faut, pour une situation initiale donnée hors de l'état stationnaire, déterminer la valeur des différentes variables transformées. Etant

donné la situation initiale définie par $K(0)$, $A(0)$ et $A_{max}(0)$, les valeurs des variables transformées $z(0)$ et $a(0)$ sont connues. Il reste alors à préciser les valeurs des variables de contrôle transformées qui permettent d'être sur le sentier de rapprochement.

Hors de l'état stationnaire, le problème est le suivant :

$$\max \int_0^{+\infty} e^{-\rho t} \frac{C^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} dt$$

sous :

$$\begin{cases} DK(t) = K(t)^\alpha (p(t)A(t))^{1-\alpha} \\ DA(t) = \delta(1-p(t))A(t)^{1-\epsilon} A_{max}(t)^\epsilon \\ \mathbf{K(0), A(0), A_{max}(0) \text{ donnees}} \end{cases}$$

Le problème est le suivant : pour des couples (z, a) différents de leur valeur d'état stationnaire (z^*, a^*) , les variables de contrôle p et m s'adaptent aux valeurs qui permettent à l'économie de se situer sur son unique trajectoire de rapprochement (trajectoire qui appartient au plan de rapprochement). Quelle que soit la date t , il existe une relation liant z , a , m et p . En revanche, il n'existe, pour un couple (z, a) donné et pour la trajectoire stable, qu'une seule valeur de p et de m qui vérifie cette relation.

Pour un point proche de l'état stationnaire, l'agent connaît $(z(0), a(0))$ et choisit les valeurs de m et p qui lui permettent de se positionner sur le plan de rapprochement, plan sur lequel on est assuré de revenir de manière optimale vers l'état stationnaire. Ce plan de rapprochement n'est valable qu'à proximité de l'état stationnaire. Pour un point quelconque éloigné de l'état stationnaire, on n'a plus un plan mais une surface non plane (on rappelle que c'est la linéarisation au voisinage du point d'état stationnaire qui a permis de déterminer le plan). Il s'agit

alors, connaissant un point $(z(0), a(0))$ quelconque (éloigné de l'état stationnaire), de trouver les valeurs de m et de p qui assurent d'être sur cette surface. Bien entendu, une fois sur la surface, on tend vers le point d'état stationnaire.

Au voisinage du point d'état stationnaire, la droite et la courbe sont confondues. En revanche, pour un point éloigné, ce n'est plus le cas. C'est la raison pour laquelle le système décrit par les équations (2.71) à (2.74) ne peut pas être utilisé. Il découle de la linéarisation au voisinage de l'état stationnaire et n'est pas valable pour un $(z(0), a(0))$ quelconque.

Pour résoudre le problème, il faut déterminer les fonctions $p(z, a)$ et $m(z, a)$. Il s'agit en fait d'éliminer la dimension temps dans les expressions de p et m .

Connaissant $(z(0), a(0))$ et $p(z, a)$ et $m(z, a)$, on peut déterminer les évolutions de $z(t)$ et $a(t)$ puis ensuite celles de $p(t)$ et $m(t)$ de la façon suivante :

$$z(t) = \int \frac{\partial}{\partial t} z [z(t), a(t), m(z(t), a(t)), p(z(t), a(t))] dt = \int \frac{\partial}{\partial t} z [z(t), a(t)] dt$$

$$a(t) = \int \frac{\partial}{\partial t} a [z(t), a(t), m(z(t), a(t)), p(z(t), a(t))] dt = \int \frac{\partial}{\partial t} a [z(t), a(t)] dt$$

Pour obtenir la chronique dans le temps des variables de contrôle, il faut remplacer z par $z(t)$ et a par $a(t)$ dans les fonctions de p et m :

$$m(t) = m(z(t), a(t))$$

$$p(t) = p(z(t), a(t))$$

On voit ainsi qu'il est impossible de séparer les chroniques de $z(t)$ et de $a(t)$. L'évolution des deux variables est liée, et il est impossible de distinguer convergence et rattrapage.

Chapitre 3

Un modèle théorique de rapprochement des PIB par tête

Introduction

Au chapitre 2, nous avons montré que la modélisation des écarts de technologie et de l'accumulation de capital dans un modèle de croissance endogène ne permet pas de dissocier convergence et rattrapage. Retenir un cadre de croissance exogène est motivé par notre préoccupation centrale : étudier la dynamique transitoire de façon à caractériser la convergence et le rattrapage et faire apparaître l'importance de chaque mécanisme dans le taux de croissance de la production par tête.

Le modèle néoclassique traditionnel repose sur l'hypothèse selon laquelle la technologie est un bien public disponible pour tous. L'introduction des écarts de technologie dans ce modèle vient modifier cette hypothèse. Le progrès technique n'est plus disponible librement pour tous les pays. Les pays pauvres souffrent de cette absence de parfaite disponibilité : les différences de niveaux de technologie et les transferts qui s'en suivent ont un impact sur l'évolution des revenus par tête des pays. Ces différences peuvent être transitoires ou permanentes.

L'objectif de ce chapitre est de construire un modèle permettant d'expliquer le rapprochement des PIB par tête par la convergence et le rattrapage et d'obtenir une équation mettant en évidence l'influence de chacun de ces phénomènes.

Dans la section première, nous présentons les hypothèses du modèle. Nous

expliquons, en particulier, la formalisation du processus d'accumulation de la technologie.

La deuxième section est consacrée à l'étude du régime permanent de l'économie. Nous montrons que, selon les valeurs des paramètres des économies, les écarts de technologie peuvent ou non persister.

Enfin, dans une dernière section, nous développons la dynamique transitoire afin de caractériser les mécanismes de rattrapage et de convergence.

3.1 Présentation du cadre d'analyse

Nous commençons, tout d'abord, par argumenter et présenter la formalisation de la croissance de la technologie retenue dans notre modèle. Les autres hypothèses du modèle sont ensuite développées.

3.1.1 Croissance de la technologie : arguments et hypothèses

Nous construisons, dans ce chapitre, un modèle de croissance exogène avec accumulation de capital et écarts de technologie. Cette modélisation est intéressante pour deux raisons. D'une part, elle sépare convergence et rattrapage dans l'explication de l'évolution du taux de croissance du PIB par tête. D'autre part, elle permet de mettre en évidence la possibilité d'un changement de leadership en termes de productivité du travail.

Comme nous allons le voir dans le premier paragraphe, la possibilité de dépassement d'un pays par un autre n'est jamais prise en compte dans la littérature où le processus de transfert s'effectue toujours dans un cadre leader/suiveur. Nous abandonnons donc un tel cadre tout en gardant un processus de croissance différent selon les pays. Nous expliquons, en effet, dans le deuxième paragraphe, que

les pays ne bénéficient pas de la même façon du progrès technique et qu'il est nécessaire de tenir compte des différences de développement. Le dernier paragraphe est consacré à l'étude des facteurs qui influencent ce développement.

3.1.1.1 Abandon du cadre leader/suiveur

Si la connaissance est modélisée par le progrès technique exogène, elle devient un bien non rival, non excluable et gratuit. La technologie est un bien public (plus exactement libre), utilisable par tous et à tout moment. Dans les modèles étudiant le rattrapage technologique, le caractère public du progrès technique disparaît et le processus de croissance de la technologie diffère selon le pays étudié. Ces modèles formalisent le rattrapage dans le cadre de deux pays, un pays technologiquement leader et un pays suiveur.

Le pays leader est celui qui repousse la frontière technologique et qui, par définition, ne peut bénéficier de diffusion de technologie. Le taux de croissance de la technologie qu'il utilise est exogène et égal à x_L , taux de croissance de la technologie qu'il crée. Dans le pays suiveur, la croissance de la technologie utilisée résulte, selon Verspagen (1991) ou encore Escot (1998), de deux composantes : d'une part, de la croissance de la technologie qu'il crée lui-même et, d'autre part, des transferts de technologie dont il peut bénéficier. Par définition, comme le pays leader est le seul à pouvoir repousser la frontière technologique, le pays suiveur est donc le seul à bénéficier des transferts qui augmentent le taux de croissance de la technologie qu'il crée. Ainsi, grâce à la diffusion internationale, le taux de croissance de la technologie qu'utilise le pays suiveur s'écrit :

$$\frac{DA_S}{A_S} = x_S + T \left[\frac{A_S}{A_L} \right]$$

x_S représente le taux de croissance de la technologie créée dans le pays sui-

veur. $T \left[\frac{A_S}{A_L} \right]$ mesure la diffusion internationale de la technologie et est fonction de l'écart entre le niveau de technologie du pays suiveur (A_S) et celui du pays leader (A_L). Plus l'écart de technologie entre le pays suiveur et le pays leader est important, plus le rattrapage est fort. Cette hypothèse est largement étudiée par Findlay (1978), Abramovitz (1986) et Temple (1998).

D'autres auteurs (Nelson et Phelps (1966), Bernard et Jones (1996a)) formalisent le rattrapage de façon légèrement différente en considérant un niveau théorique maximal pour la technologie. Cette approche est toutefois très proche de l'approche leader/suiveur puisque le niveau théorique maximal croît à un taux exogène et constant. Dans ce cas, la croissance de la technologie dans un pays i peut être formulée par :

$$\frac{DA_i}{A_i} = c \cdot \left(\frac{T - A_i}{A_i} \right) \quad (3.1)$$

où c est une constante, T le niveau théorique maximal et A_i le niveau de technologie du pays i .

Quelle que soit la formalisation retenue, à l'état stationnaire, tous les pays croissent au même taux, taux qui est donné par le taux de croissance soit du leader soit du niveau théorique maximal. L'écart de technologie à l'état stationnaire est constant mais une différence persiste entre les niveaux de technologie : le pays suiveur n'atteint pas le niveau de technologie du leader. On assiste donc à un rattrapage en taux mais pas en niveau.

Ce type de modélisation nous amène à faire deux critiques :

- la première porte sur la pertinence théorique de la distinction entre leader et suiveur. Friedman (1992) rappelle qu'un pays leader à la date t ne l'est

pas forcément à la date $t + 1$ ou à la date $t - 1$. On retrouve ce constat chez Abramovitz (1986) ou encore Maddison (1987) qui soulignent que la position de leader ou de suiveur n'est pas une position éternelle. Il existe, en fait, une possibilité de dépassement dont ces modélisations théoriques ne tiennent pas compte, par exemple le dépassement des Pays-Bas par la Grande-Bretagne au 18^{ème} siècle, de la Grande Bretagne par les USA à la fin du 19^{ème} (tableau 3.1).

	1820	1890	1913	1950	1994
USA	100	100	100	100	100
France	94	69	65	54	79
All	86	75	72	44	84
Pays-Bas	121	92	74	61	76
Jap	55	28	25	19	86
UK	136	120	95	71	72

TAB. 3.1 – Niveau de productivité de 5 pays de 1820 à 1994 (Maddison (1995))

Ce type de modélisation leader/suiveur, qui empêche conceptuellement toute possibilité de dépassement et donc de changement de leader à la date suivante, est une limite sérieuse du traitement de la question des transferts de technologie dans les modèles de croissance de long terme.

- la seconde critique porte sur la distinction effectuée entre la technologie créée par le leader et celle créée par le suiveur. Dans les modèles présentés ci-dessus, les auteurs font l'hypothèse selon laquelle la technologie que crée chaque pays est "différente". Dans la mesure où ce progrès technique est supposé exogène, il est difficile de comprendre le bien-fondé de cette hypothèse. Comme le souligne Jones (1995) en développant sa critique sur l'effet d'échelle des modèles de croissance endogène, la croissance de la connais-

sance se modélise correctement au niveau mondial. Il semble donc incorrect de modéliser un processus de croissance de la connaissance différent dans chaque pays.

Ainsi, il n'existe aucune raison de distinguer a priori un leader ni de considérer un progrès technique exogène "différent" dans chaque pays.

Dès lors, nous faisons l'hypothèse selon laquelle, comme dans le modèle de Solow, le progrès technique "tombe du ciel". Ce progrès technique exogène correspond à la technologie "mondiale" qui croît au taux x . En n'effectuant plus de distinction entre le taux de croissance de la technologie du pays suiveur et celui du pays leader, nous ne faisons *a priori* aucune différence sur la croissance à long terme de la technologie des pays. Tous les pays i disposent potentiellement du même progrès technique exogène :

$$\frac{DA_i(t)}{A_i(t)} = x \quad \forall i \quad (3.2)$$

Bien sûr, une telle hypothèse ne permet pas d'expliquer les différences de développement observées entre les pays.

3.1.1.2 Prise en compte des différences de développement dans l'accumulation de technologie

Un résultat central du modèle de Solow est que, pendant la phase transitoire, les pays pauvres croissent plus vite que les pays riches, ou de façon plus générale que les pays croissent d'autant plus vite qu'ils sont plus éloignés de leur état stationnaire. Au cours de ce mécanisme transitoire, l'existence de différences de développement n'est prise en compte que dans le processus d'accumulation du capital. Or, un des apports de la théorie de la croissance endogène a été d'expliquer que ces différences de développement influencent aussi la capacité d'un pays

à accumuler de la technologie. L'hypothèse selon laquelle les pays accumulent de la même manière la technologie apparaît alors incorrecte. Les économies ne bénéficient pas de la même façon du progrès technique x .

C'est pourquoi nous supposons que le taux de croissance de la technologie dans chaque pays dépend de la façon dont le pays exploite ce progrès technique mondial qui "tombe du ciel" :

$$\frac{DA_i(t)}{A_i(t)} = \Delta_i x \quad (3.3)$$

Le taux de croissance de la technologie est ainsi égal au progrès technique mondial x , multiplié par un coefficient, Δ_i , mesurant la capacité d'exploitation du progrès technique par le pays i . x représente la croissance potentielle alors que $\Delta_i x$ mesure la croissance réelle. La différence entre croissance potentielle et croissance réelle dépend de la capacité d'exploitation du progrès technique, Δ_i .

Le problème qui se pose alors est de préciser les facteurs qui influencent cette capacité d'exploitation du progrès technique exogène.

3.1.1.3 Facteurs influençant la capacité d'exploitation du progrès technique

Selon l'expression d'Abramovitz (1986), l'assimilation du progrès technique est conditionnée par la "capacité sociale" du pays. Abramovitz identifie la capacité sociale comme les compétences techniques d'un pays, compétences techniques dont le niveau d'éducation serait une bonne approximation.

Toutefois, il souligne que la capacité sociale inclut aussi d'autres facteurs comme la démocratie, l'espérance de vie, l'ouverture à l'extérieur, etc.

Dans ce paragraphe, nous montrons que la mobilité du capital physique joue

un rôle important dans l'intégration du progrès technique. Mais retenir une telle hypothèse conduit à une convergence instantanée. C'est pourquoi, nous nous intéressons aussi au rôle du capital humain comme facteur explicatif des différences de capacité d'exploitation.

Rôle du capital physique comme support de la croissance de la technologie. Selon Basu et Weil (1998), bien que la technologie soit librement disponible, il se peut qu'un pays n'utilise pas une nouvelle technologie parce qu'il possède un niveau de développement pour lequel cette nouvelle technologie n'est pas appropriée à ses besoins. L'idée sous-jacente est que le progrès technique s'applique d'autant plus facilement que les pays possèdent un niveau de capital par tête suffisant pour profiter de ce progrès technique. Selon le stock de capital disponible dans un pays, ce dernier pourra ou non bénéficier du progrès technique mondial.

Findlay (1978) modélisait déjà l'importance du capital dans le processus de croissance de la technologie. Pour lui, le taux de croissance de la technologie dans un pays dépend du degré d'ouverture aux investissements directs étrangers, mesuré par la proportion de capital étranger dans le capital domestique. Ainsi, plus le capital physique étranger est présent dans le pays, plus il est facile pour un pays de profiter du progrès technique.

Cependant, considérer l'ouverture d'un pays aux capitaux étrangers pose certains problèmes théoriques. En particulier, l'ajustement du capital à sa valeur d'état stationnaire se fait instantanément. Barro et Sala I Martin (1995b) montrent, en effet, que, dans une économie ouverte avec parfaite mobilité du capital,

il n'existe pas de processus de convergence. Plus exactement, l'économie atteint directement sa valeur stationnaire puisqu'il n'existe par ailleurs aucun facteur susceptible de freiner l'ajustement. La convergence est immédiate et la vitesse de convergence infinie.

Nous sommes donc amenés à écarter l'hypothèse selon laquelle la capacité d'exploitation dépendrait du capital physique.

Importance du capital humain dans la capacité d'exploitation de la technologie Il est possible que les difficultés des pays pauvres à bénéficier du progrès technique mondial soient liées à un manque de capital humain. Il est, en effet, devenu habituel d'identifier les facteurs qui freinent l'utilisation de ce progrès technique et il est probable que le capital humain joue un rôle fondamental.

Sur le plan théorique, Nelson et Phelps (1966) sont les premiers à souligner l'importance du capital humain dans la croissance de la technologie. Benhabib et Spiegel (1994) étendent l'analyse de Nelson et Phelps en considérant que le capital humain augmente la capacité du pays à développer des nouvelles technologies mais aussi sa capacité à importer de nouvelles technologies. Enfin, l'introduction du capital humain permet d'expliquer pourquoi certains pays ne décollent pas (Verspagen (1991)). En dessous d'un certain seuil de capital humain, il est impossible pour un pays de profiter du progrès technique. Il ne peut pas dans ces conditions décoller et les écarts de technologie avec les autres pays ne cessent d'augmenter.

Sur le plan empirique, l'influence du capital humain comme facteur facilitant l'imitation et l'innovation est aussi mise en avant. Papageorgiou (1999) réalise

une étude sur 80 pays de 1960 à 1987. Il établit que le capital humain comme soutien de la technologie a un effet significatif sur le taux de croissance du PIB par tête.

Ainsi, nous pourrions faire dépendre la capacité d'exploitation du niveau de capital humain du pays. Toutefois, un tel modèle suppose l'accumulation de deux formes de capital : le capital physique et le capital humain. La dynamique transitoire de ce modèle est alors à deux dimensions et les dynamiques de la technologie et du capital humain sont interdépendantes (Jones (1996)). Cette interdépendance implique que la convergence et le rattrapage ne peuvent plus analytiquement être séparés.

La capacité d'exploitation fonction de l'écart des niveaux de technologie. Nous avons vu, dans les paragraphes précédents, que capital physique et capital humain permettent d'expliquer les différences dans la capacité d'exploitation parce que ces deux variables sont des variables proxy des compétences techniques des pays. Il nous semble donc plus simple de considérer directement les écarts de technologie qui existent entre les pays. Il apparaît acceptable de supposer que la capacité de chaque pays à exploiter le progrès technique mondial dépend des niveaux relatifs de technologie des pays.

Aussi, nous considérons, dans notre modèle, que la capacité d'exploitation du progrès technique dépend du niveau de technologie du pays i relativement à celui des Etats-Unis. En procédant ainsi, nous réintroduisons l'idée que le rattrapage technologique se fait par rapport à la technologie des Etats-Unis. En revanche, nous n'imposons pas nécessairement l'hypothèse selon laquelle les Etats-Unis se-

raient le pays leader dans le sens où ils auraient nécessairement le plus haut niveau de technologie. Nous prenons comme pays de référence les Etats-Unis car même si certains pays ont actuellement atteint ou dépassé le niveau de technologie américain, les Etats-Unis disposent néanmoins du potentiel scientifique le plus fort (Eaton et Kortum (1999)) (presque la moitié des chercheurs travaillent aux Etats-Unis). De plus, ils représentent le pôle dominant dans l'ensemble des brevets déposés. Nous supposons donc que la technologie se diffuse à partir des Etats-Unis.

Δ_i est une fonction croissante de l'écart relatif de technologie :

$\left(\frac{A_i}{A_{USA}}\right)^{-\varphi} = \left(\bar{A}_i\right)^{-\varphi}$: plus un pays est en retard par rapport à la technologie américaine (c'est-à-dire plus son niveau de technologie est relativement faible), plus son potentiel de rattrapage est important. Les pays qui sont proches de la technologie américaine ont eux moins de possibilités de transferts.

Cette hypothèse peut sembler relativement forte dans la mesure où les pays les plus en retard ne rattrapent pas du tout. Il existe, en effet, comme le montre la littérature récente de la croissance endogène, des seuils de développement. Cette hypothèse est, cependant, simple et élégante ; elle impose, comme pour la convergence, un processus de rattrapage asymptotique. Nous verrons, grâce aux résultats du chapitre 5, que le contenu empirique et informatif de cette hypothèse est loin d'être négligeable.

La capacité d'exploitation s'écrit ainsi :

$$\Delta_i = \frac{\delta_i}{\delta_{USA}} \left(\frac{A_i}{A_{USA}}\right)^{-\varphi} = \bar{\delta}_i \bar{A}_i^{-\varphi}$$

Le paramètre φ , strictement positif, représente l'opposé de l'élasticité du taux de croissance de la technologie par rapport au niveau relatif de la technologie. Si φ

est inférieur à 1, au fur et à mesure que le pays i se rapproche des USA, il devient de plus en plus difficile de profiter de la technologie. Quand φ est supérieur à 1, les rendements de la technologie sont croissants : plus le pays i a un niveau de technologie qui se rapproche de celui des USA, plus il est facile pour lui d'adopter les innovations technologiques.

Le paramètre $\frac{\delta_i}{\delta_{USA}}$, exogène et constant, rend compte de la facilité ou de la difficulté avec laquelle le pays peut profiter des transferts de technologie. Par le biais de ce paramètre, que nous appelons potentialité relative d'accumulation, nous conservons l'idée de Nelson et Phelps (1966) et Benhabib et Spiegel (1994) selon laquelle le capital humain affecte la croissance de la technologie. Même si le pays i accuse un retard important par rapport aux USA ($\frac{A_i}{A_{USA}}$ faible), cela n'implique pas que son taux de croissance soit élevé. Encore faut-il que la potentialité relative d'accumulation soit suffisamment importante pour profiter de ce retard. Contrairement à ces auteurs, nous allons voir que, dans notre modèle, δ_i affecte la valeur d'état stationnaire de la technologie.

Sur la base de ces différents arguments, la croissance de la technologie prend la forme suivante : pour tout pays i ,

$$\frac{DA_i(t)}{A_i(t)} = \bar{\delta}_i \left[\frac{A_i}{A_{USA}} \right]^{-\varphi} x = \bar{\delta}_i [\bar{A}_i(t)]^{-\varphi} x \quad (3.4)$$

Dans le cas des USA, la croissance de la technologie ne s'explique que par le progrès technique mondial : $\frac{DA_{USA}}{A_{USA}} = x$. Par construction, le pays diffuseur ne peut bénéficier du rattrapage.

Nous présentons maintenant les autres hypothèses du modèle.

3.1.2 Autres hypothèses du modèle

Le cadre d'analyse retenu est celui d'un modèle de croissance à la Solow où un seul bien homogène est produit: il peut être soit investi soit consommé. Le taux d'épargne est exogène, ce qui implique l'absence de possibilité de transferts de capitaux, et donc d'ajustement instantané du capital¹.

3.1.2.1 Technologie de production

A la date t et pour chaque pays i , la fonction de production est de type Cobb Douglas :

$$Y_i(t) = F(K_i(t), A_i(t)L_i(t)) = K_i(t)^\alpha [A_i(t)L_i(t)]^{1-\alpha} \quad (3.5)$$

où la production est mesurée par Y , le capital par K , la quantité de travail par L et le niveau de technologie par A .

L'élasticité du produit par rapport au capital, α , est la même dans chaque pays. Le progrès technique est neutre au sens de Harrod et les rendements d'échelle sont constants. La fonction de production peut alors être exprimée en variables intensives à la date t :

$$\hat{y}_i(t) = \hat{k}_i(t)^\alpha \quad (3.6)$$

où $\hat{y}_i = \frac{Y_i}{A_i L_i}$ est la production par tête efficace et $\hat{k}_i = \frac{K_i}{A_i L_i}$ le stock de capital par tête efficace. En posant $y_i = \frac{Y_i}{L_i}$ la production par tête, on a : $y_i = A_i \hat{y}_i$. La fonction de production peut alors être exprimée de la manière suivante :

$$y_i(t) = A_i \hat{k}_i(t)^\alpha \quad (3.7)$$

1. Même si cette hypothèse est contestable dans notre cadre d'économie ouverte où s'opèrent des transferts de technologie, nous pouvons la justifier par la constatation empirique de Feldstein et Horioka (1980). Comme notre objectif est d'opérer le test de convergence conditionnelle de Mankiw, Romer et Weil (1992) et que la variable utilisée est le taux d'investissement des pays, cette hypothèse est peu gênante d'un point de vue empirique.

Cette écriture permet de faire ressortir les deux facteurs qui affectent la production par tête : la technologie et le capital.

3.1.2.2 Processus d'accumulation de capital

L'accroissement net du stock de capital à une date donnée est égal à l'investissement brut moins la dépréciation : $DK_i(t) = I_i(t) - dK_i(t)$ où d est le taux de dépréciation du capital. Pour simplifier, nous posons l'hypothèse que d est identique dans tous les pays.

Dans le cadre néoclassique, l'investissement est toujours égal *ex post* à l'épargne : $DK_i(t) = s_i Y_i(t) - dK_i(t)$. Mise sous forme intensive, l'équation dynamique fondamentale s'écrit :

$$D\hat{k}_i(t) = s_i \hat{k}_i(t)^\alpha - \left(d + n_i + \frac{DA_i(t)}{A_i(t)} \right) \hat{k}_i(t) \quad (3.8)$$

avec s_i le taux d'épargne du pays i , n_i le taux de croissance de la population du pays i , supposé exogène et constant et $\frac{DA_i}{A_i}$ le taux de croissance de la technologie dans le pays i .

C'est dans le cadre défini par ces hypothèses que nous étudions tout d'abord le régime d'état stationnaire puis la dynamique transitoire.

3.2 Etude du régime permanent

Nous déterminons, tout d'abord, la valeur d'état stationnaire du niveau relatif de la technologie, $\left(\frac{A_i}{A_{USA}}\right)^*$. Nous nous intéressons, ensuite, à la valeur d'état stationnaire du capital par tête efficace, \hat{k}^* . Enfin, en caractérisant le niveau relatif de la production par tête d'état stationnaire $\left(\frac{y_i}{y_{USA}}\right)^*$, nous mettons en évidence la possibilité d'un dépassement des USA par le pays i .

3.2.1 Niveau relatif de la technologie à l'état stationnaire

A l'équilibre de régime permanent, les variables du modèle croissent, par définition, à taux constant. Ainsi, $\frac{DA_i}{A_i}$ est constant, ce qui implique que \bar{A}_i est constant. On a donc : $\frac{D\bar{A}_i}{\bar{A}_i} = 0$ encore équivalent à $\frac{DA_i}{A_i} = \frac{DA_{USA}}{A_{USA}}$: les pays croissent tous au même taux c'est-à-dire au taux de croissance du progrès technique mondial, x : $\frac{DA_i}{A_i} = x$. D'après l'équation (3.4), ceci implique :

$$\left(\frac{A_i}{A_{USA}}\right)^* = \bar{A}_i^* = (\bar{\delta}_i)^{\frac{1}{\varphi}} \quad (3.9)$$

La valeur d'état stationnaire du niveau relatif de la technologie dépend de la valeur de $\bar{\delta}_i$. Comme chez Benhabib et Spiegel (1994), le pays qui a la potentialité d'accumulation de la technologie la plus élevée sera finalement le leader technologique. Certains pays peuvent, grâce à une potentialité élevée, profiter pleinement de leur retard et devenir leader². Bien que tous les pays croissent au même taux, ils n'atteignent pas nécessairement tous le niveau de technologie des Etats-Unis. Nous distinguons trois situations :

- si $\bar{\delta}_i < 1$ (c'est-à-dire si $\delta_i < \delta_{USA}$), la faiblesse de la potentialité d'accumulation de la technologie du pays i relativement à celle des USA empêche le pays i d'atteindre le niveau de technologie américain, A_{USA} : $\bar{A}_i^* < 1 \Leftrightarrow A_i^* < A_{USA}^*$. A l'état stationnaire, comme les pays croissent au même taux, il persiste donc un écart technologique et les USA ont toujours le niveau de technologie le plus élevé.

2. Un article publié dans *The Economist* (2000) souligne d'ailleurs que les USA pourraient perdre ce leadership à cause notamment de leur système d'éducation. Ils possèdent, certes, les meilleures universités mais, pour le reste, le Japon et l'Europe fournissent une meilleure éducation primaire et secondaire. Bien qu'étant lents dans l'adoption des technologies, ces pays pourraient grâce à cet avantage dépasser les USA.

- si $\bar{\delta}_i = 1$, dans ce cas, le niveau de technologie atteint par le pays i est égal au niveau des Etats-Unis : $\bar{A}_i^* = 1 \Leftrightarrow A_i^* = A_{USA}^*$. A l'état stationnaire, il n'y a plus d'écart de technologie entre le pays i et les USA.
- si $\bar{\delta}_i > 1$, il y a dépassement : $\bar{A}_i^* > 1 \Leftrightarrow A_i^* > A_{USA}^*$. Le niveau de technologie du pays i est plus élevé que celui des Etats-Unis. La présence d'une capacité interne ($\bar{\delta}_i$) supérieure à celle des USA permet au pays i de profiter pleinement des écarts de technologie et, par voie de conséquence, d'avoir le niveau de technologie le plus élevé.

3.2.2 Capital par tête efficace d'état stationnaire

A l'état stationnaire, chaque variable croît à taux constant. On a $\frac{DK}{K} = \frac{DY}{Y} = c$ où c est une constante. Cela implique que le taux de croissance du capital par tête efficace est nul³ : $\frac{D\hat{k}_i}{\hat{k}_i} = 0$.

A l'état stationnaire, le stock de capital par tête efficace est donné par :

$$\forall x \quad \hat{k}_i^* = \left(\frac{s_i}{\frac{DA_i}{A_i} + n_i + d} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (3.10)$$

A l'état stationnaire, le taux de croissance de la technologie du pays i est égal au taux de croissance du progrès technique mondial : $\frac{DA_i}{A_i} = x \quad \forall i$. L'expression du stock de capital par tête efficace devient :

$$\hat{k}_i^* = \left(\frac{s_i}{x + n_i + d} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (3.11)$$

Comme dans le modèle de Solow, le taux d'épargne et le taux de croissance de la population influencent la valeur d'état stationnaire du capital par tête effi-

3. D'après la fonction de production, le taux de croissance de la production est égal à : $\frac{DY}{Y} = \alpha \frac{DK}{K} + (1-\alpha) \frac{DA}{A} + (1-\alpha) \frac{DL}{L}$. De plus, $\frac{DK}{K} = \frac{DY}{Y}$ implique : $(1-\alpha) \frac{DK}{K} = (1-\alpha) \frac{DA}{A} + (1-\alpha) \frac{DL}{L}$. Il s'en suit que : $\frac{DK}{K} - \frac{DA}{A} - \frac{DL}{L} = 0$. On a donc $\frac{D\hat{k}}{\hat{k}} = 0$.

ce. Cependant, comme les taux de croissance de la population sont assez peu différents d'un pays à l'autre, alors qu'il existe de fortes différences dans les taux d'épargne, nous pouvons considérer que c'est essentiellement la variable d'épargne qui détermine le capital par tête efficace d'état stationnaire.

Trois situations distinctes apparaissent :

- si $s_i < s_{USA}$, la faiblesse de son taux d'épargne relativement à celui des USA empêche le pays i d'atteindre le même stock de capital par tête efficace. Les USA ont le stock de capital par tête efficace le plus élevé.
- si $s_i = s_{USA}$ ils auront le même stock de capital par tête efficace : $\hat{k}_i^* = \hat{k}_{USA}^*$.
- si $s_i > s_{USA}$, le pays i grâce à un taux d'épargne plus grand que les Etats-Unis possède à l'état stationnaire le stock de capital par tête efficace le plus fort : $\hat{k}_i^* > \hat{k}_{USA}^*$.

A partir des valeurs d'état stationnaire du niveau relatif de la technologie et du niveau du capital par tête efficace, nous déterminons le niveau relatif de la production par tête d'état stationnaire.

3.2.3 Niveau relatif de la production par tête d'état stationnaire : la possibilité d'un dépassement

D'après l'équation de la fonction de production en variables par tête efficace, nous déterminons le niveau de la production par tête du pays i relativement à celui des USA :

$$\frac{y_i}{y_{USA}} = \left(\frac{\hat{k}_i(t)}{\hat{k}_{USA}(t)} \right)^\alpha \left(\frac{A_i}{A_{USA}} \right) \quad (3.12)$$

Compte tenu des valeurs d'état stationnaire du niveau relatif de la technologie (équation (3.9)) et du capital par tête efficace (équation (3.11)), nous montrons

que le pays i peut avoir, à l'état stationnaire, un niveau de production par tête supérieur à celui des USA. Le niveau relatif de la production par tête d'état stationnaire est⁴ :

$$\left(\frac{y_i}{y_{USA}}\right)^* = \left(\frac{s_i}{s_{USA}}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{\delta_i}{\delta_{USA}}\right)^{\frac{1}{\varphi}} \quad (3.13)$$

Selon la valeur de $\left(\frac{y_i}{y_{USA}}\right)^*$ (inférieure ou supérieure à 1), nous déterminons le pays le plus avancé à l'état stationnaire. Comme Maddison (1991), nous définissons le leadership en termes de productivité du travail et non en termes technologiques.

Le tableau 3.2 caractérise les différentes situations possibles selon les valeurs de δ_i et de s_i par rapport aux valeurs de δ_{USA} et de s_{USA} .

	$\delta_i < \delta_{USA}$ $A_i < A_{USA}$	$\delta_i = \delta_{USA}$ $A_i = A_{USA}$	$\delta_i > \delta_{USA}$ $A_i > A_{USA}$
$s_i < s_{USA}$ $\hat{k}_i < \hat{k}_{USA}$	$y_i^* < y_{USA}^*$ 1	$y_i^* < y_{USA}^*$ 4	? 7
$s_i = s_{USA}$ $\hat{k}_i = \hat{k}_{USA}$	$y_i^* < y_{USA}^*$ 2	$y_i^* = y_{USA}^*$ 5	$y_i^* > y_{USA}^*$ 8
$s_i > s_{USA}$ $\hat{k}_i > \hat{k}_{USA}$? 3	$y_i^* > y_{USA}^*$ 6	$y_i^* > y_{USA}^*$ 9

TAB. 3.2 – Productions par tête d'état stationnaire

Les hypothèses effectuées sur le paramètre $\bar{\delta}_i$ et sur le taux d'épargne conduisent à neuf résultats concernant la valeur du PIB par tête d'état régulier du pays i relativement au PIB par tête des Etats-Unis. Sur la base de ces résultats, trois situations différentes sont possibles : une situation où les USA conservent leur position de leader en termes de PIB par tête, une situation de dépassement par l'accumulation de technologie et une situation de dépassement par l'accumulation

4. Comme nous l'avons souligné précédemment, les différences de croissance de la population sont assez faibles. Aussi, pour simplifier l'analyse des différents cas envisageables, nous supposons ici que tous les pays connaissent le même taux de croissance de la population.

de capital :

- *le leadership américain* : il s'agit des cas 1, 2, 4 et 5. Dans cette situation, la faiblesse de la potentialité d'accumulation et du taux d'épargne du pays i permet aux Etats-Unis de conserver le produit par tête le plus élevé. Dans le cas très particulier où $\delta_i = \delta_{USA}$ et $s_i = s_{USA}$, les Etats-Unis et le pays i ont, à l'état stationnaire, la même production par tête.
- *la situation de dépassement par l'accumulation de technologie* : il s'agit des cas 8 et 9. Dans cette situation, le pays i possède le niveau de technologie d'état stationnaire le plus élevé, ce qui lui permet de dépasser les Etats-Unis et d'atteindre le produit par tête le plus élevé. Dans le cas pour lequel son taux d'épargne serait trop faible par rapport à celui des Etats-Unis (cas 7), il subsiste une indétermination.
- *la situation de dépassement par l'accumulation de capital* : il s'agit des cas 6 et 9. Le fait d'avoir un taux d'épargne élevé permet au pays i d'atteindre un niveau de production par tête supérieur à celui des Etats-Unis. Mais, dans le cas pour lequel la potentialité est relativement faible (cas 3), la situation finale peut être indéterminée.

Ce n'est donc pas exclusivement le niveau de technologie qui détermine le leadership en terme de PIB par tête. Le dépassement peut se produire grâce à l'épargne et donc à l'investissement en capital. L'accumulation de capital constitue donc un autre facteur explicatif du dépassement. C'est d'ailleurs aussi grâce à ce phénomène que les Etats-Unis sont devenus leader au début du 20^{ème} siècle. Le taux d'investissement américain intérieur fut deux fois plus élevé que celui du Royaume-Uni sur la période 1890-1950 et la différence des taux de croissance du

stock de capital fut presque aussi grande. Par exemple, sur la période 1891-1900, le rapport de l'investissement brut en capital fixe au PIB aux prix courants était de 6.7 au Royaume-Uni contre 15.8 aux Etats-Unis (Maddison (1991)).

Dans cette section, nous avons mis en évidence l'existence de plusieurs situations d'état stationnaire. Selon la valeur des paramètres, technologie et capital par tête efficace peuvent permettre au pays i de dépasser le niveau de production par tête d'état stationnaire des USA et donc de devenir le pays leader en situation d'état stationnaire.

Nous nous intéressons maintenant au comportement de l'économie pendant la dynamique transitoire.

3.3 Dynamique transitoire : mécanisme de convergence et mécanisme de rattrapage

Nous présentons, tout d'abord, la dynamique des écarts de technologie et celle du capital par tête efficace de façon séparée, c'est-à-dire en raisonnant pour chaque dynamique, toutes choses égales par ailleurs. A partir de la dynamique de chaque variable, nous étudions la dynamique du taux de croissance de la production par tête. Nous montrons alors que, dans ce contexte, il est possible de séparer la convergence et le rattrapage.

3.3.1 Dynamique du niveau relatif de la technologie : rattrapage absolu, rattrapage conditionnel

En dynamique transitoire, quelle que soit la valeur de $\bar{\delta}_i$, si le niveau relatif de la technologie est inférieur à sa valeur d'équilibre de long terme, $\bar{A}_i < \bar{A}_i^*$, on a $\frac{D\bar{A}_i}{\bar{A}_i}$ positif, c'est-à-dire $\frac{DA_i}{A_i}$ supérieur au taux de croissance du progrès technique mondial, x . Dans ce cas, le pays profite d'un bonus de rattrapage. En revanche, si initialement $\bar{A}_i > \bar{A}_i^*$, on a $\frac{D\bar{A}_i}{\bar{A}_i}$ négatif, $\frac{DA_i}{A_i}$ est inférieur au taux de croissance du progrès technique mondial : le pays a un niveau de technologie tel qu'il croît moins vite que le progrès technique mondial.

Ainsi, quelle que soit la valeur du paramètre $\bar{\delta}_i$, tous les pays rattrapent en taux : ils croissent tous à l'état stationnaire au taux x . En revanche, ils atteignent tous leur propre niveau de technologie d'état stationnaire, niveau de technologie qui peut être différent de celui des Etats-Unis :

- dans le cas particulier où $\bar{\delta}_i$ est égal à 1, c'est-à-dire lorsque le pays a la même potentialité d'accumulation que celle des USA, les paramètres d'état stationnaire sont identiques : $A_i^* = A_{USA}^* \Leftrightarrow \bar{A}_i^* = 1$. Il y a **rattrapage absolu** : le pays i atteint le niveau de technologie des Etats-Unis.
- dans le cas où $\bar{\delta}_i < 1$ ou $\bar{\delta}_i > 1$, chaque pays atteint son propre état stationnaire qui est différent du niveau des Etats-Unis : $A_i^* \neq A_{USA}^* \Leftrightarrow \bar{A}_i^* \neq 1$.
Il y a **rattrapage conditionnel**.

Les figures 3.1, 3.2 et 3.3 résument ces différentes situations. Quel que soit le niveau initial de technologie dans le pays i , il atteint le niveau d'état régulier \bar{A}_i^* (point E). Si \bar{A}_i est inférieur ou supérieur à 1, il y a rattrapage conditionnel. Quand \bar{A}_i^* est égal à 1, le rattrapage est absolu.

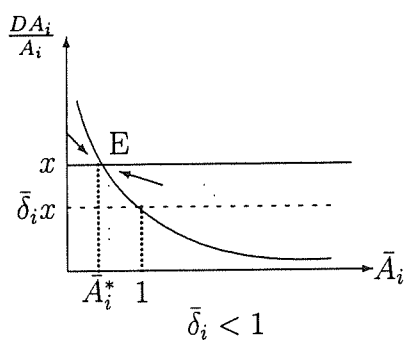


FIG. 3.1 – rattrapage conditionnel avec $\delta_i < \delta_{USA}$

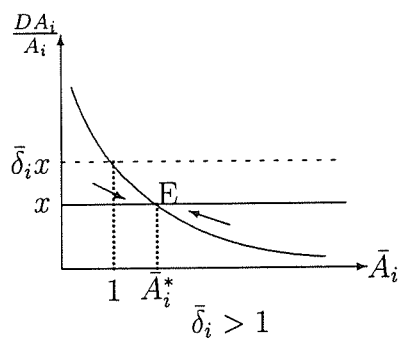


FIG. 3.2 – rattrapage conditionnel avec $\delta_i > \delta_{USA}$

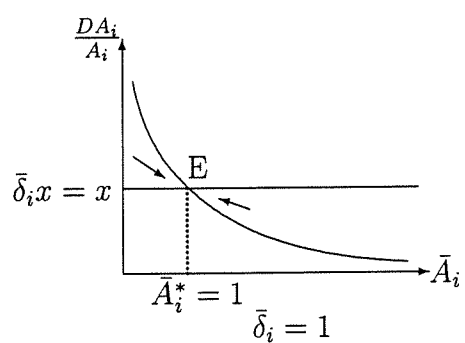


FIG. 3.3 – rattrapage absolu

3.3.2 Dynamique du capital par tête efficace : convergence absolue, convergence conditionnelle

En dynamique transitoire, quelle que soit la valeur du taux d'épargne, si le stock de capital par tête efficace est inférieur à sa valeur d'équilibre de long terme, $\hat{k}_i < \hat{k}_i^*$, le taux de croissance du capital par tête efficace est positif : \hat{k}_i augmente au cours du temps et parallèlement, le taux de croissance diminue pour devenir nul quand $\hat{k}_i = \hat{k}_i^*$. Inversement, si $\hat{k}_i > \hat{k}_i^*$, le taux de croissance est négatif et \hat{k}_i diminue au cours du temps pour finalement tendre vers sa valeur d'état stationnaire.

Ainsi quelle que soit la situation initiale du pays i , celui-ci converge à long terme vers son état stationnaire. Le caractère absolu ou conditionnel de la convergence est déterminé par la valeur exogène du taux d'épargne⁵ :

- si les taux d'épargne sont identiques pour tous les pays, alors ils convergent vers la même valeur de capital par tête efficace : il y a **convergence absolue**.
- en revanche, si les taux d'épargne sont différents, chaque pays converge vers son propre niveau de capital par tête efficace d'état stationnaire : il y a **convergence conditionnelle**.

Les figures 3.4, 3.5 et 3.6 illustrent ces résultats. Quel que soit le taux d'épargne, à l'état stationnaire, le taux de croissance de capital par tête efficace est nul : $s \frac{\dot{y}}{y} = x + n + d$ pour tout pays. En revanche, les valeurs du taux déterminent leur caractère absolu ou conditionnel.

5. Pour alléger les représentations graphiques, nous supposons que n_i est identique pour tous les pays : $n_i = n \quad \forall i$.

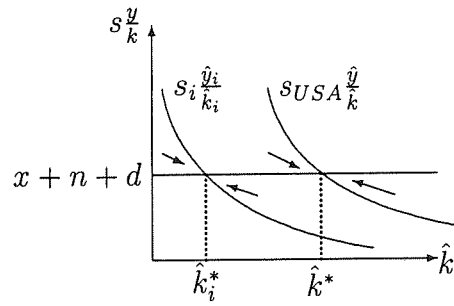


FIG. 3.4 – Convergence conditionnelle quand $s_i < s_{USA}$

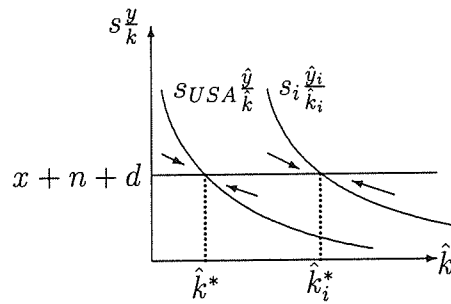


FIG. 3.5 – Convergence conditionnelle quand $s_i > s_{USA}$

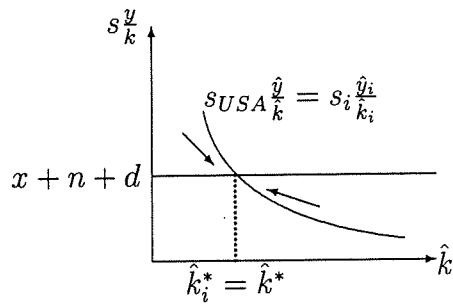


FIG. 3.6 – Convergence absolue

3.3.3 Dynamique de la production par tête

Quelle que soit la nature des mécanismes (absolue ou conditionnelle), chaque pays rattrape et converge simultanément. Notre objectif est ici de déterminer l'influence de chacun des mécanismes dans la croissance de la production par tête. Nous cherchons à obtenir l'équation du taux de croissance de la production par tête en fonction de chaque facteur.

Pour mieux comprendre l'analyse de la dynamique transitoire, nous revenons tout d'abord au modèle traditionnel de Solow pour ensuite déterminer l'équation du taux de croissance de la production par tête dans notre modèle.

3.3.3.1 Taux de croissance de la production par tête de dynamique transitoire dans le modèle traditionnel de Solow

Dans le modèle néoclassique, la dynamique de l'économie n'est gouvernée que par l'équation d'accumulation du capital par tête efficace. La résolution conduit à l'équation de convergence :

$$\gamma_{\hat{y}_i} = -\beta(\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*) \quad (3.14)$$

où $\gamma_{\hat{y}_i}$ est le taux de croissance de la production par tête efficace et β le coefficient de convergence.

Si nous tenons compte du fait que le taux de croissance de la production par tête peut s'écrire en fonction du taux de croissance de la production par tête efficace ($\gamma_{y_i} = x + \gamma_{\hat{y}_i}$), l'expression de γ_{y_i} est donnée par :

$$\gamma_{y_i} = x - \beta(\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*) \quad (3.15)$$

Dans cette équation, seule la convergence (relation négative entre taux de croissance et niveau initial du PIB par tête) explique l'évolution de la production

par tête.

Dans les paragraphes suivants, nous montrons que, dans le cadre de notre modèle, cette équation ne peut plus être qualifiée d'équation de convergence car la convergence, telle que nous l'avons définie au chapitre 1, n'est plus le seul mécanisme explicatif du taux de croissance du PIB par tête.

3.3.3.2 Coefficient de convergence et coefficient de rattrapage : équation de dynamique transitoire du PIB par tête

Dans notre modèle, la dynamique transitoire de l'économie est gouvernée non seulement par l'équation d'accumulation du capital par tête efficace mais aussi par l'équation du taux de croissance de la technologie. En effet, par rapport au modèle de Solow, le taux de croissance de la technologie n'est plus constant et varie en fonction de l'écart technologique du pays, \bar{A}_i . Nous ne pouvons donc plus raisonner avec une formulation qui considère la variable x constante. Le taux de croissance du PIB par tête dépend aussi des écarts de technologie.

En exprimant la fonction de production en taux de croissance et en prenant les expressions $\gamma_{\hat{k}_i}$ (équation (3.8)) et de γ_{A_i} (équation (3.4)) en dynamique transitoire, γ_{y_i} devient : $\gamma_{y_i} = \bar{\delta}_i \bar{A}_i^{-\varphi} x + \alpha \left(s_i \hat{k}_i^{\alpha-1} - \left(n_i + d + \frac{DA_i}{A_i} \right) \right)$ soit encore :

$$\gamma_{y_i} = \bar{\delta}_i x e^{-\varphi \ln \bar{A}_i} + \alpha \left(s_i e^{-(1-\alpha) \ln \hat{k}_i} - \left(n_i + d + \bar{\delta}_i x e^{-\varphi \ln \bar{A}_i} \right) \right) \quad (3.16)$$

Comme γ_{y_i} est une fonction non linéaire de $\ln \bar{A}_i$ et de $\ln \hat{k}_i$, nous procédons à un développement de Taylor d'ordre 1 au voisinage du point d'état stationnaire :

$$\gamma_{y_i} = \gamma_{y_i}^* + \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} \left(\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^* \right) + \alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} \left(\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^* \right) \quad (3.17)$$

Sachant que $\gamma_{y_i}^*$ est égal à x , qu'au voisinage du point d'état stationnaire $\frac{DA_i}{A_i}$

est aussi égal à x et que $\alpha \ln \hat{k}_i = \ln \hat{y}_i$, l'équation (3.17) devient⁶ :

$$\gamma_{y_i} = x - \beta_i (\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*) - \mu_i (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) \quad (3.18)$$

où $\beta_i = (1-\alpha)(x+n_i+d)$ est le **coefficient de convergence** et $\mu_i = (1-\alpha)\varphi x$ est le **coefficient de rattrapage**.

Nous obtenons donc ici une expression du taux de croissance de la production qui nous permet de dissocier convergence et rattrapage. Il s'agit de l'équation caractérisant correctement le comportement de chaque pays pendant la dynamique transitoire, lorsque nous admettons que les niveaux de technologie sont différents et donc que les taux de croissance sont différents.

Le coefficient de convergence a une expression identique à celle obtenue dans le modèle de Solow. En effet, chez Solow, β est égal à $(1-\alpha)(x+n+d)$ où x est le taux de croissance de la technologie identique pour tous les pays. Etant donné la spécification Cobb Douglas de la fonction de production, le coefficient de convergence est indépendant de s_i : le taux d'épargne n'affecte pas la vitesse de convergence.

Le coefficient de rattrapage μ est d'autant plus élevé que le progrès technique mondial est important et que l'élasticité du taux de croissance de la technologie par rapport au niveau relatif de la technologie (φ) est élevée. Etant donné la spécification de l'équation (3.4), ce coefficient de rattrapage est indépendant de la potentialité d'accumulation de la technologie du pays i ($\bar{\delta}_i$).

Comme dans le cas de la convergence où le taux d'épargne influence le niveau de capital par tête d'état stationnaire mais pas le coefficient de convergence, la potentialité d'accumulation de la technologie détermine le niveau de technologie

6. La démonstration se trouve en annexe 3.A.

d'état stationnaire du pays mais pas le coefficient de rattrapage.

3.3.3.3 Equations de rapprochement théorique et empirique

La prise en compte, dans notre modèle, d'un processus d'accumulation de la technologie spécifique à chaque pays permet de résoudre le problème soulevé au chapitre 1.

Nous avons, en effet, expliqué qu'il est nécessaire d'intégrer les niveaux de technologie de façon explicite dans l'équation du taux de croissance de la production par tête. L'équation de Mankiw, Romer et Weil qui ne tient pas compte de cette hétérogénéité, n'est alors plus valide. Elle suppose, en effet, que le taux de croissance de la technologie est le même pour tous les pays, hypothèse qui n'est pas correcte si les niveaux de technologie sont différents.

La prise en compte d'une croissance de la technologie différente dans chaque pays fait apparaître un nouveau facteur explicatif dans l'équation traditionnelle de convergence : les écarts de technologie. L'évolution générale du taux de croissance du PIB par tête est gouvernée par le mécanisme habituel de la convergence mais aussi par un nouveau phénomène : le rattrapage.

C'est pourquoi nous ne parlerons plus d'équation de convergence pour caractériser l'équation (3.18) mais **d'équation de rapprochement**.

Le rattrapage et la convergence pouvant être conditionnels ou absolus, le rapprochement est lui aussi conditionnel ou absolu. Le tableau 3.3 synthétise la nature et les mécanismes explicatifs du rapprochement des PIB par tête.

	Phénomènes explicatifs
Rapprochement absolu : $y_i^* = y_{USA}^*$	convergence absolue $s_i = s_{USA}$ rattrapage absolu $A_i^* = A_{USA}^*$
Rapprochement conditionnel : $y_i^* \neq y_{USA}^*$	convergence absolue $s_i = s_{USA}$ rattrapage conditionnel $A_i^* \neq A_{USA}^*$ convergence conditionnelle $s_i \neq s_{USA}$ rattrapage absolu $A_i^* = A_{USA}^*$ convergence conditionnelle $s_i \neq s_{USA}$ rattrapage conditionnel $A_i^* \neq A_{USA}^*$

TAB. 3.3 – *Nature et phénomènes explicatifs du rapprochement des PIB par tête*

Notre approche est intéressante sur trois points :

- L'introduction de niveaux de technologie différents dans l'équation de MRW pose un problème théorique puisque, dans une telle situation, les taux de croissance de la technologie ne pouvaient plus être identiques. Notre modèle permet de résoudre ce problème.
- Une confusion dans la littérature existe quant à l'emploi des termes convergence et rattrapage. Ils sont, en effet, employés comme synonymes pour caractériser l'évolution des PIB par tête. Les deux phénomènes contribuent au **rapprochement des PIB par tête**. Notre modèle élimine cette confusion.
- A la différence de l'équation de MRW, la présence de convergence absolue

n'implique pas nécessairement que les pays ont les mêmes PIB par tête d'état stationnaire, des différences entre niveaux de technologie pouvant persister.

L'équation (3.18) est donc l'équation correcte pour étudier empiriquement le rapprochement des PIB par tête. Plus exactement, nous allons estimer une équation très proche.

En effet, sur le plan théorique, comme nous l'avons déjà précisé, cette équation de rapprochement correspond à l'équation caractérisant, pendant la dynamique transitoire, le comportement de chaque pays i ($i = 1..N$). Notons que, dans l'équation théorique, les coefficients sont spécifiques à chaque pays. En particulier, le coefficient de convergence dépend du taux de croissance de la population. Il est donc différent selon le pays considéré. L'équation (3.18) définit, sur le plan théorique, la dynamique transitoire d'un pays vers son propre état stationnaire.

Cependant, sur le plan empirique, l'estimation de la β convergence est toujours réalisée en coupe transversale. Elle ne consiste donc pas à étudier la transition d'un pays vers son état stationnaire mais plutôt à étudier le mécanisme de convergence (et de rattrapage) entre pays. En d'autres termes, c'est le rapprochement international des pays qui est étudié, et non le rapprochement d'un pays vers son état stationnaire. Les coefficients β et μ qui sont ainsi estimés correspondent à un coefficient moyen. C'est la raison pour laquelle il n'existe qu'un seul β et qu'un seul μ estimés. L'équation estimée en coupe transversale est alors spécifiée de la façon suivante :

$$\gamma_{y_i} = x - \beta (\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*) - \mu (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*)$$

Etant donné que les estimations sont faites en coupe transversale, l'indice i

disparaît dans le coefficient de convergence (puisque c'est un β moyen estimé) mais ne disparaît pas de la valeur de l'état stationnaire de la production par tête efficace \hat{y}_i^* . Chaque pays conserve ses caractéristiques propres d'état stationnaire, s_i et n_i .

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé un modèle de croissance exogène dans lequel sont introduits simultanément écarts de technologie et accumulation de capital. Cette modélisation nous a permis d'obtenir plusieurs résultats.

Tout d'abord, à l'état stationnaire, tous les pays rattrapent et convergent en taux. Cependant, ils ne rattrapent et ne convergent pas nécessairement en niveau : il peut persister, à l'état stationnaire, des écarts entre les niveaux de technologie (dus à des potentialités d'accumulation des transferts différentes) et/ou des écarts entre les niveaux de capital par tête efficace (dus à des taux d'épargne différents). L'existence de ces écarts peut conduire à des situations où les USA ne sont plus les leaders en termes de productivité du travail.

En outre, selon les valeurs d'état stationnaire, les mécanismes transitoires de rattrapage et de convergence peuvent être conditionnels ou absolus. Le rapprochement des PIB par tête est lui aussi conditionnel ou absolu. Seul le cas de convergence absolue et de rattrapage absolu conduit à une situation où les PIB par tête d'état stationnaire sont identiques. Par rapport au modèle néoclassique, la présence de convergence absolue n'implique pas nécessairement l'égalisation des PIB par tête. Il peut subsister des écarts à cause de niveaux de technologie différents.

Notre objectif était d'obtenir une équation théorique permettant de dissocier dans l'explication du taux de croissance de la production par tête la convergence et le rattrapage. Nous avons ainsi obtenu l'équation théorique de rapprochement.

Il est maintenant intéressant de déterminer, sur le plan empirique, d'une part la nature de chaque phénomène (conditionnel ou absolu) et d'autre part leur importance dans le rapprochement des PIB par tête. Mais, pour estimer notre équation de rapprochement, il est nécessaire d'avoir une mesure du niveau de la technologie. C'est pourquoi, avant de réaliser notre étude empirique, nous nous interrogeons, dans le chapitre 4, sur la façon dont la technologie peut être mesurée.

Annexes du chapitre 3

A Taux de convergence et taux de rattrapage.

A partir d'un développement de Taylor d'ordre 1 au voisinage du point d'état stationnaire, on obtient l'équation suivante :

$$\gamma_{y_i} = \gamma_{y_i}^* + \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) + \alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*)$$

Afin de déterminer l'expression de γ_{y_i} , on calcule successivement $\gamma_{y_i}^*$, $\frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*)$ et $\alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*)$.

- Calcul de $\gamma_{y_i}^*$: $\gamma_{y_i}^* = \gamma_{A_i}^* + \gamma_{k_i}^* = x + 0 = x$

- Calcul de $\frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*)$ au voisinage du point d'état stationnaire

(SS) :

$$\frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) = (\bar{\delta}_i x (-\varphi) e^{-\varphi \ln \bar{A}_i} + \alpha \bar{\delta}_i x \varphi e^{-\varphi \ln \bar{A}_i})_{SS} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*)$$

$$\frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) = -(1-\alpha) \bar{\delta}_i x \varphi (\bar{\delta}_i)^{\left(\frac{-\varphi}{\varphi}\right)} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) = -(1-\alpha) \varphi x (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*)$$

$$\frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \bar{A}_i} (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) = -(1-\alpha) \varphi x (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*)$$

- Calcul de $\alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*)$ au voisinage du point d'état stationnaire :

$$\alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*) = \alpha \left((1 - \alpha) s_i e^{-(1-\alpha) \ln \hat{k}_i} \right)_{SS} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*)$$

$$\alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*) = -\alpha (1 - \alpha) s_i \frac{x+n_i+\delta}{s_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*)$$

$$\alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*) = -\alpha (1 - \alpha) (x + n_i + \delta) (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*)$$

Etant donné que $\ln \hat{y}_i = \alpha \ln \hat{k}_i^*$, on a :

$$\alpha \frac{\partial \gamma_{y_i}}{\partial \ln \hat{k}_i} (\ln \hat{k}_i - \ln \hat{k}_i^*) = -(1 - \alpha) (x + n_i + \delta) (\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*)$$

En prenant en compte ces trois résultats, on obtient :

$$\gamma_{y_i} = x - \mu_i (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) - \beta_i (\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*)$$

avec $\beta_i = (1 - \alpha) (x + n_i + \delta)$ et $\mu_i = (1 - \alpha) \varphi x$

Chapitre 4

Mesure de la technologie :
des limites de la productivité totale
des facteurs à la construction d'un
indicateur synthétique

Introduction

Les études empiriques portant sur la diffusion de la technologie (Coe et Helpman (1995), Benhabib et Spiegel (1994)) nécessitent l'utilisation d'une mesure de la technologie. Le problème de la mesure de la technologie est évidemment lié en premier lieu au problème de sa définition. Qu'est-ce que la technologie? Certes, des exemples "d'améliorations" technologiques ne manquent pas. Selon la loi de Moore¹, la puissance des micro-processeurs double tous les ans (ou tous les ans et demi) par la progression de la densité des transistors sur un centimètre carré de silicium. Toutefois, la création d'idées n'est pas uniquement limitée au domaine scientifique. Les salles de cinéma multiplexes ou la restauration rapide sont de nouvelles façons de combiner les facteurs de production. Mais si les "améliorations" technologiques sont faciles à illustrer, et même à mesurer par le fameux résidu de Solow, il en est tout autrement du niveau technologique. Ce dont nous avons besoin pour notre étude empirique, ce n'est pas d'une mesure du taux de croissance mais d'une mesure du niveau de technologie.

Dans la théorie de la croissance, le mot "technologie" possède un sens très particulier : c'est la façon dont les ressources sont transformées en production. La technologie est donnée par la fonction de production. Celle-ci représente la

1. du nom d'un des responsables de la société Intel.

façon plus ou moins efficace dont les facteurs de production sont transformés en biens. Au niveau macroéconomique, la technologie constitue la part du produit qui n'est pas explicable par les inputs (Bernard et Jones (1996a)).

Romer (1990) propose une autre définition de la technologie selon laquelle les idées contribuent à l'amélioration de la production. La technologie est alors définie par l'élaboration et la production d'idées. Une idée nouvelle permet, à un ensemble donné de facteurs, de produire en plus grande quantité ou de manière plus efficace. Sur le plan formel, une idée nouvelle se traduit par une augmentation de A dans la fonction de production.

L'objectif de ce chapitre est de déterminer parmi les différentes mesures de la technologie celle qui paraît être la plus satisfaisante, bien qu'il soit très difficile de trancher de façon catégorique. Nous ne retenons que l'aspect macroéconomique de la mesure de la technologie². Cette mesure de la technologie servira de base à l'estimation de notre équation de rapprochement au chapitre 5.

La première section s'intéresse à la notion de productivité totale des facteurs. Il s'agit de la mesure de la technologie la plus fréquemment utilisée, mesure purement théorique qui englobe tous les facteurs autres que le capital et le travail. Cependant, nous verrons que cette définition paraît peu pertinente dans la mesure où beaucoup de facteurs peuvent entrer dans la composition de la productivité totale des facteurs sans pour autant concerner la "technologie" au sens propre.

C'est pourquoi, dans une deuxième section, sont développées d'autres mesures de la technologie. Nous distinguons deux catégories de mesure : d'une part, la technologie assimilée à un apport de connaissances et mesurée par l'activité

2. Pour une vision microéconomique de la technologie, nous pouvons nous référer à Mairesse et Mohnen (1990), Crépon, Duguet et Mairesse (2000).

de recherche et développement (R&D) et d'autre part, la technologie mesurée par l'efficacité du travail. Ces deux visions de la technologie abordent de façon différente la mesure de la technologie. Or, il nous semble que cette mesure doit englober chacun de ces deux aspects.

Ainsi, dans une dernière section, nous construisons un indicateur synthétique de technologie incluant les deux conceptions retenues précédemment.

4.1 Productivité totale des facteurs (PTF) : une mesure imparfaite de la technologie

La PTF est souvent considérée comme une mesure de la technologie et son taux de croissance est associé au progrès technique d'un pays. Plusieurs méthodes ont été développées pour déterminer la PTF. Une première repose sur le calcul du taux de croissance de la PTF. Une seconde, proposée par Hall et Jones (1996b), permet d'obtenir le niveau de la PTF en utilisant la fonction de production néoclassique. Toutefois, quelle que soit l'approche retenue, la PTF souffre de limites qui, par rapport à notre objectif, ne nous permettent pas de la considérer comme un indicateur de technologie pertinent.

4.1.1 Approche en termes de taux de croissance : le résidu de Solow

Dans la littérature, la PTF est généralement déterminée par le calcul d'un taux de croissance et on obtient plus une mesure du progrès technique que du niveau de la technologie³.

Solow (1957) propose une procédure non paramétrique pour obtenir le taux

3. Ce résultat pourrait, malgré tout, permettre de calculer un niveau, grâce par exemple à la méthode de l'inventaire permanent.

de croissance de la PTF⁴. Il suppose pour cela que la production peut être convenablement représentée dans chaque pays par une fonction de production macroéconomique à rendements d'échelle constants et avec un progrès technique neutre au sens de Hicks :

$$Y(t) = A(t)F(K(t), L(t)) \quad (4.1)$$

avec Y le PIB réel, A l'indice de PTF, L l'emploi total et K le stock de capital. Les deux facteurs de production (travail et capital) ont une productivité marginale décroissante et la production croît avec les quantités de facteurs de production et la PTF.

En différenciant l'équation de la fonction de production, le taux de croissance du PIB apparaît en fonction de la contribution de chaque input :

$$\frac{DY}{Y} = \frac{DA}{A} + \frac{\partial Y}{\partial K} \frac{K}{Y} \frac{DK}{K} + \frac{\partial Y}{\partial L} \frac{L}{Y} \frac{DL}{L} \quad (4.2)$$

En théorie, $\frac{\partial Y}{\partial K}$ est la productivité marginale du capital et $\frac{\partial Y}{\partial L}$ la productivité marginale du travail. Les productivités marginales ne sont pas directement observables. C'est pourquoi on se place dans un cadre de concurrence parfaite et d'absence d'externalités de sorte que les facteurs sont rémunérés à leur productivité marginale. Dans ces conditions, les prix réels des inputs correspondent aux productivités marginales : $r = \frac{\partial F}{\partial K}$ et $w = \frac{\partial F}{\partial L}$. De plus, comme les rendements d'échelle sont constants, la somme des revenus des facteurs est égale à la production totale (théorème d'Euler) : $rK + wL = Y$ équivalent à : $\frac{rK}{Y} + \frac{wL}{Y} = 1$. En posant $p_K = \frac{rK}{Y}$ la part du capital dans le PIB et $p_L = \frac{wL}{Y}$ la part du travail dans le PIB, l'équation (4.2) devient :

$$\frac{DA}{A} = \frac{DY}{Y} - p_K \frac{DK}{K} - p_L \frac{DL}{L} \quad (4.3)$$

4. Cette procédure, bien que connue, est reprise ici afin d'en signaler les limites.

Ainsi, on peut calculer le taux de croissance de la PTF, aussi appelé résidu de Solow. C'est, en fait, la part de la croissance du PIB qui n'est pas expliquée par la croissance des inputs capital et travail.

Une des hypothèses fondamentales dans le calcul du résidu de Solow est l'hypothèse selon laquelle les prix des facteurs sont exactement égaux à leur productivité marginale. Si cette hypothèse est fautive, alors la valeur calculée du résidu de Solow s'éloigne de sa valeur réelle. Ainsi, les hypothèses de concurrence parfaite, d'absence d'externalités et de rendements constants sont indispensables pour que la part du capital et du travail dans le PIB puisse servir au calcul du résidu.

Plusieurs illustrations du défaut de cette méthode peuvent être présentées.

Comme le souligne Hall (1988), la présence d'externalités conduit alors à un biais dans les résultats. Considérons, par exemple, la fonction de production suivante (Romer(1986)) qui prend en compte une externalité positive du capital agrégé : $Y_i = AK_i^\alpha K^\beta L_i^{1-\alpha}$. Pour un stock de capital donné K , la fonction de production est à rendements d'échelle constants dans les facteurs privés K_i et L_i (K_i et L_i représentent les inputs privés alors que K correspond au stock de capital de l'économie dans son ensemble⁵).

L'équation de la fonction de production peut encore s'écrire : $Y_i = Ak_i^\alpha k^\beta L_i L^\beta$. A l'équilibre, chaque entreprise utilise le même stock de capital : $k_i = k$ ce qui conduit à : $Y_i = Ak^{\alpha+\beta} L_i L^\beta$ encore équivalent au niveau agrégé à :

$Y = Ak^{\alpha+\beta} L^{1-\beta}$. Finalement, la condition $k = \frac{K}{L}$ conduit à la fonction de pro-

5. Selon les modèles considérés, K_i et K représentent différents inputs. Pour Griliches (1979), K_i correspond au stock de connaissances de l'entreprise i et K au niveau agrégé de connaissances disponibles dans l'industrie. Dans le modèle de Lucas (1988), K_i est le niveau de capital humain de l'entreprise i et K le niveau de capital humain total disponible dans l'industrie.

duction de l'économie : $Y = AK^{\alpha+\beta}L^{1-\alpha}$.

Dans ces conditions, le calcul correct du résidu de Solow est :

$$\frac{DA}{A} = \frac{DY}{Y} - (\alpha + \beta) \frac{DK}{K} - (1 - \alpha) \frac{DL}{L}$$

Il apparaît que l'assimilation $p_K = \alpha$ sous-estime la contribution réelle du capital qui est ici égale à $\alpha + \beta$. Cette sous-estimation s'explique par le fait que la productivité marginale sociale du capital, $(\alpha + \beta) \frac{Y}{K}$ dépasse la productivité marginale privée, $\alpha \frac{Y}{K}$. Dans le cas d'une telle fonction, le calcul du résidu de Solow se révèle difficile car aucune observation directe de β n'est disponible.

Un autre problème se pose aussi, par exemple, lorsqu'il existe plusieurs types d'un même bien. Supposons maintenant que la fonction de production soit la suivante : $Y = F(A, K_1, K_2, L_1, L_2)$. K_1 et K_2 représentent différents types de biens de capital, L_1 et L_2 différents types de travail. La méthode de la comptabilité de la croissance mesurera la contribution du progrès technique à la croissance si chaque facteur est rémunéré à sa productivité marginale. En revanche, si les données ne permettent pas de distinguer les différents types de biens de capital et de travail, selon la méthode élémentaire de Solow, le taux de croissance de la PTF sera incorrectement estimé par :

$$\tilde{g} = \frac{DY}{Y} - \left(\frac{r_1 K_1 + r_2 K_2}{Y} \right) \frac{DK}{K} - \left(\frac{w_1 L_1 + w_2 L_2}{Y} \right) \frac{DL}{L} \quad (4.4)$$

avec $K = K_1 + K_2$ et $L = L_1 + L_2$

En revanche, l'équation (4.5) calcule correctement le taux de croissance de la PTF :

$$\hat{g} = \frac{DY}{Y} - \frac{r_1 K_1}{Y} \frac{DK_1}{K_1} - \frac{r_2 K_2}{Y} \frac{DK_2}{K_2} - \frac{w_1 L_1}{Y} \frac{DL_1}{L_1} - \frac{w_2 L_2}{Y} \frac{DL_2}{L_2} \quad (4.5)$$

Ainsi, si $r_1 \neq r_2$ et si $\frac{DK_1}{K_1} \neq \frac{DK_2}{K_2}$ ou si $w_1 \neq w_2$ et $\frac{DL_1}{L_1} \neq \frac{DL_2}{L_2}$, alors $\tilde{g} \neq \hat{g}$. Dans ce cas, la valeur mesurée du taux de croissance de la PTF est différente de la valeur réelle.

Enfin, un dernier exemple peut être présenté lorsque les rendements d'échelle sont croissants. L'économie est alors dans une situation monopolistique et la concurrence est imparfaite.

Caballero et Lyons (1992) élaborent un modèle avec une fonction de production à rendements d'échelle croissants. Leur but consiste à déterminer, dans un tel cadre, la contribution effective de chacun des facteurs de production. En situation de concurrence parfaite, Caballero et Lyons (1992) montrent que le prix est égal au coût marginal ($p = cm$) de sorte que la contribution du travail est exactement égale à sa rémunération. Mais, en situation de monopole, le prix est supérieur au coût marginal : la contribution du travail à la croissance est supérieure à son poids dans la valeur ajoutée.

La méthode de la comptabilité de la croissance exige donc que certaines hypothèses soient satisfaites. Si ce n'est pas le cas, le résidu de Solow est biaisé. La méthode DEA (*Data Envelopment Analysis*) proposée par Färe, Grosskopf, Norris et Zhang (1994), repose sur un nombre moins important d'hypothèses. Cette méthode de calcul du taux de croissance de la PTF suppose qu'il existe une technologie mondiale commune à toutes les économies considérées, ce qui est conforme à l'idée de progrès technique à la Solow. Il s'agit de reconstituer, à chaque date, une fonction de production comme une enveloppe des observations $(X_i(t), Y_i(t))$ où $X_i(t)$ désigne l'ensemble des inputs et $Y_i(t)$ les outputs. Cela

détermine alors une frontière de production. Le taux de croissance de la PTF est défini par le rapport entre la distance de l'économie à la frontière à la date $t + 1$ et la distance de l'économie à cette même frontière en t . Le principal avantage de cette méthode réside dans sa capacité à prendre en compte toutes les données statistiques sur les inputs et les outputs. Cette idée n'est pas en contradiction avec le modèle de Solow. En revanche, elle ne fait aucune hypothèse a priori que ce soit sur la forme fonctionnelle de la fonction de production ou sur la rémunération des facteurs à leur productivité marginale. Ces deux derniers points répondent bien aux critiques de la méthode de Solow présentées précédemment.

Cependant, même en utilisant cette méthode, il subsiste des limites liées au concept même de PTF. Nous revenons sur ce point par la suite.

4.1.2 Approche par le niveau de la PTF

Hall et Jones (1996b) proposent de déterminer le niveau de la PTF à partir de la fonction de production néoclassique. Ils supposent, pour cela, la fonction de production suivante :

$$Y = K^\alpha (AH)^{1-\alpha} \quad (4.6)$$

où A correspond au niveau de technologie, K au stock de capital et H au travail qualifié (capital humain). Le capital humain est obtenu en consacrant du temps à l'éducation et à la formation. Hall et Jones (1996b) supposent que le travail non qualifié (L) devient qualifié après une période d'apprentissage u (fraction de temps consacrée à l'éducation) selon la relation suivante :

$$H = e^{\phi u} L \quad (4.7)$$

ϕ est une constante égale à 0.10 ce qui implique que chaque année d'enseigne-

ment supplémentaire augmente le salaire de 10% (ce qui correspond aux résultats des études internationales menées sur l'éducation).

Les rendements d'échelle étant constants, la fonction de production peut s'écrire en variables par tête ($y = \frac{Y}{L}$, $k = \frac{K}{L}$ et $h = \frac{H}{L} = e^{\phi u}$) :

$$y = k^\alpha (Ah)^{1-\alpha}$$

Pour obtenir le niveau de technologie, Hall et Jones résolvent cette équation en A :

$$A = \left(\frac{y}{k}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \frac{y}{h} \quad (4.8)$$

A partir de l'équation (4.8), les données disponibles sur le PIB par actif, le capital par actif et le niveau d'éducation (u est mesuré par le nombre moyen d'années d'enseignement de la population active) permettent de calculer A , le niveau de technologie. Le tableau 4.1 présente quelques-uns des pays pour lesquels Hall et Jones ont calculé le niveau A en 1990.

	A		A
USA	100	Singapour	136
Canada	105	Hong-Kong	125
Belgique	111	Corée	74
Pays-Bas	114	Syrie	121
Italie	136	Japon	76
France	128	Inde	30
Allemagne	102	Ghana	25
UK	110	Kenya	16
Espagne	131	Togo	14

TAB. 4.1 – Niveau de technologie en 1990, base 100 aux USA

Les estimations de A révèlent un résultat intéressant : l'estimation de la PTF pour des pays comme la France, Hong-Kong ou Singapour est très élevée et sur-

tout est supérieure à celle des USA. Un pays comme la Syrie posséderait, selon ces calculs, un niveau de PTF et donc de technologie plus élevé que celui des USA ou du Japon. Cela est suffisant pour se convaincre que la PTF ne mesure pas correctement le niveau de technologie d'un pays. Le simple bon sens nous fait dire qu'il est impossible que les Etats-Unis et le Japon ne fassent pas partie des pays technologiquement les plus avancés.

4.1.3 Limites de la PTF

Dans la présentation de l'approche en termes de taux de croissance, nous avons exposé des limites liées à la méthode de calcul.

Les limites développées ici reposent sur le concept même de la productivité totale des facteurs. Quelle que soit l'approche retenue pour calculer la PTF, cette dernière intègre des éléments autres que la technologie à proprement dit. Nous expliquons pourquoi la PTF ne constitue alors pas une bonne mesure de la technologie.

4.1.3.1 Le paradoxe de Solow

Si la PTF constituait une bonne mesure de la technologie d'un pays, alors on devrait assister à une augmentation de son taux de croissance sur les trente dernières années. Ces années sont, en effet, caractérisées par un boom technologique, matérialisé notamment par l'arrivée massive des technologies de l'information. Or, après le choc pétrolier, la croissance de la PTF des pays de l'OCDE s'est ralentie (3% entre 1960 et 1973 contre 0.5% entre 1974 et 1989). Ce phénomène de ralentissement de la croissance de la PTF alors que parallèlement les avancées technologiques sont rapides est appelé paradoxe de Solow :

On peut voir des ordinateurs partout sauf dans les statistiques de la

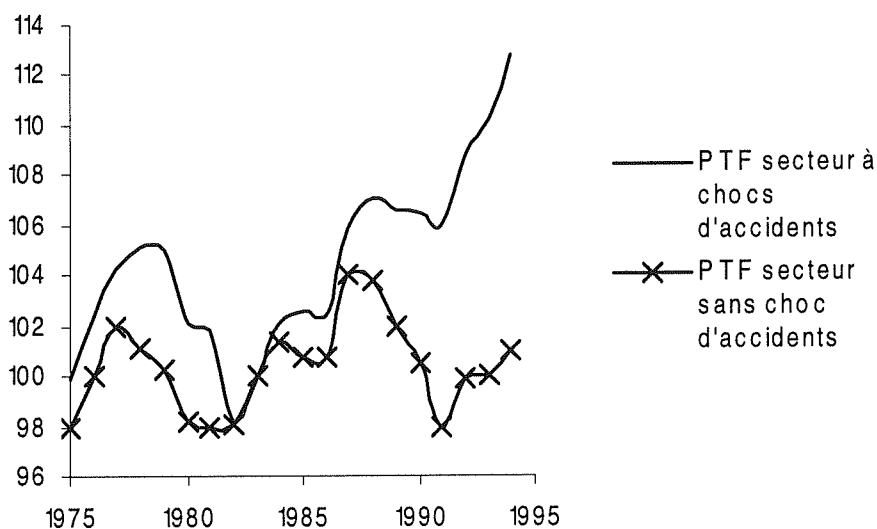
productivité. (Solow 1987)

Un débat cherchant à expliquer ce paradoxe est alors apparu : pourquoi la PTF n'augmente-t-elle pas alors que les avancées technologiques sont importantes (David (1990))?

Un consensus semble aujourd'hui s'établir autour du fait qu'il existe un décalage entre l'apparition de nouvelles technologies et ses effets sur l'économie. Askenazy (1999) explique qu'au niveau microéconomique par exemple, l'accès à l'informatique n'est que l'une des composantes de la productivité. Un autre élément important est l'organisation ou plutôt la réorganisation du travail. En l'absence de réorganisation, l'informatique est un facteur coûteux compte tenu de l'alourdissement des coûts de fabrication et les effets sur la productivité sont négatifs. En revanche, si l'accès à l'informatique s'accompagne d'une réorganisation du travail, alors les entreprises accroissent significativement leur PTF. Cette réorganisation n'est pas immédiate mais est un processus relativement lent. Il est normal qu'il existe un décalage entre l'apparition des nouvelles technologies et ses effets. Bresnahan et al (1999) mettent en évidence que, pour 350 entreprises parmi les 1000 entreprises les plus riches (*1000 Fortune*), les entreprises seulement intensives en technologie de l'information et de la communication (TIC) ou seulement flexibles ont un niveau de PTF similaire à celles qui n'utilisent que peu de TIC ou qui ont des dispositifs peu flexibles. En revanche, en conjuguant les deux (technologie et organisation), ces entreprises présentent une productivité supérieure (figure 4.1⁶).

6. Selon Askenazy (1999), un secteur s'est réorganisé à chocs d'accidents ou plus simplement est à "chocs d'accidents" s'il a connu une année de chocs d'accidents (forte augmentation des accidents du travail) entre 1984 et 1990. Un secteur qui n'a pas connu de chocs d'accidents entre 1984 et 1990 est appelé "sans choc d'accidents".

FIG. 4.1 – Estimation de la PTF de 1976 à 1994, base 100 en 1983



Askenazy (1999) montre que l'informatisation n'est efficace que si elle s'accompagne d'une réorganisation des entreprises. Par exemple, pour un niveau moyen d'investissement en informatique par salarié, la réorganisation assure un gain relatif de croissance de la PTF d'environ un point.

Cependant, pour d'autres auteurs comme Gordon (1999, 2000), la reprise observée depuis le milieu des années quatre-vingt dix (notamment aux USA) ne peut être entièrement expliquée par l'arrivée des nouvelles technologies (en particulier, au niveau de la réorganisation). Certes, l'arrivée des ordinateurs a eu un impact positif sur la croissance de la productivité mais les partisans de la "nouvelle économie" ont tendance à ne retenir que cette explication. Ils considèrent que les bénéfices liés à l'utilisation des ordinateurs sont apparus certes avec du retard mais sont finalement apparus. Mais, d'autres facteurs contribuent à expliquer cette accélération. Parmi ces facteurs, ont été invoqués les chocs macroécono-

miques induits par les modifications importantes et rapides intervenues dans les prix relatifs depuis 1970. Gordon (1999) explique que la reprise observée depuis peu résulterait en partie d'une amélioration de la méthode de calcul de l'indice des prix à la consommation. Sur la période 1996-1999, les améliorations mises en place auraient ainsi permis de réduire l'écart entre inflation mesurée et inflation réelle de 0.65 points par rapport aux taux déterminés avec l'ancienne méthode. Cette diminution de l'écart a alors conduit à augmenter la croissance mesurée de la productivité relativement à la croissance réelle. De plus, Gordon explique que l'accélération de la productivité peut aussi être expliquée par le cycle économique. Entre les périodes 1972-1995 et 1995-1999, on observe une différence de croissance de 1.33 points de pourcentage. Parmi ces 1.33 points de pourcentage, 0.50 points sont expliqués par le cycle contre 0.29 points dus à l'accélération de la PTF dans le secteur des ordinateurs.

Le paradoxe de Solow montre que retenir la PTF comme une mesure de la technologie n'est pas approprié. Mais, ce n'est pas le seul argument que nous pouvons avancer.

4.1.3.2 Hétérogénéité des facteurs explicatifs

Comme nous l'avons déjà souligné, la PTF est souvent considérée comme une mesure du niveau de technologie et son taux de croissance est associé au progrès technique d'un pays.

Mais la PTF, comme son nom l'indique, mesure la productivité *totale* des facteurs. De nombreux éléments sont pris en compte dans cette PTF, éléments qui ne concernent pas la technologie au sens propre. Dans la mesure où la PTF est calculée comme un résidu, c'est-à-dire comme tout ce qui n'est pas expliqué

par le capital et le travail, bon nombre de facteurs qui expliquent les productions nationales tels que les moeurs, la religion, le climat, les ressources naturelles, la santé, la démocratie..., sans être pour autant à proprement parler des facteurs "technologiques", sont pris en compte dans ce résidu.

Pour illustrer l'idée selon laquelle la PTF représente plus que la technologie, intéressons-nous au cas des Etats-Unis.

Nous avons, en effet, assisté à un ralentissement de la PTF aux Etats-Unis alors que dans le même temps le leadership américain s'est affirmé. Le tableau 4.2 montre l'évolution de la PTF calculée à partir des travaux de Jones (1997). Il ressort de ce tableau que les USA, depuis environ 30 ans, ne possèdent pas la valeur de A la plus élevée. Comme concluent Hall et Jones (1996b), cette mesure doit donc bien être considérée comme un indicateur de productivité *totale* des facteurs plutôt que comme un indicateur exclusif du niveau de technologie si nous voulons conserver l'idée d'un leadership technologique américain.

	1970	1980	1985
Italie	12415	15361	14332
France	14596	14221	13155
USA	12391	10263	10949
Japon	6372	6323	6802
Argentine	10858	11023	8403
Hong Kong	4955	7603	9140
Corée du Sud	2913	3713	4437

TAB. 4.2 – Calcul de A

La PTF est donc un indicateur imparfait de la technologie, du leadership technologique et de la hiérarchie des pays. Certes, il y a de la technologie dans la PTF mais la présence d'autres facteurs vient minimiser son rôle.

Nous pouvons alors proposer une autre mesure de la technologie, mesure au contenu moins "hétérogène" que la PTF. Selon notre idée de départ, la technologie est un bien public caractérisé avant tout par sa propriété de diffusion internationale. Or, parmi tous les facteurs cités précédemment, certains sont transférables d'un pays à l'autre alors que d'autres ne le sont pas. Par exemple, le climat ou les ressources naturelles sont des facteurs propres à un pays et ne peuvent faire l'objet d'échanges et de rattrapage. En revanche, la santé ou la démocratie peuvent être "copiées" par un pays et constituent donc un facteur transférable. Une mesure correcte de la technologie, selon notre approche, consisterait ainsi à intégrer dans une même variable tout ce qui peut faire l'objet de transferts entre pays. Le problème est alors que la mesure de ces variables (espérance de vie, mortalité infantile, indicateur de gouvernance) ne discrimine pas suffisamment les pays entre eux, notamment les pays de l'OCDE pour lesquels toutes ces variables sont quasiment identiques. Or, dans les faits, les écarts technologiques entre ces pays sont relativement importants. C'est pourquoi nous abandonnons l'idée de mesurer la technologie par des facteurs transférables.

En résumé, non seulement la PTF est un indicateur imparfait du leadership technologique mais elle prend en compte beaucoup d'autres facteurs que la technologie proprement dite, de sorte qu'elle ne constitue pas une mesure convenable de la technologie. Il est donc plus judicieux de se concentrer sur une mesure

directe de la technologie.

Aussi, nous nous intéressons, dans la section suivante, à des indicateurs directs du niveau technologique d'un pays.

4.2 Autres définitions de la technologie

Nous présentons ici deux autres manières de mesurer la technologie. La première consiste à définir la technologie comme apport de connaissances, d'idées (Romer (1990)). La seconde possibilité mesure la technologie par l'efficacité du travail.

4.2.1 Technologie et apport de connaissances

Dans cette optique, la technologie est assimilée à l'activité de recherche et développement et elle est mesurée selon deux familles d'indicateurs. Une première regroupe les indicateurs qui mesurent la technologie comme production d'idées (outputs). Une seconde mesure la technologie comme élaboration des idées (inputs).

4.2.1.1 La technologie mesurée par les outputs

Les indicateurs présentés ici mesurent la production d'idées. Ils donnent des renseignements sur les résultats de la R&D.

La production scientifique: les publications. Une des productions de la recherche est la publication d'articles dans des revues scientifiques. Le dénombrement et l'analyse quantitative d'éléments de ces articles, tels que les répertorient les bases bibliographiques internationales, permettent de mesurer les tendances de la production scientifique. Les publications scientifiques sont, pour l'essen-

tiel, une production des laboratoires de la recherche académique ou des instituts publics, plus rarement de firmes industrielles.

Les indicateurs établis par l'Observatoire des Sciences et Techniques (OST) montrent que la part de la production scientifique française dans le monde est en augmentation, la part dans les publications des pays de l'Union Européenne étant stable depuis 1990. Au niveau mondial, le tableau 4.3 fait apparaître deux pôles : l'Amérique du Nord (Canada et Etats-Unis) et l'Europe, qui représentent, à eux deux, près des trois quarts de la production scientifique mondiale.

	part / monde		densité / PIB
	1990	1997	1997
Europe	34.2	37.5	165
CEI	7.2	3.7	125
Sud Méditerranée	1.5	1.9	51
Afrique sub-saharienne	1.0	0.7	29
Amérique du Nord	39.8	36.6	163
Amérique Latine	1.4	1.8	21
Asie industrielle	8.5	10.8	69
Chine	1.2	2.0	16
Inde	2.1	1.9	47
Autres Asie	0.5	0.5	13
Océanie	2.7	2.8	215

TAB. 4.3 – *Production scientifique en part mondiale et densité par rapport au PIB (OST (2000))*

Lorsqu'on rapporte le nombre de publications scientifiques des zones du monde à leur PIB, l'Océanie, l'Amérique du Nord et l'Europe apparaissent les plus tournées vers la science.

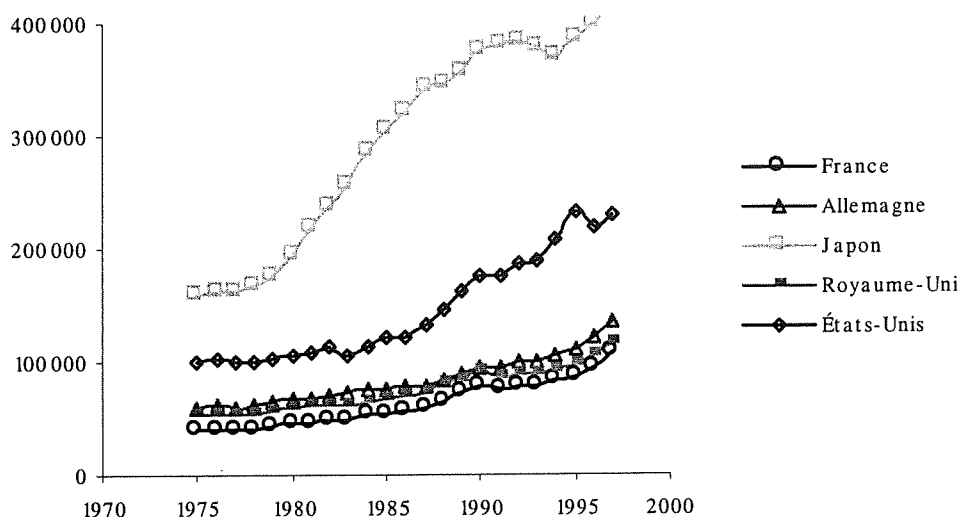
Mais cet indicateur de production scientifique pose des problèmes. La sélection des publications n'apporte pas de garantie totale quant à la représentativité de la base. Les publications ne représentent pas des données fiables (problèmes dans la

sélection des journaux, sur-représentation des publications anglo-saxonnes). Elles ne sont quasiment jamais utilisées comme indicateur de technologie.

La production technologique : les brevets. Les brevets constituent un moyen de recenser la production d'idées nouvelles. Les statistiques sur les brevets fournissent une mesure de la production technologique.

Quels que soient les pays de l'OCDE considérés, le nombre de brevets déposés n'a cessé d'augmenter depuis le milieu des années 1970 (figure 4.2).

FIG. 4.2 – *Nombre de brevets nationaux déposés*



Sur le plan empirique, Artus et Kaabi (1991) montrent que, sur la période 1980-1989 pour les 21 plus grands pays de l'OCDE, la R&D, quand elle est mesurée par le nombre de brevets, a une influence significative sur le taux de croissance du PNB en volume. Toutefois, il faut interpréter avec prudence les résultats portant sur les brevets car leur utilisation pose des problèmes liés à la définition même d'un brevet.

En effet, compte tenu sa définition, le brevet est un indicateur imparfait de la

production technologique. C'est un document juridique qui décrit une invention et qui confère à son propriétaire le monopole d'exploitation de l'investissement pour une période donnée qui varie selon les pays. Plusieurs aspects relativisent le brevet comme mesure de la technologie : tout d'abord, un brevet donne le même poids à toutes les innovations ; deuxièmement, toutes les innovations ne sont pas brevetées ; troisièmement, une innovation peut donner lieu à plusieurs brevets ; les inventions brevetées ne sont pas équivalentes vis-à-vis de leur intérêt technologique ; enfin, les dépôts de brevets s'expliquent autant par des raisons institutionnelles que par la création de technologie. Ainsi, par exemple, aux Etats-Unis, la protection est beaucoup plus importante qu'au Japon. Le contenu d'une demande n'est pas rendu public avant que le brevet ait été accordé, soit environ cinq ans après (dans la plupart des autres pays, la publication intervient 18 mois après son dépôt). Au Japon, à l'inverse des Etats-Unis, l'exigence de nouveauté est faible et chaque brevet couvre un champ très étroit de sorte qu'il est généralement nécessaire de déposer un grand nombre de brevets pour protéger les divers aspects d'une même innovation.

De plus, le brevet n'est en réalité qu'une protection peu utilisée. En France, en 1991, seulement 10% des entreprises innovantes considèrent le brevet comme une source importante d'innovations. Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer cet intérêt apparemment faible. D'une part, le brevet n'est pas la seule voie d'appropriation technologique et d'autre part il présente des déficiences dans son rôle de protection et d'appropriation des bénéfices technologiques. Les résultats d'une enquête américaine sur l'appropriation technologique permettent de hiérarchiser les modes d'appropriation en fonction de leur efficacité. Le brevet se révèle, dans la majorité des industries américaines, un moyen de protection

peu performant.

La mesure de la production technologique par les outputs que sont les articles et les brevets semble donc être soumise à des biais et retenir un tel indicateur comme mesure de la technologie paraît incorrect.

4.2.1.2 La technologie mesurée par les inputs

Les indicateurs qui mesurent la technologie à partir de l'élaboration d'idées (inputs) sont des indicateurs qui rendent compte des ressources que l'économie alloue à la production d'idées. Nous distinguons deux types de ressources : les ressources humaines, qui correspondent au potentiel humain, et les ressources financières.

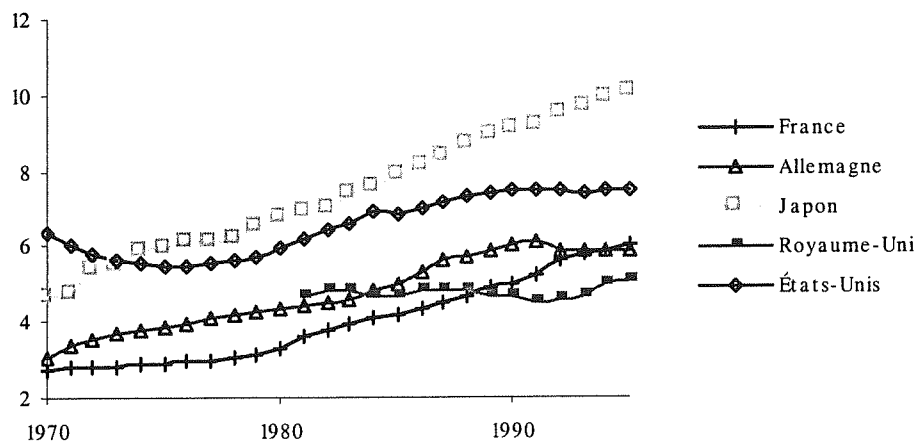
Ressources en capital humain. Lorsque la technologie est mesurée à partir de l'effort en capital humain, l'indicateur le plus fréquemment utilisé est le nombre de chercheurs par milliers d'actifs présents dans le pays.

Selon l'UNESCO, sont considérés comme chercheurs "les spécialistes travaillant à la conception ou à la création de connaissances, de produits, de procédés, de méthodes et de systèmes, et dans la planification et la gestion de projets de R&D. Les étudiants diplômés ayant des activités de R&D sont également considérés comme des chercheurs".

Il ressort de la figure 4.3⁷ que les pays effectuent un réel effort d'investissement en personnel. La France est passée de 2.73 chercheurs par milliers d'actifs en 1970 à 6 en 1995. Le Japon connaît aussi une forte progression passant de 4.7 en 1970 à 10.1 en 1995.

7. Les données utilisées pour construire cette figure sont extraites de la base des principaux indicateurs de Science et Technologie de l'OCDE (2000).

FIG. 4.3 – Evolution du nombre de chercheurs par milliers d'actifs depuis 1970



Une autre variable est aussi utilisée : il s'agit du nombre de scientifiques et d'ingénieurs engagés dans la R&D (rapporté à la population totale ou à la population active). Cela comprend "toute personne ayant reçu une formation scientifique ou technique" (études du troisième degré complètes jusqu'à l'obtention d'un grade universitaire, ou bien des études non universitaires du troisième degré ne conduisant pas à l'obtention d'un grade universitaire).

A côté du nombre de chercheurs et du nombre de scientifiques et d'ingénieurs, les ressources en capital humain peuvent aussi être évaluées à partir de variables d'éducation. Les taux de scolarisation primaire et secondaire permettent généralement d'apprécier la capacité de développement d'un pays (Barro et Sala I Martin (1995b)). Nous pouvons, en revanche, considérer que les variables relatives à l'enseignement supérieur permettent d'apprécier la capacité technologique du pays. Ainsi, nous pouvons utiliser comme variable d'investissement en capital humain le nombre d'inscrits dans les établissements d'enseignement supérieur.

Bien que cette variable soit disponible pour de nombreux pays et depuis le début des années 1970, elle nous semble un peu "large" pour être considérée comme un indicateur de la technologie.

Le nombre de diplômés du second niveau de l'enseignement supérieur (conduisant à un grade universitaire supérieur) en pourcentage du nombre total de diplômés apparaît plus approprié. Il ne prend en compte que les diplômés et non les étudiants inscrits et concerne seulement la part des diplômés qui possèdent un diplôme de troisième cycle. Dans le tableau 4.4, nous présentons la répartition totale des diplômés selon la Classification Internationale Type de l'Education (CITE)⁸. Il est intéressant de constater que, dans la plupart des pays en développement, en 1995, c'est la part des diplômés dans la CITE 5 qui est la plus importante. En ce qui concerne le pourcentage des diplômés dans la CITE 7, il existe des écarts importants selon les pays considérés (0% en Algérie contre 21.1% aux USA en 1995).

8. La Classification Internationale Type de l'Education (CITE) classe par catégorie les niveaux d'instruction. La CITE 5 correspond au premier niveau de l'enseignement supérieur conduisant à un titre n'équivalent pas à un premier grade universitaire, la CITE 6 au premier niveau de l'enseignement supérieur conduisant à un premier grade universitaire et la CITE 7 au second niveau de l'enseignement supérieur conduisant à un grade universitaire supérieur.

	CITE 5	CITE 6	CITE 7
USA	31.6	47.3	21.1
Canada	60.3	33.2	6.5
Allemagne	29.6	63.6	6.8
Royaume-Uni	19.1	56.6	24.3
Espagne	7.3	89.5	3.2
Uruguay	39.8	60.2	0.0
Chine	63.9	33.4	2.7
Japon	48.9	46.1	5.0
Corée	41.1	50.1	8.8
Algérie	23.1	76.9	0.0
Ethiopie	63.9	32.8	3.3
Afrique du Sud	62.6	22.1	15.3

TAB. 4.4 – *Pourcentage de diplômés par niveau de CITE en 1995*

Ainsi, parmi les différentes variables présentées, deux retiendront notre attention pour la réalisation de notre étude empirique. Le nombre de scientifiques et d'ingénieurs présente l'avantage d'être disponible pour de nombreux pays et depuis le début des années soixante-dix. Le nombre de chercheurs par milliers d'actifs est aussi intéressant mais n'est disponible pour un grand nombre de pays qu'à partir de 1981. Ces données sont alors trop récentes pour faire une étude de long terme. En revanche, cet indicateur est intéressant pour une étude sur les pays de l'OCDE puisque l'OCDE fournit des données à partir de 1965.

Ressources financières. Différents indicateurs peuvent être utilisés pour mesurer la technologie à partir des ressources financières.

Nous pouvons, par exemple, mesurer les montants que les pouvoirs publics consacrent à la R&D. Une première mesure (la plus précise) correspond à la dépense intérieure brute de R&D financée par l'Etat. Une seconde permet de mesurer le financement public de la R&D qui repose sur les données extraites du budget : ces données sont désignées sous le terme de Crédits Budgétaires Publics

de R&D. Ces deux indicateurs présentent, toutefois, l'inconvénient de n'être disponibles que pour les pays de l'OCDE (et pour une période relativement récente).

Joly (1993) calcule un stock de capital de R&D, à partir de la méthode de l'inventaire perpétuel : $KR_t = TN_t + (1 - \delta)KR_{t-1}$. KR représente le capital de R&D à chaque période, TN le flux de technologie nouvelle calculé comme la somme pondérée des dépenses passées et δ le taux de déclassement. Le tableau 4.5 présente les taux de croissance du stock de capital de R&D selon le taux de déclassement choisi (les évolutions estimées du stock sont relativement peu sensibles au taux choisi).

	$\delta=0.10$	$\delta=0.15$	$\delta=0.20$
USA	6.6	6.2	5.9
Japon	15.4	15.3	15.1
Allemagne	11.5	11.2	10.9
France	11.6	11.3	10.9

TAB. 4.5 – *Taux de croissance du stock de R&D selon le taux de déclassement*

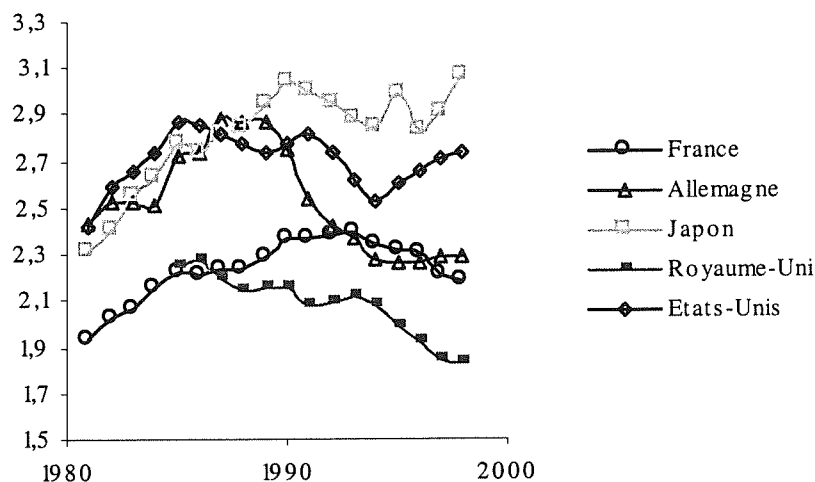
Cette approche est cependant limitée par le manque de données. Là encore, seules des données pour quelques pays de l'OCDE sont disponibles.

En fait, l'indicateur principalement utilisé, et que nous retiendrons, est donné par les dépenses de R&D et plus particulièrement par le taux d'effort national de R&D mesuré comme le ratio dépenses intérieures brutes de R&D (DIRD) sur PIB. La DIRD est la dépense totale intra-muros afférente aux travaux de R&D exécutés sur le territoire national pour une période donnée, quelle que soit leur source de financement (y compris l'étranger).

Contrairement à l'investissement en personnel (où pour les pays étudiés l'investissement ne cesse d'augmenter), l'investissement financier connaît une évo-

lution différente selon les pays (figure 4.4). Ainsi, le taux d'effort national de R&D du Royaume-Uni est de plus en plus faible alors que parallèlement le Japon investit de plus en plus dans la R&D.

FIG. 4.4 – *Taux d'effort national*



Ainsi, il existe bon nombre de variables qui mesurent le niveau de technologie à partir de la R&D et chacune de ces variables fournit une information pertinente et différente.

4.2.2 Technologie et efficacité du travail

Une seconde manière de mesurer le niveau de technologie repose sur l'efficacité du travail.

De nombreux auteurs mettent, en effet, en évidence le lien entre technologie et efficacité du travail.

Sur le plan microéconomique, Pavitt et Soete (1982), Mairesse et Mohnen (1990), Askenazy (1999) montrent la forte corrélation qui existe entre productivité du travail et mesures de l'activité technologique (indicateurs de R&D).

Même s'il faut prendre avec précaution la généralisation à un niveau macroéconomique des mécanismes à l'oeuvre sur le plan microéconomique, différentes études macroéconomiques (Fagerberg (1987, 1994), Barro et Sala I Martin (1995b)) mettent aussi en évidence le lien entre le niveau de technologie et l'efficacité du travail. Fagerberg (1987, 1994) montre que le sentier d'évolution de la productivité est analogue à celui du niveau de la R&D mesurée par les brevets. Il conclut que les écarts de productivité du travail entre pays reflètent dans une large proportion les écarts technologiques.

Sur la base des résultats microéconomiques et macroéconomiques montrant le lien entre technologie et efficacité du travail, nous retenons, comme De La Fuente (1995) et Desdoigts (2000), la productivité du travail mesurée par le PIB par travailleur comme autre mesure de la technologie.

En résumé, nous avons montré qu'il existe bon nombre de variables qui mesurent le niveau de technologie. Chacune de ces variables fournissant une information pertinente et différente, elles apparaissent comme des mesures complémentaires les unes des autres. Mais, pourquoi, alors, retenir l'une ou l'autre des variables comme mesure de la technologie? La contrainte de disponibilité des données nous amène à ne retenir que les indicateurs de ressources en capital humain, de ressources financières investies en R&D et d'efficacité du travail, et à les regrouper dans un indicateur synthétique qui deviendra notre mesure de la technologie.

4.3 Elaboration d'un indicateur synthétique de technologie

Le Programme des Nations Unies pour le Développement fournit, dans son dernier rapport mondial, une mesure du développement technologique. Par rapport à notre problématique, il ne correspond pas à une mesure du niveau de technologie. Mais, nous retenons la méthode de construction de cet indicateur pour élaborer notre propre indicateur synthétique de technologie.

4.3.1 Indicateur de développement technologique

Dans le rapport mondial sur le développement humain paru en 2001, le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) construit un indicateur de développement technologique (IDT). Cet indicateur synthétique fournit "un instantané des progrès moyens de chaque pays sur les plans de la conception et de la diffusion des technologies, ainsi que sur l'acquisition des ressources humaines nécessaires à la maîtrise des innovations". Il est calculé sur la base de quatre composantes : (i) les innovations technologiques (mesurées par le nombre de brevets par habitant et par les redevances et les droits de licence reçus de l'étranger), (ii) la diffusion des technologies récentes (mesurée par le nombre d'ordinateurs reliés à internet par habitant et par la part des exportations de produits à contenu technologique intermédiaire ou élevé dans le total des exportations de marchandises), (iii) la diffusion des technologies anciennes (mesurée par le nombre de lignes de téléphone par habitant et par la consommation d'électricité par habitant), (iv) les compétences humaines (mesurées par la moyenne de la scolarité de la population de 15 ans et plus et par le taux brut d'inscription dans les filières scientifiques du supérieur). Ces quatre variables sont transformées en indice. Chaque indice est

calculé à partir des données de chaque variable en rapportant l'écart entre la valeur observée du pays et une valeur minimale à l'écart entre une valeur maximale et cette même valeur minimale. Les valeurs minimale et maximale sont fixées de telle sorte que la totalité des observations soit incluse dans cet intervalle. Ces indices sont donc compris entre 0 et 1.

L'IDT est alors calculé comme la moyenne arithmétique de l'indice d'innovation technologique (I), de l'indice de diffusion de technologies récentes (TR), de l'indice de diffusion de technologies anciennes (TA) et de l'indice des compétences humaines (C) :

$$IDT = \frac{I + TR + TA + C}{4} \quad (4.9)$$

Etant donné sa construction, l'IDT est toujours compris entre 0 et 1.

Même si la méthode de calcul utilisée reste élémentaire, l'avantage principal de cette méthode repose sur la possibilité de pouvoir combiner dans un même indicateur des variables qui ne sont pas exprimées dans la même mesure. Cependant, cet indicateur ne correspond pas exactement à notre objectif. En effet, il ne mesure pas le niveau de technologie mais plutôt la capacité d'un pays à participer à l'ère des réseaux. De plus, compte tenu des variables qui entrent dans le calcul, l'IDT ne peut être obtenu que pour des années récentes.

Nous décidons, toutefois, de garder le principe de la construction mais en faisant intervenir des variables qui, de notre point de vue, mesurent le niveau de technologie d'un pays.

4.3.2 L'indicateur synthétique de technologie

En utilisant la méthode de calcul de l'IDT, la construction de notre indicateur de technologie se déroule en trois étapes.

4.3.2.1 Choix des variables

Nous déterminons ici les différentes variables qui entrent dans la composition de cet indicateur.

La mesure de la production des connaissances n'est pas retenue pour les raisons évoquées précédemment. Notre indicateur synthétique est calculé sur la base de trois composantes : ressources humaines, ressources financières et efficacité du travail.

Nous établissons l'indicateur de technologie pour deux échantillons différents : OCDE et MONDE. Selon l'échantillon retenu, le manque de disponibilité des données (cf paragraphe 4.2.1.2) engendre des différences sur les mesures du capital humain et du capital physique :

- pour les pays de l'OCDE, l'indicateur de technologie *ITOCDE* est composé du nombre de **chercheurs** pour 10000 actifs, des **dépenses de R&D en pourcentage du PIB** et du **PIB par travailleur**. Il est calculé pour 19 pays à partir de 1965.
- pour l'échantillon MONDE, l'indicateur construit, *ITMONDE*, est différent. En effet, nous ne disposons pas, pour ces pays, des données sur le nombre de chercheurs et sur les dépenses de R&D en pourcentage du PIB. En revanche, dans l'Annuaire Statistique de l'UNESCO (1973), le nombre de scientifiques et d'ingénieurs et les dépenses de R&D en pourcentage du

PNB sont disponibles. *ITMONDE* est donc composé du nombre de **scientifiques et d'ingénieurs** engagés dans la R&D pour 10000 actifs, des **dépenses de R&D en pourcentage du PNB** et du **PIB par travailleur**. Cet indicateur est calculé pour 40 pays à partir de 1970.

Les différentes données utilisées sont extraites de la base des principaux indicateurs de Science et Technologie publiée par l'OCDE (2000) et de l'Annuaire Statistique de l'UNESCO (1973). Le PIB par travailleur est issu de la Penn World Table 5.6 (Summers et Heston (1996)).

4.3.2.2 Calcul des indices

Pour éliminer les différences d'unités de mesure et d'échelle entre les trois composantes de l'indicateur, nous calculons un indice associé aux différentes composantes de l'indicateur. Pour cela, des valeurs minimales et maximales sont fixées, déterminant ainsi un intervalle dans lequel toutes les données de chaque composante sont incluses. La borne minimale et la borne maximale correspondent respectivement au minimum et au maximum observés à la date initiale pour chaque variable de l'échantillon. L'indice de chaque composante est donné par la formule suivante :

$$\frac{\text{valeur observée du pays } i \text{ à la date } t - \text{valeur minimale à la date } t_0}{\text{valeur maximale à la date } t_0 - \text{valeur minimale à la date } t_0}$$

t correspond à la date pour laquelle l'indice est calculé et t_0 à la date initiale d'étude, c'est-à-dire 1965 pour les pays de l'OCDE et 1970 pour l'échantillon MONDE. Comme les bornes minimale et maximale correspondent aux valeurs minimale et maximale observées en 1965, l'indicateur de technologie peut prendre,

pour des dates supérieures à la date initiale, une valeur supérieure à 1. En effet, afin de pouvoir étudier l'évolution dans le temps de l'indicateur et de faire des comparaisons entre pays, il est nécessaire que les bornes soient les mêmes à chaque date.

Illustrons ce calcul par deux exemples :

- OCDE : calculons par exemple les indices de la France en 1965 : D correspond à l'indice des dépenses de R&D en % du PIB, C à l'indice des chercheurs pour 10000 actifs et P à l'indice du PIB par travailleur.

$$D = \frac{1.940 - 0.185}{2.67 - 0.185} = 0.706 \quad C = \frac{24.65 - 1.5}{65.33 - 1.5} = 0.362$$

$$P = \frac{\ln(15224) - \ln(5505)}{\ln(25818) - \ln(5505)} = 0.658$$

- MONDE : calculons par exemple les indices de l'Algérie en 1970 : S à l'indice des scientifiques et ingénieurs pour 10000 actifs.

$$S = \frac{0.35 - 0.04}{43.33 - 0.04} = 0.007 \quad D = \frac{0.3 - 0}{2.6 - 0} = 0.115$$

$$P = \frac{\ln(7496) - \ln(1186)}{\ln(29645) - \ln(1186)} = 0.573$$

Nous procédons ainsi pour l'ensemble des pays de chaque échantillon. Tous les calculs sont présentés dans l'annexe 5.A.

4.3.2.3 Calcul de l'indicateur synthétique

La dernière étape consiste à faire la moyenne arithmétique des trois indices pour obtenir la valeur de l'indicateur synthétique de technologie de chaque pays.

Pour les pays de l'OCDE, $ITOCDE$ est donné par :

$$ITOCDE = \frac{C + D + P}{3} \tag{4.10}$$

Le tableau 4.6 présente l'indicateur de technologie des pays de l'OCDE en 1965 et 1990. En 1990, la hiérarchie obtenue correspond à ce que la simple intuition donnerait. Le Japon et les USA sont leaders et des pays comme la France ou l'Allemagne font partie des pays les plus performants.

	ITOCDE		classement	
	1965	1990	1965	1990
Australie	0.587	0.772	4	12
Autriche	0.263	0.628	16	16
Belgique	0.473	0.788	9	11
Canada	0.498	0.795	8	10
Danemark	0.418	0.713	10	13
Finlande	0.329	0.853	13	7
France	0.575	0.915	5	5
Allemagne	0.568	1.012	6	4
Irlande	0.296	0.588	15	17
Islande	0.216	0.695	17	14
Italie	0.305	0.679	14	15
Japon	0.406	1.155	12	1
Pays-Bas	0.631	0.839	3	9
Norvège	0.411	0.860	11	6
Portugal	0.005	0.340	19	19
Espagne	0.149	0.550	18	18
Suède	0.508	1.013	7	3
Royaume-Uni	0.739	0.844	2	8
USA	1.000	1.136	1	2

TAB. 4.6 – *Indicateur de technologie et classement des pays de l'OCDE en 1965 et 1990*

Par ailleurs, sur la période 1965-1990, nous pouvons noter la forte progression du Japon qui passe du 12^{ème} rang en 1965 au 1^{er} en 1990. Cette évolution s'explique principalement par une augmentation des indices du nombre de chercheurs et du PIB par travailleur⁹. Ce sont ces mêmes variables qui ont permis à des pays

9. C'est d'ailleurs le faible niveau de son PIB par travailleur en 1965 qui relativise les performances du Japon en termes de dépenses et de chercheurs.

comme la Suède et la Finlande de connaître aussi une importante progression¹⁰. En revanche, le Royaume-Uni, les Pays-Bas et l'Australie ont reculé dans le classement à cause de la faiblesse des efforts effectués en termes de chercheurs et de productivité du travail.

Pour l'échantillon MONDE, $ITMONDE$ est donné par :

$$ITMONDE = \frac{S + D + P}{3} \quad (4.11)$$

Le tableau 4.7 présente les résultats obtenus pour les années 1970 et 1990¹¹.

10. Le tableau 4.B1 en annexe présente l'évolution de ces indices.

11. Les tirets signifient que, pour 1990, l'absence d'une ou plusieurs données empêche le calcul de l'indicateur de technologie pour certains pays. Ces pays ont alors été exclus du classement de façon à ne pas perturber le classement des autres pays.

	ITMONDE		classement			ITMONDE		classement	
	1970	1990	1970	1990		1970	1990	1970	1990
Algérie	0.232	-	-	-	Italie	0.466	0.652	14	17
Argentine	0.322	-	-	-	Japon	0.790	1.278	3	1
Australie	0.625	0.800	8	10	Kenya	0.133	-	-	-
Autriche	0.422	0.672	15	15	Corée	0.180	0.667	23	16
Belgique	0.585	0.752	11	14	Madagascar	0.186	-	-	-
Bolivie	0.165	-	-	-	Mexique	0.389	-	-	-
Canada	0.591	0.799	9	11	Pays-Bas	0.812	0.893	2	7
Chili	0.316	-	-	-	Togo	0.200	0.141	20	24
Côte d'Ivoire	0.152	-	-	-	Nigéria	0.101	-	-	-
Danemark	0.550	0.787	12	12	Norvège	0.587	0.958	10	4
Finlande	0.485	0.830	13	9	Pakistan	0.138	-	-	-
France	0.662	0.896	6	6	Singapour	0.246	0.564	19	19
Allemagne	0.707	0.954	4	5	Espagne	0.306	0.528	18	20
Ghana	0.224	-	-	-	Suède	0.637	1.074	7	3
Guatemala	0.180	0.225	22	22	Turquie	0.196	0.265	21	21
Islande	0.394	0.768	17	13	R.Uni	0.683	0.872	5	8
Inde	0.106	0.216	24	23	USA	0.989	1.145	1	2
Iran	0.336	-	-	-	Uruguay	0.330	-	-	-
Irak	0.302	-	-	-	Zambie	0.127	-	-	-
Irlande	0.422	0.583	16	18	Israël	0.543	-	-	-

TAB. 4.7 – Indicateur de technologie et classement pour l'échantillon MONDE en 1970 et 1990

C'est la Corée qui affiche la plus forte progression, ce qui s'explique essentiellement par l'accroissement de toutes les variables introduites dans l'indicateur technologique. Par ailleurs, Singapour présente une évolution moins spectaculaire mais il faut souligner que les conditions initiales de ce pays lui étaient moins défavorables (en particulier, son PIB par travailleur était en 1965 quasiment deux fois plus élevé que celui de la Corée). D'autres pays présentent au contraire un recul dans le classement : Irlande, Belgique, Italie, Togo. Pour ce dernier, les indices qui étaient initialement très faibles n'ont que peu augmenté sur la période. Pour la Belgique, l'Irlande et l'Italie, la faible augmentation du PIB par travailleur explique principalement leur recul. Il faut aussi souligner que l'Italie et l'Espagne

ont été dépassées par des pays comme la Corée ou l'Autriche.

Les séries obtenues pour chaque échantillon vont nous servir à représenter la variable d'écart technologique dans l'estimation de l'équation de rapprochement.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était de déterminer une mesure de la technologie. Après avoir présenté différentes approches de calcul de la PTF, nous avons mis en évidence que cette PTF est un indicateur imparfait de la technologie. Elle intègre, en effet, beaucoup d'autres facteurs que la technologie elle-même. Les idées de combinaison de facteurs, d'organisation de la production, d'organisation sociale, le climat, la démocratie ... sont des facteurs qui interviennent dans la PTF.

Ainsi, nous nous sommes tournés vers d'autres indicateurs et notamment vers des indicateurs assimilant la technologie à l'activité de recherche et développement. Plusieurs mesures sont disponibles : nombre de chercheurs par milliers d'actifs, nombre de scientifiques et d'ingénieurs, dépenses de R&D, nombre de brevets ou de publications..., chaque indicateur portant sur un aspect particulier de la mesure de la technologie. Tous ces indicateurs renseignent sur le niveau de technologie lorsque celle-ci est considérée comme apport de connaissances (Romer (1990)). A côté de cette définition, un autre aspect de la technologie a aussi été développé. Nous avons retenu le PIB par travailleur comme mesure de la technologie. Compte tenu de toutes les variables disponibles, prendre un indicateur plutôt qu'un autre nous est apparu restrictif dans la mesure où ils fournissent tous une information pertinente et importante.

Pour ces raisons, nous avons choisi de construire un indicateur synthétique. Cet indicateur prend en compte différents aspects de la technologie et est calculé sur la base de trois composantes: les ressources financières, les ressources humaines et l'efficacité du travail. Etant donné sa construction, notre indicateur synthétique de technologie permet, quelle que soit la date à laquelle il est calculé, de hiérarchiser les pays entre eux.

Disposant maintenant d'une variable mesurant le niveau de technologie d'un pays, nous procédons, dans le cinquième chapitre, à une estimation économétrique de l'équation de rapprochement.

Annexes du chapitre 4

A Construction de l'indicateur synthétique de technologie

Le tableau 4.A1 présente le calcul de l'indicateur de technologie pour les pays de l'OCDE. Cet indicateur est composé du nombre de chercheurs pour 10000 d'actifs, des dépenses de R&D en pourcentage du PIB et du PIB par travailleur. Il est calculé pour 19 pays.

Le tableau 4.A2 présente le calcul de l'indicateur de technologie de l'échantillon MONDE. Cet indicateur est composé du nombre de scientifiques et d'ingénieurs par 10000 d'actifs, des dépenses de R&D en pourcentage du PNB et du PIB par travailleur.

Tab 4.A1: ITOCDE :

Moyenne arithmétique des indices des chercheurs pour 10000 d'actifs, de la
DIRD en % du PIB et du PIB par travailleur

pays	cher	dep	PIB trav	C	D	P	ITOCDE
				$\frac{(...-1.5)}{(65.33-1.5)}$	$\frac{(...-0.185)}{(2.67-0.185)}$	$\frac{\ln(...)-\ln 5505}{\ln 25818-\ln 5505}$	$\frac{C+D+P}{3}$
Australie	34.00	1.220	20080	0.509	0.416	0.837	0.587
Autriche	11.35	0.490	12158	0.154	0.123	0.513	0.263
Belgique	23.10	1.1150	16072	0.338	0.388	0.693	0.473
Canada	17.95	1.146	20505	0.258	0.387	0.851	0.498
Danemark	19.10	0.870	16320	0.276	0.276	0.703	0.418
Finlande	16.10	0.730	12688	0.229	0.219	0.540	0.329
France	24.65	1.940	15224	0.363	0.706	0.658	0.575
Allemagne	27.80	1.743	15431	0.412	0.627	0.667	0.568
Islande	14.90	0.430	13486	0.210	0.099	0.580	0.296
Irlande	11.07	0.560	9424	0.150	0.151	0.348	0.216
Italie	11.42	0.712	12888	0.155	0.212	0.550	0.306
Japon	37.74	1.600	6244	0.568	0.569	0.082	0.406
Pays-Bas	26.80	1.953	18587	0.396	0.712	0.787	0.632
Norvège	20.00	0.848	15703	0.290	0.267	0.678	0.411
Portugal	1.50	0.225	5505	0.000	0.016	0.000	0.0054
Espagne	3.73	0.185	10445	0.035	0.000	0.414	0.149
Suède	19.70	1.263	19103	0.285	0.434	0.805	0.508
UK	46.10	2.284	15605	0.699	0.845	0.674	0.739
USA	65.33	2.670	25818	1.000	1.000	1.000	1.000

... : données du pays i

Tab 4.A2 : ITMONDE :

Moyenne arithmétique des indices des scientifiques et ingénieurs pour 10000 actifs, de la DIRD en % du PIB et du PIB par travailleur

pays	scien	dep	PIB trav	S	D	P	ITMONDE
				$\frac{\dots-0.04}{43.33-0.04}$	$\frac{\dots-0}{2.6-0}$	$\frac{\ln(\dots)-\ln 1186}{\ln 29645-\ln 1186}$	$\frac{S+D+P}{3}$
Algérie	0.35	0.3	7496	0.007	0.115	0.576	0.232
Ghana	3.84	1	2263	0.088	0.385	0.201	0.224
Côte d'Ivoire	1.12	0.4	2893	0.025	0.154	0.277	0.152
Kenya	0.97	0.8	1488	0.022	0.308	0.071	0.133
Ile Maurice	2.03	0.5	6012	0.046	0.192	0.504	0.248
Nigeria	0.73	0.6	1425	0.016	0.231	0.057	0.101
Togo	1.07	1.5	1186	0.024	0.577	0.000	0.200
Zambie	0.35	0.2	3082	0.007	0.077	0.297	0.127
Canada	16.48	1.2	23718	0.380	0.462	0.931	0.591
Guatemala	1.23	0	6170	0.027	0.000	0.512	0.180
Mexique	15.28	0.2	12795	0.352	0.077	0.297	0.127
USA	41.89	2.6	29645	0.967	1.000	1.000	0.989
Argentine	4.25	0.3	13360	0.097	0.115	0.752	0.322
Bolivie	1.86	0.1	4494	0.042	0.038	0.414	0.165
Chili	9.47	0.1	10944	0.218	0.038	0.690	0.316
Uruguay	6.46	0.5	9621	0.148	0.192	0.650	0.330
Venezuela	3.2	0.2	25493	0.074	0.077	0.953	0.368
Inde	0.04	0.5	1779	0.000	0.192	0.126	0.106
Iran	2.41	0.5	13764	0.055	0.192	0.762	0.336
Irak	0.25	0.2	16884	0.005	0.077	0.825	0.302
Israël	15.76	1.3	13890	0.363	0.500	0.764	0.543
Japon	43.33	1.9	9313	1.000	0.731	0.640	0.790
Corée	2.94	0.3	3742	0.067	0.115	0.357	0.180
Pakistan	3.20	0.1	3149	0.073	0.038	0.303	0.138
Singapour	3.30	0.3	6871	0.075	0.115	0.546	0.246
Turquie	2.87	0.3	4383	0.065	0.115	0.406	0.196
Autriche	8.52	0.7	15681	0.196	0.269	0.802	0.422
Belgique	16.59	1.3	19610	0.382	0.500	0.872	0.585
Danemark	17.54	1	18909	0.404	0.385	0.860	0.550
Finlande	14.13	0.9	14821	0.325	0.346	0.785	0.485
France	18.59	1.8	19144	0.428	0.692	0.864	0.662

suite...

pays	scien	dep	PIB trav	S	D	P	ITMONDE
				$\frac{...-0.04}{43.33-0.04}$	$\frac{...-0}{2.6-0}$	$\frac{\ln(...)-\ln 1186}{\ln 29645-\ln 1186}$	$\frac{S+D+P}{3}$
Allemagne	18.05	2.2	18735	0.416	0.846	0.857	0.707
Islande	10.33	0.4	15162	0.238	0.154	0.792	0.394
Irlande	10.99	0.8	11510	0.253	0.308	0.706	0.422
Italie	8.31	1	16680	0.191	0.385	0.821	0.466
Pays-Bas	27.45	2.3	22676	0.633	0.885	0.917	0.812
Norvège	19.30	1.2	18504	0.445	0.462	0.854	0.587
Espagne	2.78	0.2	14503	0.063	0.077	0.778	0.306
Suède	18.68	1.5	21804	0.431	0.577	0.905	0.637
UK	12.49	2.4	17564	0.288	0.923	0.837	0.683
Australie	17.94	1.4	23182	0.414	0.538	0.924	0.625

... : données du pays *i*

B Evolution des indices

*Tab 4.B1 : évolution des indices
pour les pays de l'OCDE en 1965 et en 1990*

	C			P			D		
	1965	1990	variation	1965	1990	variation	1965	1990	variation
Australie	0.51	0.76	0.25	0.84	1.10	0.26	0.42	0.45	0.03
Autriche	0.15	0.37	0.22	0.51	1.02	0.51	0.12	0.49	0.37
Belgique	0.34	0.65	0.31	0.69	1.13	0.44	0.39	0.58	0.19
Canada	0.26	0.68	0.42	0.85	1.19	0.34	0.39	0.52	0.13
Danemark	0.28	0.60	0.32	0.70	0.98	0.28	0.28	0.56	0.28
Finlande	0.23	0.84	0.61	0.54	1.04	0.50	0.22	0.68	0.44
France	0.36	0.76	0.40	0.66	1.10	0.44	0.71	0.88	0.17
Allemagne	0.41	0.92	0.51	0.67	1.09	0.42	0.63	1.03	0.40
Islande	0.21	0.81	0.60	0.58	0.95	0.37	0.10	0.32	0.32
Irlande	0.15	0.53	0.38	0.35	0.98	0.53	0.15	0.26	0.11
Italie	0.16	0.48	0.32	0.55	1.11	0.53	0.21	0.44	0.23
Japon	0.57	1.40	0.83	0.08	0.91	0.83	0.57	1.15	0.58
Pays-Bas	0.40	0.60	0.20	0.79	1.12	0.32	0.71	0.79	0.08
Norvège	0.29	0.90	0.61	0.68	1.08	0.40	0.27	0.60	0.33
Portugal	0.00	0.16	0.16	0.00	0.72	0.72	0.02	0.14	0.12
Espagne	0.03	0.37	0.34	0.41	1.01	0.70	0.00	0.27	0.27
Suède	0.29	0.89	0.60	0.81	1.06	0.25	0.43	1.09	0.66
UK	0.70	0.71	0.01	0.67	1.02	0.35	0.84	0.79	-0.05
USA	1.00	1.14	0.14	1.00	1.23	0.23	1.00	1.04	0.04

Chapitre 5

Séparation de la convergence et du rattrapage : analyse empirique du rapprochement des PIB par tête

Introduction

Dans le chapitre 3, notre modèle théorique met en évidence l'existence de deux mécanismes : la convergence et le rattrapage. Selon les paramètres propres à chaque pays, le rapprochement des revenus par tête peut être absolu ou conditionnel. Le rapprochement absolu est exclusivement expliqué par la présence de convergence absolue et de rattrapage absolu (CA-RA). En revanche, trois cas de rapprochement conditionnel existent : une situation de convergence absolue/rattrapage conditionnel (CA-RC), une autre de convergence conditionnelle/rattrapage absolu (CC-RA), et enfin une dernière situation de convergence conditionnelle/rattrapage conditionnel (CC-RC). L'intérêt théorique de notre séparation conceptuelle est évident. Selon la nature de la convergence et celle du rattrapage dans le rapprochement des niveaux de vie, les conséquences pour la politique économique sont différentes. Si la convergence est conditionnelle, alors la politique économique doit s'orienter vers une harmonisation des taux d'épargne. Par ailleurs, si le rattrapage est conditionnel, les pays doivent concentrer leurs efforts plutôt sur le développement de leur éducation.

L'objectif de ce chapitre est de déterminer la nature et l'ampleur des phénomènes de convergence et de rattrapage. Ce chapitre s'organise autour de quatre sections.

Dans la première section, nous définissons la méthode utilisée pour éprouver la validité de la théorie et nous présentons les données exploitées.

La deuxième section est consacrée à l'étude de l'équation de rapprochement au sein des pays de l'OCDE. Nous concluons à la présence de convergence conditionnelle et de rattrapage absolu (CC-RA).

Les mêmes estimations sont réalisées, dans une troisième section, mais pour un échantillon plus large de pays dont les niveaux de développement sont très différents. Nous mettons en évidence qu'il n'existe pas de rattrapage au niveau mondial. En revanche, lorsque nous éliminons de l'échantillon les pays les moins avancés, le rattrapage est présent mais conditionnel.

Enfin, dans la quatrième section, nous proposons des orientations de politique économique devant conduire les pays vers un même niveau de revenu par tête.

5.1 Présentation de l'étude

A partir de l'équation de rapprochement établie dans notre modèle théorique, nous présentons les différentes équations à estimer pour déterminer la nature du rapprochement. Nous définissons ensuite les données utilisées.

5.1.1 Spécification des équations

Nous avons montré, au chapitre 3, que la résolution du modèle conduit à l'équation de rapprochement suivante :

$$\gamma_{y_i} = x - \mu (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) - \beta (\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*) \quad (5.1)$$

où μ et β correspondent respectivement au coefficient de rattrapage et au coefficient de convergence.

Nous montrons, en annexe 5.A, que cette équation est encore équivalente à :

$$\begin{aligned} \frac{\ln y_i(T) - \ln y_i(0)}{T} = & x - \left(\frac{1-e^{-\beta T}}{T} \right) \ln \hat{y}_i(0) \\ & - \left(\frac{1-e^{-\mu T}}{T} \right) \ln \bar{A}_i(0) + \left(\frac{1-e^{-\beta T}}{T} \right) \ln \hat{y}_i^* \\ & + \left(\frac{1-e^{-\mu T}}{T} \right) \ln \bar{A}_i^* \end{aligned} \quad (5.2)$$

Sachant que les valeurs d'état stationnaire de \hat{y}_i^* et de \bar{A}_i^* sont respectivement égales à $\frac{s_i}{n_i+x+d}$ et $\bar{\delta}_i$, l'équation peut encore s'écrire :

$$\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_3 (\ln s_i - \ln(n_i + d + x)) + \lambda_4 \ln \bar{\delta}_i \quad (5.3)$$

où : $\lambda_0 = x$

$$\lambda_1 = - \left(\frac{1-e^{-\beta T}}{T} \right)$$

$$\lambda_2 = - \left(\frac{1-e^{-\mu T}}{T} \right)$$

$$\lambda_3 = \left(\frac{1-e^{-\beta T}}{T} \right) \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)$$

$$\lambda_4 = \left(\frac{1-e^{-\mu T}}{T} \right) \frac{1}{\varphi}$$

Théoriquement, λ_1 est négatif : plus le niveau initial du PIB par tête efficace est faible, plus le taux de croissance est élevé. De même, λ_2 est théoriquement négatif : plus l'écart de technologie entre le pays i et les USA est grand (\bar{A}_i petit), plus le taux de croissance du PIB par tête est élevé. Enfin, λ_3 et λ_4 sont théoriquement positifs : le taux d'épargne et la potentialité d'accumulation de la technologie agissent positivement et le taux de croissance de la population négativement.

Sur la base de l'équation (5.3), nous pouvons émettre quatre hypothèses quant aux mécanismes qui gouvernent le rapprochement des économies, hypothèses qui se concrétisent par quatre équations dont nous apprécierons les performances relatives.

L'hypothèse la plus générale est celle de convergence conditionnelle/rattrapage conditionnel (CC-RC) et donne naissance à l'équation :

$$\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_3 (\ln s_i - \ln(n_i + x + \delta)) + \lambda_4 \ln \bar{\delta}_i + \epsilon_i \quad (5.4)$$

La plus restrictive est celle d'une convergence absolue/rattrapage absolu (CA-RA) :

$$\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \epsilon_i \quad (5.5)$$

Les hypothèses intermédiaires de convergence absolue/rattrapage conditionnel (CA-RC) et de convergence conditionnelle/rattrapage absolu (CC-RA) correspondent respectivement aux équations :

$$\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_4 \ln \bar{\delta}_i + \epsilon_i \quad (5.6)$$

$$\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_3 (\ln s_i - \ln(n_i + x + \delta)) + \epsilon_i \quad (5.7)$$

Afin de déterminer l'équation qui caractérise au mieux le comportement des pays, nous arbitrons entre ces quatre équations sur la base d'un test de Fisher en partant de l'équation la plus générale et en confrontant les performances de celle-ci à celles des équations plus restrictives. Dans un premier temps, nous testons les couples d'équations suivants :

- convergence conditionnelle/rattrapage conditionnel (équation (5.4)) contre convergence absolue/rattrapage conditionnel (équation (5.6)) : CC-RC vs CA-RC. Il s'agit de déterminer si la variable d'état stationnaire du PIB par tête efficace $(\ln(s_i) - \ln(n_i + x + d))$ a un effet significatif sur le taux de croissance du PIB par tête.
- convergence conditionnelle/rattrapage conditionnel (équation (5.4)) contre convergence conditionnelle/rattrapage absolu (équation (5.7)) : CC-RC vs

CC-RA. Nous cherchons ici à voir si introduire la variable d'état stationnaire de la technologie ($\ln \bar{\delta}_i$) améliore significativement les régressions.

Dans un second temps, selon les résultats de la première étape, nous procédons à différents tests :

- si l'équation CA-RC n'est pas invalidée, nous cherchons à vérifier si l'introduction de la valeur d'état stationnaire de la technologie apporte une information significative. Nous testons alors convergence absolue/rattrapage conditionnel (équation 5.6) contre convergence absolue/rattrapage absolu (équation 5.5) : CA-RC vs CA-RA.
- si l'équation CC-RA n'est pas invalidée, nous testons ensuite convergence conditionnelle/rattrapage absolu (équation (5.7)) contre convergence absolue /rattrapage absolu (équation (5.5)) afin de voir si l'introduction de la valeur d'état stationnaire de la production par tête a un effet significatif : CC-RA vs CA-RA.

Les résultats de ces différents tests nous permettent de conclure sur la nature des phénomènes de convergence et de rattrapage.

5.1.2 Données utilisées

Nous présentons les échantillons de pays sur lesquels les différentes équations sont estimées. Puis, nous expliquons le choix de la période d'estimation. Enfin, nous définissons le contenu des variables utilisées.

5.1.2.1 Pays étudiés

L'analyse porte sur deux échantillons de pays :

- le premier échantillon, *OCDE*, est composé de 19 pays de l'OCDE : Austra-

lie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Islande, Irlande, Italie, Japon, Pays-Bas, Norvège, Portugal, Espagne, Suède, Royaume-Uni et Etats-Unis.

- le second échantillon, *MONDE*, est composé des 37 pays pour lesquels les données nécessaires à la réalisation de l'estimation sont disponibles. La liste de ces pays est fournie en annexe 5.B.

5.1.2.2 Choix de la période d'estimation

L'étude économétrique s'étend de 1965 à 1992 pour l'échantillon *OCDE* et de 1970 à 1992 pour l'échantillon *MONDE*. Les dates initiales et finales de l'intervalle d'étude sont déterminées par la disponibilité des données.

La date initiale est contrainte par les données sur la technologie. Pour les pays de l'OCDE, l'indicateur de technologie est calculé à partir de 1965. En ce qui concerne l'échantillon *MONDE*, l'indicateur de technologie n'a pu être calculé qu'à partir de 1970.

L'étude s'arrête en 1992 pour des problèmes de comparaisons internationales. Pour estimer les équations de rapprochement, nous avons besoin du niveau de PIB par tête et du taux d'épargne des pays¹. Beaucoup de bases fournissent ces deux variables sur des périodes relativement longues. Ainsi, dans les World Development Indicators (WDI), les données sur le PIB par tête et le taux d'investissement sont disponibles jusqu'en 1998.

Mais, les données fournies par les WDI peuvent conduire à des erreurs. En

1. Comme nous l'avons souligné dans le modèle théorique, l'épargne est égale à l'investissement. Nous mesurons ainsi le taux d'épargne à partir du taux d'investissement.

comparant, par exemple, la valeur du taux d'investissement du Bangladesh (19.9%) avec celle des Etats-Unis (19.17%), il apparaît que ces taux sont quasiment égaux. En effet, ces données ne prennent pas en compte le fait que le niveau des prix des biens d'investissement est différent du niveau des prix des biens de production. Le taux d'investissement WDI est égal à : $s_{WDI} = \frac{I_{LCU_i}}{PIB_{LCU_i}}$ où LCU signifie que la variable est exprimée en monnaie courante du pays i . En revanche, les données fournies par Summers et Heston (1996) intègrent ces différences de niveaux de prix et permettent des comparaisons internationales. Le taux d'investissement SH est égal à : $s_{SH} = \frac{I'}{PIB'}$ avec $I' = \frac{I_{LCU_i}}{NPI}$ et $PIB' = \frac{PIB_{LCU_i}}{NPP}$ (NPI : niveau de prix des biens d'investissement, NPP : niveau de prix des biens de production).

En ne prenant pas en compte ces différences de niveaux de prix, les taux d'investissement sont approximativement les mêmes au Bangladesh et aux Etats-Unis parce que les biens d'investissement sont relativement chers dans les pays pauvres et relativement bon marché dans les pays riches. Ainsi, les taux d'investissement des pays pauvres sont largement surestimés alors que, dans le même temps, ceux des pays riches sont sous-estimés. Le tableau 5.1 montre les différences qui existent entre le taux calculé par la base WDI et celui calculé par Summers et Heston (1996) : en tenant compte des différences entre prix des biens d'investissement et prix des biens de production, les taux d'investissement du Bangladesh et des USA sont très différents.

	<i>sWDI</i> en%	<i>sSH</i> en%
Algérie	33.46	23.6
Argentine	19.39	14.6
Bangladesh	19.90	3.26
Belgique	17.46	20.7
Burkina Faso	19.76	9.44
Chili	19.08	21
France	21.06	25.2
Hong-Kong	27.96	19.5
Mexique	22.23	16
Nepal	19.31	8.34
Singapour	41.65	36.1
Etats-Unis	19.17	21

TAB. 5.1 – *Taux d'investissement (ou d'épargne) moyen de 1980 à 1990*

Pour ces raisons, nous ne pouvons utiliser que les taux d'investissement fournis par Summers et Heston, taux qui ne sont disponibles que jusqu'en 1992.

5.1.2.3 Description des variables

Nous décrivons ici les séries qui sont utilisées pour les différentes variables de l'équation de rapprochement.

γ correspond au taux de croissance moyen du PIB par tête calculé sur la période 1965-1992 pour l'échantillon *OCDE*, et sur la période 1970-1992 pour l'échantillon *MONDE*. Il est déterminé à partir de la série du PIB réel par tête en prix internationaux de 1985 disponible dans la Penn World Table 5.6 (Summers et Heston (1996)).

Le niveau initial du PIB par tête efficace est mesuré par le rapport entre le niveau initial du PIB par tête et le niveau initial de la technologie : $\ln \hat{y}(0) =$

$\ln\left(\frac{y(0)}{\bar{A}(0)}\right)$. Le PIB initial est mesuré par le PIB réel par tête en prix internationaux de 1985 et le niveau initial de la technologie par notre indicateur de technologie.

La variable n représente le taux de croissance de la population en 1992. Ce taux est issu des données de population des World Development Indicators. Nous supposons, comme Mankiw, Romer et Weil (1992) que $x + d$ est égal à 0.05.

Nous mesurons s comme la part moyenne, sur la période d'étude, de l'investissement réel en termes de PIB réel. L'investissement en pourcentage du PIB est disponible dans la Penn World Table 5.6.

La potentialité d'accumulation de la technologie, δ_i , est appréciée par le nombre moyen d'années d'étude de la population du pays i . La potentialité relative, $\bar{\delta}_i$, est alors calculée par le rapport entre la potentialité du pays i en 1990 et celle des USA. Cette variable est issue de la base de Barro et Lee (2000).

Enfin, la variable $\ln \bar{A}(0)$ correspond à l'écart initial de technologie. Elle est mesurée comme le rapport entre le niveau initial de technologie du pays i (apprécié par notre indicateur) et le niveau initial de technologie des USA.

Les sections suivantes sont consacrées à la présentation des résultats et aux enseignements en termes de politique économique.

5.2 Effets des écarts de technologie dans le rapprochement du PIB par tête des pays de l'OCDE

Les résultats des estimations des différentes équations sont présentés dans le premier paragraphe. Ces estimations sont réalisées en utilisant la méthode des moindres carrés ordinaires. Des tests de Fisher nous permettent ensuite de préciser la nature de chaque phénomène.

5.2.1 Présentation des résultats des estimations

Le tableau 5.2 présente les résultats de l'estimation de chacune des quatre équations de rapprochement :

- CC-RC : $\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_3 (\ln s_i - \ln(n_i + x + \delta)) + \lambda_4 \ln \bar{\delta}_i + \epsilon_i$
- CA-RC : $\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_4 \ln \bar{\delta}_i + \epsilon_i$
- CC-RA : $\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \lambda_3 (\ln s_i - \ln(n_i + x + \delta)) + \epsilon_i$
- CA-RA : $\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_2 \ln \bar{A}_i(0) + \epsilon_i$

La dernière colonne correspond à l'estimation de l'équation de MRW sur notre échantillon : $\gamma_i = \lambda_0 + \lambda_1 \ln \hat{y}_i(0) + \lambda_3 (\ln s_i - \ln(n_i + x + \delta)) + \epsilon_i$. Les résultats présentés tiennent compte de la présence d'hétéroscédasticité. Entre parenthèses, figurent les t de Student.

	CA-RA	CC-RC	CA-RC	CC-RA	MRW
λ_0	0.213 (5.40)	0.244 (5.80)	0.266 (5.75)	0.208 (6.20)	0.236 (6.36)
λ_1	-0.026 (-5.08)	-0.029 (-6.08)	-0.029 (-5.48)	-0.025 (-6.39)	-0.029 (-6.85)
λ_2	-0.016 (-3.78)	-0.017 (-2.82)	-0.024 (-4.22)	-0.011 (-2.61)	
λ_3		0.013 (2.26)		0.015 (2.72)	0.023 (3.88)
λ_4		0.007 (1.35)	0.011 (1.88)		
R^2 ajusté	0.76	0.84	0.79	0.83	0.79

TAB. 5.2 – Régression sur les pays de l'OCDE de 1965 à 1992

Intéressons-nous, tout d'abord, aux résultats de l'estimation de l'équation de MRW sur notre échantillon. Tous les coefficients sont significatifs et ont le signe attendu. Mais, le coefficient λ_1 associé au niveau initial du PIB par tête efficace (qui prend en compte l'hétérogénéité des niveaux de technologie) est beaucoup plus élevé que les estimations habituelles pour lesquelles les niveaux de technologie sont supposés identiques². Le coefficient de convergence qui en résulte est alors plus élevé (environ 5% contre 2.46%). Nous retrouvons donc le résultat de Nonnman et Vanhoudt (1996) développé au chapitre 1 : la prise en compte de niveaux de technologie différents augmente considérablement le coefficient de convergence.

Quelle que soit l'équation de rapprochement considérée, les coefficients ont le signe attendu et sont significatifs. Plus le niveau initial du PIB par tête efficace est faible, plus le taux de croissance du PIB par tête est élevé. Il y a donc bien

2. Dans le cas de notre échantillon, l'estimation faite en supposant que les niveaux de technologie sont identiques conduit à $\lambda_1 = -0.018$.

convergence. En outre, plus l'écart initial de technologie est important (c'est-à-dire \bar{A} petit), plus le taux de croissance du PIB par tête est grand. Il y a donc bien rattrapage. Par ailleurs, plus le taux d'épargne est élevé et le taux de croissance de la population faible, plus le taux de croissance du PIB par tête est important (c'est-à-dire $\lambda_3 > 0$); la convergence semble donc être conditionnelle. L'effet de la potentialité d'accumulation est plus nuancé puisque le coefficient λ_4 n'est pas toujours significatif; le rattrapage semble être absolu.

Ces estimations mettant en évidence la présence de convergence et de rattrapage, nous déterminons maintenant la nature de chacun de ces phénomènes.

5.2.2 Convergence conditionnelle et rattrapage absolu

Nous caractérisons la nature de la convergence et du rattrapage, en procédant à des tests de Fisher sur des couples d'équations. Le tableau 5.3 résume ces tests et leurs résultats.

Le test de l'équation convergence conditionnelle/rattrapage conditionnel (CC-RC) contre l'équation convergence absolue/rattrapage conditionnel (CA-RC) met en évidence le rejet de l'hypothèse H_0 selon laquelle l'introduction de la variable $\ln(s_i) - \ln(n_i + 0.05)$ n'a pas d'effet significatif sur le taux de croissance. Il faut donc garder la valeur d'état stationnaire du PIB par tête efficace comme variable explicative. Entre ces deux équations, la meilleure spécification serait CC-RC.

contre	CA-RC	CC-RA
CC-RC	$H_0 : \lambda_3 = 0$ $F=5.09$ seuil de risque pour rejet : 0.04 ccl : rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RC$	$H_0 : \lambda_4 = 0$ $F=1.83$ seuil de risque pour rejet : 0.19 ccl : non rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$
CA-RA	Comme CA-RC est invalidé, nous ne testons pas CA-RC vs CA-RA	$H_0 : \lambda_3 = 0$ $F=7.39$ seuil de risque pour rejet : 0.01 ccl : rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$
MRW		$H_0 : \lambda_2 = 0$ $F=6.83$ seuil de risque pour rejet : 0.01 ccl : rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$

TAB. 5.3 – Tests de Fisher sur les pays de l'OCDE

Par ailleurs, nous testons l'équation CC-RC contre l'équation convergence conditionnelle/rattrapage absolu (CC-RA), c'est-à-dire l'hypothèse H_0 selon laquelle la valeur d'état stationnaire de la technologie n'a pas d'effet significatif sur le taux de croissance. Le test de Fisher permet de conclure au non rejet de l'hypothèse $H_0 : \lambda_4 = 0$: introduire la valeur d'état stationnaire de la technologie n'améliore pas la régression. Parmi ces deux équations, c'est l'équation CC-RA qui caractériserait au mieux les mécanismes de rapprochement du PIB par tête des pays de l'OCDE.

Comme l'équation CC-RA n'est pas invalidée, nous testons maintenant l'hypothèse nulle $H_0 : \lambda_3 = 0$, c'est-à-dire que nous testons l'équation CC-RA contre l'équation CA-RA pour vérifier si la variable $\ln s_i - \ln(n_i + 0.05)$ améliore ou non la régression. Le test de Fisher permet de conclure au rejet de H_0 . Là encore,

c'est l'équation CC-RA qui conviendrait.

Ce résultat est confirmé par la comparaison de l'équation CC-RA avec l'équation de MRW qui met en évidence le rejet de l'hypothèse $H_0 : \lambda_2 = 0$. La prise en compte des écarts de technologie apporte une information supplémentaire à l'explication du taux de croissance du PIB par tête.

Résultat 1 : La prise en compte des écarts de technologie améliore de façon significative les résultats de MRW. Le rapprochement des PIB par tête des pays de l'OCDE est conditionnel : il s'explique par la convergence conditionnelle et le rattrapage absolu.

L'existence de rattrapage **absolu** indique qu'à long terme, tous les pays atteignent le même état stationnaire de la technologie : les niveaux d'éducation sont donc homogènes. La présence de **convergence conditionnelle** signifie que les pays n'ont pas les mêmes taux d'épargne (investissement) et les mêmes taux de croissance de la population. Leur croissance est conditionnée par ces différences structurelles.

Les différences de richesse au sein des pays de l'OCDE s'expliquent donc par des différences de taux d'épargne et de taux de croissance de la population, plutôt que par des niveaux d'éducation différents.

5.2.3 Estimation des coefficients de convergence et de rattrapage

A partir de la valeur théorique des coefficients associés au niveau initial du PIB par tête et de l'écart de technologie de l'équation CC-RA, nous calculons les

coefficients de convergence (β) et de rattrapage (μ) :

$$-0.025 = - \left(\frac{1 - e^{-\beta T}}{T} \right) \rightarrow \beta = 4.16\%$$

$$-0.011 = \frac{1 - e^{-\mu T}}{T} \rightarrow \mu = 1.30\%$$

Deux résultats sont à souligner :

- la convergence est, là encore, plus élevée que dans l'équation traditionnelle de MRW puisque l'hétérogénéité des niveaux de technologie est intégrée. Mais ce coefficient a diminué du fait de la prise en considération des écarts de technologie.
- compte tenu des valeurs calculées, les pays de l'OCDE convergent plus vite qu'ils ne rattrapent.

Plusieurs études (Barro et Sala I Martin (1995c) Andres, Domenech et Molinas (1996), Tavéra (1999)) ont montré que le coefficient de convergence se modifie au cours du temps. Cadoret et Tavéra (1999) montrent, par exemple, qu'au sein des pays de l'OCDE, le coefficient de convergence n'est pas stable, affichant même une tendance à la baisse. En fait, ce résultat est tout à fait compréhensible sur la base de la théorie économique qui établit que la convergence est asymptotique. Pour vérifier ce résultat, nous avons décalé la période d'étude de 1965-1992 à 1970-1992 et nous avons effectué une nouvelle estimation de l'équation CC-RA. Le coefficient de convergence est alors égal à 3.3% (contre 4.16% sur la période 1965-1992) et le coefficient de rattrapage à 2.7% (contre 1.30% sur 1965-1992). Ce résultat suggère donc qu'au cours de la période 1965-1970, la convergence des pays de l'OCDE a été très importante et le rattrapage beaucoup plus faible. Sur cette période, les pays ont accentué leurs efforts sur l'accumulation de capital.

Ainsi, nous avons montré qu'au sein des pays de l'OCDE, il existe un phénomène de convergence conditionnelle et de rattrapage absolu. Les écarts de technologie sont un facteur explicatif important du mécanisme de rapprochement des PIB par tête.

Qu'en est-il au niveau mondial? Retrouvons-nous un tel résultat pour un échantillon de pays de niveaux de développement très différents?

5.3 Influence du niveau de développement des pays dans le rattrapage mondial

La présentation des résultats des estimations et des tests de Fisher met en évidence que seule la convergence conditionnelle gouverne au niveau mondial le rapprochement des pays. Il n'y a pas de rattrapage au niveau mondial. Ce résultat n'est pas surprenant et la théorie de la croissance endogène l'a fort bien expliqué au cours des dernières années. Notre modèle est capable de retrouver le résultat central de cette littérature. Nous montrons, aussi, qu'il existe un niveau de développement au-dessus duquel le rattrapage existe. Ce rattrapage est conditionnel si l'échantillon conserve une relative hétérogénéité en termes de niveau de développement. En revanche, il est absolu pour les pays à revenu élevé.

5.3.1 Absence de rattrapage au niveau mondial

Le tableau 5.4 présente les résultats de l'estimation des différentes équations estimées au niveau de l'échantillon mondial³.

3. Les résultats prennent en compte la présence d'hétéroscédasticité. Nous rappelons que : λ_0 représente la constante, λ_1 est le coefficient associé au niveau initial du PIB par tête efficace, λ_2 le coefficient associé à l'écart technologique initial, λ_3 le coefficient associé à la valeur d'état stationnaire du PIB par tête efficace et λ_4 le coefficient associé à la valeur d'état stationnaire de la technologie.

	CA-RA	CC-RC	CA-RC	CC-RA	MRW
λ_0	-0.017 (-0.20)	0.1307 (1.79)	0.112 (1.40)	0.082 (1.21)	0.115 (1.80)
λ_1	0.004 (0.48)	-0.016 (-2.11)	-0.010 (-1.18)	-0.012 (-1.64)	-0.014 (-1.92)
λ_2	0.008 (0.52)	-0.026 (-1.92)	-0.018 (-1.20)	-0.018 (-1.38)	
λ_3		0.025 (3.51)		0.032 (4.82)	0.02 (4.61)
λ_4		0.015 (1.65)	0.029 (3.32)		
R^2_{ajust}	-0.03	0.40	0.21	0.38	0.37

TAB. 5.4 – Régression sur l'échantillon MONDE de 1970 à 1992

Comme pour les pays de l'OCDE, le coefficient associé au niveau initial du PIB par tête efficace, issu de l'estimation de l'équation de MRW, est plus élevé du fait de l'intégration de l'hétérogénéité des niveaux de technologie⁴.

L'estimation de chaque équation de rapprochement indique que les coefficients estimés λ_1 , λ_3 et λ_4 ont le signe attendu et sont, dans la plupart des ajustements, significatifs. En revanche, λ_2 n'est significatif que pour l'équation CC-RC.

Pour établir la nature de la convergence et du rattrapage, nous procédons, comme précédemment, à plusieurs tests de Fisher (tableau 5.5).

Tout d'abord, le test de Fisher de l'équation CC-RC contre l'équation CA-RC ($H_0 : \lambda_3 = 0$) permet de rejeter cette hypothèse. En d'autres termes, $\ln s_i - \ln(n_i + 0.05)$ a un effet significatif sur le taux de croissance du PIB par tête. Il faut donc la garder comme variable explicative du taux de croissance du PIB par tête. De ces deux spécifications, c'est l'équation CC-RC qu'il faudrait retenir.

4. Sans hétérogénéité, le coefficient estimé est de -0.009.

contre	CA-RC	CC-RA
CC-RC	$H_0 : \lambda_3 = 0$ $F=12.34$ seuil de risque pour rejet : 0.001 ccl: rejet de H_0 : bonne spécification : $CC - RC$	$H_0 : \lambda_4 = 0$ $F=2.72$ seuil de risque pour rejet : 0.11 ccl: non rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$
CA-RA	Comme CA-RC est invalidé, on ne teste pas CA-RC vs CA-RA	$H_0 : \lambda_3 = 0$ $F=23.26$ seuil de risque pour rejet : 0.00 ccl: rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$
MRW		$H_0 : \lambda_2 = 0$ $F=1.98$ seuil de risque pour rejet : 0.18 ccl: non rejet de H_0 bonne spécification : MRW

TAB. 5.5 – Tests de Fisher sur l'échantillon MONDE

Par ailleurs, le test de l'équation CC-RC contre CC-RA ($H_0 : \lambda_4 = 0$) conclut au non rejet de cette hypothèse. L'introduction de la variable $\ln \bar{\delta}_i$ n'améliore pas la régression. De ce test, nous concluons à l'abandon de CC-RC.

Comme l'équation CC-RA n'est pas invalidée, nous testons cette équation contre l'équation CA-RA, c'est-à-dire $H_0 : \lambda_3 = 0$. Le test de Fisher rejette cette hypothèse ; la bonne spécification resterait l'équation CC-RA.

Enfin, nous testons cette équation contre l'équation de MRW. Autrement dit, existe-t-il bien du rattrapage au niveau mondial? Le test de Fisher de l'hypothèse $H_0 (\lambda_2 = 0)$ ne peut rejeter cette hypothèse . L'introduction de la variable d'écart technologique sur l'échantillon *MONDE* n'a pas d'effet significatif sur le taux de croissance du PIB par tête. Face à l'équation CC-RA, c'est l'équation de MRW qui correspond à la bonne spécification. Il y a bien de la **convergence**

conditionnelle mais pas de rattrapage.

Résultat 2 : Au niveau mondial, seule la convergence conditionnelle explique le rapprochement des revenus par tête. Il n'existe pas de rattrapage.

En résumé, l'introduction de l'écart de technologie dans le modèle expliquant le taux de croissance du PIB par tête n'améliore pas les résultats de MRW lorsque l'échantillon est composé de pays hétérogènes en termes de développement. L'absence de rattrapage au niveau mondial n'est pas un résultat très surprenant. Les écarts de technologie sont, en effet, trop importants pour que les pays en retard puissent bénéficier des technologies les plus avancées.

5.3.2 Existence d'un seuil de rattrapage

Notre étude économétrique a permis de mettre en évidence l'absence de rattrapage au niveau mondial alors qu'au sein des pays de l'OCDE, le rattrapage technologique existe. Or, les pays de l'OCDE sont inclus dans l'échantillon *MONDE* ; ce sont donc les pays hors OCDE qui modifient fortement la conclusion sur le rattrapage. Nous pouvons, alors, nous interroger sur l'existence d'un seuil de développement à partir duquel le rattrapage est présent. Les résultats précédents laissent, en effet, envisager qu'au sein de l'échantillon mondial, seuls les pays les moins avancés en termes de revenu par tête ne rattrapent pas.

Pour établir ce seuil, considérons à nouveau l'échantillon *MONDE* qui est composé de 37 pays de niveaux de développement très différents. Nous divisons

cet échantillon en plusieurs groupes, selon leur niveau de PIB par tête en 1970⁵ :

- groupe A : pays à revenu élevé (PIB par tête supérieur à 5500\$) : Australie, Autriche, Belgique, Canada, Danemark, Finlande, France, Allemagne, Islande, Israël, Italie, Japon, Pays-Bas, Norvège, Espagne, Suède, Royaume-Uni, Etats-Unis.
- groupe B : pays à revenu intermédiaire (PIB par tête compris entre 1500\$ et 5500\$) : Algérie, Argentine, Bolivie, Chili, Corée, Guatemala, Iran, Irak, Irlande, Mexique, Singapour, Turquie, Uruguay.
- groupe C : pays à revenu faible (PIB par tête inférieur à 1500\$) : Ghana, Inde, Kenya, Pakistan, Togo, Zambie.

Nous procédons au test de l'équation CC-RC (équation la plus générale) contre l'équation de MRW, sur deux échantillons différents : groupes A+B et groupes A+B+C. Le tableau 5.6 présente les résultats obtenus selon les groupes considérés.

	test de $H_0 : \lambda_2 = 0, \lambda_4 = 0$
groupes A+B	$F = 5.69$ seuil de risque pour rejet : 0.009 ccl : CC-RC
groupes A+B+C	$F = 2.36$ seuil de risque pour rejet : 0.12 ccl : <i>MRW</i>

TAB. 5.6 – Tests de Fisher

5. La détermination des groupes est faite de façon exogène. Une sélection endogène par l'arbre de décomposition par exemple n'est pas envisageable compte tenu du petit nombre de pays étudiés.

Au seuil de 5%, nous concluons que :

- pour la totalité de l'échantillon (groupes A+B+C), l'hypothèse H_0 ne peut pas être rejetée : $\lambda_2 = 0$. La bonne spécification correspond à l'équation de MRW. Il n'y a pas de rattrapage.
- pour les pays dont le revenu est supérieur à 1500\$ (groupes A+B), le test de Fisher permet de rejeter l'hypothèse selon laquelle $\lambda_2 = 0$ et $\lambda_4 = 0$. L'introduction de la variable d'écart technologique a une influence significative sur le taux de croissance de la production par tête.

Par conséquent, sur l'ensemble de l'échantillon, nous concluons à l'absence de rattrapage. Mais, en retirant les pays les moins avancés (dont le revenu par tête est inférieur à 1500\$) (groupe C), la présence de rattrapage est établie. Même si cela ne constitue pas un test explicite de l'absence de rattrapage pour les pays à faible revenu, ce dernier résultat semble indiquer que pour rattraper, il est nécessaire d'atteindre un niveau de développement minimum. Selon notre sélection *a priori*, ce seuil se situe à un niveau de PIB par tête approximativement supérieur à 1500\$.

Résultat 3 : Pour rattraper, il est nécessaire d'avoir atteint un seuil de développement minimum.
--

Si pour le groupe ABC, il n'y a pas de rattrapage, en revanche, le rattrapage existe pour les pays du groupe AB. La question qui se pose alors est de savoir si, pour ce groupe, le rattrapage est conditionnel ou absolu (comme il l'était pour le groupe des pays de l'OCDE).

5.3.3 Nature du rattrapage selon le niveau de développement des pays

Dans le paragraphe précédent, nous avons montré que, pour les pays dont le revenu par tête est supérieur à 1500 \$, le rattrapage est présent dans l'explication du rapprochement des PIB par tête. La réalisation de tests de Fisher (tableau 5.7) permet de confirmer le résultat selon lequel c'est l'équation CC-RC qui décrit le plus fidèlement le comportement de ces pays.

contre	CA-RC	CC-RA
	$H_0 : \lambda_3 = 0$ F=23.44	$H_0 : \lambda_4 = 0$ F=4.21
CC-RC	seuil de risque pour rejet : 0.000 ccl: rejet de H_0 : bonne spécification : $CC - RC$	seuil de risque pour rejet : 0.05 ccl: non rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RC$
CA-RA	Comme CA-RC est invalidé, on ne teste pas CA-RC vs CA-RA	Comme CC-RA est invalidé, on ne teste pas CC-RA vs CA-RA

TAB. 5.7 – Tests de Fisher sur l'échantillon AB

Le rattrapage et la convergence sont tous les deux conditionnels aux valeurs d'état stationnaire. Le tableau 5.8 fournit les estimations des coefficients de l'équation CC-RC.

	λ_0	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	R^2
γ expliqué par	0.279 (3.37)	-0.033 (-3.89)	-0.035 (-3.21)	0.032 (4.84)	0.015 (2.10)	0.65

TAB. 5.8 – Résultats de l'estimation de l'équation CC-RC sur le groupe AB

Lorsque l'échantillon comprend les pays à revenus intermédiaire et élevé, le rattrapage existe et il est conditionnel au niveau d'éducation des pays. Etant donné la relative hétérogénéité de l'échantillon AB, ce résultat n'est pas très

surprenant. Les niveaux d'éducation sont, en effet, très différents d'un pays à l'autre.

Il est alors intéressant de vérifier si, pour les pays dont le niveau de développement est plus homogène (pays à revenu élevé), les niveaux d'éducation restent une variable explicative importante du rapprochement des PIB par tête⁶. En d'autres termes, au sein des pays du groupe *A*, le rattrapage est-il absolu ou conditionnel?

L'objectif étant d'établir la nature du rattrapage pour les pays du groupe *A*, nous estimons les quatre équations de rapprochement (CC-RC, CA-RA, CC-RA, CA-RC) et nous procédons à plusieurs tests de Fisher. Le tableau 5.9 résume ces différents tests.

contre	CA-RC	CC-RA
CC-RC	$H_0 : \lambda_3 = 0$ $F=4.52$ seuil de risque pour rejet : 0.05 ccl: rejet de H_0 : bonne spécification : $CC - RC$	$H_0 : \lambda_4 = 0$ $F=0.40$ seuil de risque pour rejet : 0.53 ccl: non rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$
CA-RA	Comme CA-RC est invalidé, on ne teste pas CA-RC vs CA-RA	$H_0 : \lambda_3 = 0$ $F=4.45$ seuil de risque pour rejet : 0.06 ccl: non rejet de H_0 bonne spécification : $CC - RA$

TAB. 5.9 – Tests de Fisher sur l'échantillon *A*

Le test de CC-RC contre CA-RC conclut au rejet de $H_0 : \lambda_3 = 0$. Le taux d'épargne et le taux de croissance de la population sont des variables explicatives importantes. Par ailleurs, le test de CC-RC contre CC-RA montre que la variable

6. Il s'agit, en fait, d'estimer les équations de rapprochement sur un échantillon très proche de celui des pays de l'OCDE. Les pays ne sont, en effet, pas exactement les mêmes et la période d'étude est légèrement différente.

d'éducation n'apporte pas d'information supplémentaire dans l'explication du taux de croissance du PIB par tête. C'est donc l'équation CC-RA qui décrit le plus fidèlement le comportement des économies du groupe *A*. Ce résultat est confirmé par le test de CC-RA contre CA-RA qui rejette $H_0 : \lambda_3 = 0$.

Le tableau 5.10 présente les estimations des coefficients de l'équation CC-RA.

	λ_0	λ_1	λ_2	λ_3	R^2
γ expliqué par	0.235 (3.48)	-0.022 (-3.50)	-0.026 (-3.60)	0.010 (2.12)	0.61

TAB. 5.10 – Résultats de l'estimation de l'équation CC-RA sur le groupe *A*

Par conséquent, pour les pays à revenu élevé, le rattrapage est absolu, résultat qui concorde avec ceux obtenus sur l'échantillon *OCDE*. Autrement dit, parce qu'il y a harmonisation des niveaux d'éducation au sein de ces pays, il ne peut plus y avoir de rattrapage conditionnel. La convergence reste conditionnelle, comme cela a déjà été montré pour les autres échantillons étudiés. C'est donc la persistance de taux d'épargne différents qui explique la persistance de niveaux de PIB par tête différents.

Résultat 4 : Pour l'échantillon comprenant les pays à revenus intermédiaire et élevé, le rattrapage est conditionnel au niveau d'éducation.

Résultat 5 : Pour les pays à revenu élevé, le rattrapage est absolu.

Nous nous intéressons, maintenant, à l'ampleur de chaque phénomène dans le rapprochement des PIB par tête.

5.3.4 Estimation des coefficients de convergence et de rattrapage

Pour chaque échantillon (groupes A et AB), nous calculons les coefficients estimés de convergence et de rattrapage à partir des valeurs estimées des coefficients λ_1 et λ_2 .

Pour les pays du groupe AB, c'est-à-dire les pays à revenus intermédiaire et élevé, les résultats sur la période 1970-1992 sont les suivants: $\beta = 5.8\%$ et $\mu = 6.6\%$. Au sein de cet échantillon, le rattrapage s'opère plus vite que la convergence.

En décalant, comme pour l'échantillon des pays de l'OCDE, la période d'étude de 1970-1992 à 1980-1992 et en estimant l'équation de rapprochement CC-RC sur cette nouvelle période, nous cherchons à déterminer quand le rattrapage et la convergence ont été les plus importants. Les coefficients de convergence et de rattrapage déduits de cette estimation sont plus faibles que sur la période 1970-1992: $\beta = 3.2\%$ et $\mu = 2.2\%$. Les résultats font apparaître que les pays ont fortement convergé et rattrapé sur la période 1970-1980.

Pour les pays du groupe A, c'est-à-dire les pays à revenu élevé, les coefficients de convergence et de rattrapage estimés sur la période 1970-1992 sont: $\beta = 3.1\%$ et $\mu = 3.8\%$. Là encore, le rattrapage est plus rapide que la convergence.

L'estimation de l'équation CC-RA sur la période 1980-1992 fait apparaître les résultats suivants: $\beta = 2.9\%$ et $\mu = 1.3\%$. En comparant ces valeurs aux estimations de la période 1970-1992, il ressort que la convergence ne s'est que faiblement ralentie. Ce résultat ne semble pas surprenant puisque nous avons

montré que la convergence a été rapide entre 1965 et 1970⁷. Le coefficient de rattrapage est plus faible sur la période 1980-1992 : le rattrapage a donc été important sur la période 1970-1980. Par conséquent, sur l'échantillon des pays riches, les estimations suggèrent que :

- la convergence a été importante pendant les années 1965-1970 ;
- ces pays ont fortement rattrapé au cours des années 1970-1980 ;
- depuis les années 1980, les deux phénomènes se sont sensiblement atténués.

En résumé, l'estimation de l'équation de rapprochement sur un échantillon de pays de niveaux de revenu différents fait apparaître l'absence de rattrapage. En fait, seuls les pays les moins avancés ne rattrapent pas ; ils sont bloqués dans une trappe à pauvreté. Lorsque le niveau de développement permet le rattrapage, ce rattrapage est conditionnel pour les pays à revenu intermédiaire : il persiste des différences quant aux niveaux d'éducation de ces pays. Il est, en revanche, absolu pour les pays à revenu élevé dont l'harmonisation des niveaux d'éducation est déjà réalisée.

Ces différents résultats conduisent alors à des recommandations de politique économique différentes selon le niveau de développement.

7. Même si les deux échantillons, groupe A et pays de l'OCDE, ne sont pas exactement composés des mêmes pays, les conclusions vont dans le même sens pour les deux. Pour l'échantillon de l'OCDE, β est passé de 3.3% sur 1970-1992 à 3.2% sur 1980-1992. μ est passé de 2.7% à 1.3%.

5.4 Orientation des politiques économiques selon le niveau de développement des pays

Les orientations de politique économique présentées ici vont répondre à un objectif purement hypothétique : faire tendre les pays vers le même niveau de revenu par tête. Pour les pays les moins avancés, notre étude retrouve les résultats des modèles de croissance endogène. Les recommandations qui en découlent reposent sur les arguments déjà avancés par ces modèles.

L'apport essentiel de notre analyse porte sur les recommandations de politique économique que les pays à revenus intermédiaire ou élevé doivent suivre. Selon leur niveau de développement, les orientations pour favoriser le développement et le rapprochement des PIB par tête sont différentes. Les pays à revenu élevé doivent accorder une attention particulière au développement de leur investissement. Les pays à revenu intermédiaire doivent, pour leur part, mener des politiques éducatives.

5.4.1 Sortir de la trappe à pauvreté pour les pays les moins avancés

Nous avons mis en évidence l'existence d'un seuil de développement permettant le rattrapage. Il est donc nécessaire, pour les pays les moins avancés, d'atteindre ce niveau de développement minimum pour ensuite bénéficier du rattrapage technologique. Ces pays doivent en priorité mettre en place des mesures permettant de sortir de cette trappe à pauvreté. Nous retrouvons ici les arguments traditionnels des modèles de croissance endogène. Il s'agit alors d'assurer la stabilité macroéconomique (Barro et Sala I Martin (1995c)) ou encore de favoriser les échanges avec l'extérieur. Sachs et Warner (1995) montrent que les

pays en développement qui se sont ouverts présentent des taux de croissance du PIB par tête nettement supérieurs à ceux qui sont restés en économie fermée. Il faut aussi et surtout développer l'éducation primaire (Lucas (1988), Barro et Lee (1993), Barro et Sala I Martin (1995b), Temple (2001)). Dans sa thèse, Serranito (2000) montre, pour un échantillon de 96 pays sur la période 1965-1999, que l'ouverture à l'extérieur est une condition nécessaire au démarrage des économies mais qu'elle n'est pas une condition suffisante. Les pays qui veulent exploiter au maximum les avantages de l'ouverture doivent avant tout mener des politiques d'éducation primaire.

Selon la CNUCED (2001), malgré des réformes importantes conduites dans les pays les moins avancés, il persiste des problèmes structurels et, notamment, une pénurie importante d'entrepreneurs autochtones. Les personnes les plus qualifiées quittent leur pays d'origine et utilisent leur connaissance dans les pays développés. Cette fuite des cerveaux a tendance à être irréversible. Dans un rapport du Conseil Economique et Social, Raunet (2001) explique que les "cerveaux africains" restent dans le pays d'accueil en raison des avantages sociaux (protection sociale, qualité de la scolarisation...) dont ils bénéficient. Mais, surtout elle ajoute que "les pays du Sud n'offrent pas l'environnement adapté à l'exercice optimal des compétences". Créer un cadre d'accueil à la technologie occidentale est, sans aucun doute, la condition qui permettra à ces pays de profiter du rattrapage technologique.

Bien sûr, pour sortir de la spirale de l'échec (CNUCED (2001)), un mécanisme important repose sur l'augmentation des dons ou sur l'allègement du service de la dette. Mais, les modèles de croissance endogène, comme notre thèse, montrent que ces dons ne sont pas la politique à mener prioritairement. La politique du

big push réalisée dans les années 1960 a été un échec. Injecter des fonds dans les pays qui restent piégés dans la trappe de sous développement n'est pas la solution miracle pour sortir de ce piège. Sans un environnement économique capable d'utiliser efficacement ces dons, les effets en termes de développement ne seront que très faibles. C'est ce que confirme une fois de plus l'absence de rattrapage pour les pays les plus pauvres. Améliorer l'état de santé de la population, développer l'éducation primaire ou encore stabiliser la croissance démographique restent les domaines dans lesquels les pays doivent concentrer principalement leurs efforts. L'expérience bien connue du Sénégal, par exemple, révèle qu'un certain nombre d'erreurs en matière d'éducation ont été commises (Berthélémy et Varoudakis (1996)). Ce pays a mené une politique éducative attribuant une place importante à l'éducation secondaire et supérieure (budget égal à la moitié du budget total de l'éducation). Parallèlement, au début des années 1990, le taux d'alphabétisation était inférieur à 40%. Ainsi, s'est développée une éducation à deux vitesses, complètement inadaptée aux besoins de l'économie. A l'inverse, les réformes économiques profondes menées en Chine ou en Inde pendant les années 1980-1990 portent déjà leurs fruits et ces pays semblent sortir du piège à pauvreté.

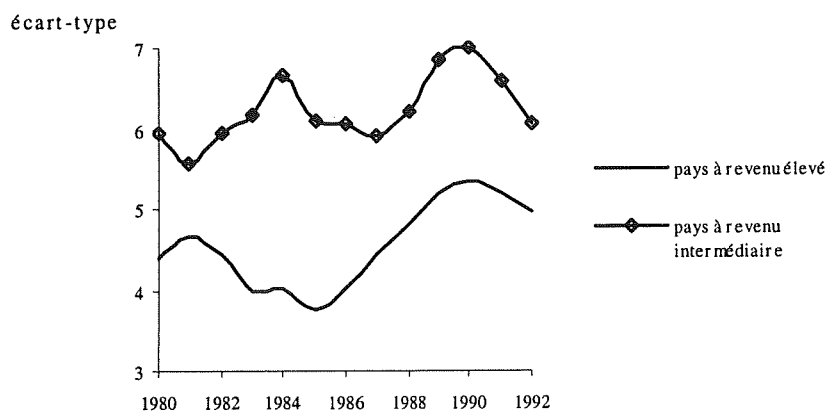
5.4.2 Politiques d'investissement pour les pays à revenu élevé

Au sein des pays à revenu élevé, le rapprochement des PIB par tête s'explique par la présence de convergence conditionnelle et de rattrapage absolu.

Comme nous l'avons déjà souligné, des différences de revenu par tête persistent parce qu'il existe des disparités dans les taux d'épargne/investissement (qui représentent l'état stationnaire du capital). La figure 5.1, qui représente l'évolu-

tion de l'écart-type de la série du taux d'investissement, montre que la dispersion des taux d'épargne a augmenté depuis 1985 et qu'il subsiste donc des différences importantes dans les taux d'investissement des pays⁸.

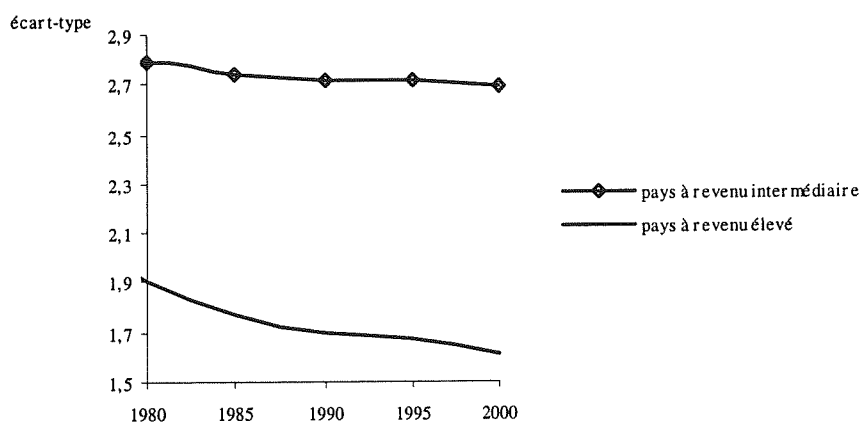
FIG. 5.1 – *Evolution de la dispersion du taux d'investissement*



Par ailleurs, comme le rattrapage des pays à revenu élevé est absolu, les niveaux d'éducation (état stationnaire de la technologie) ne sont pas un facteur explicatif de l'évolution du taux de croissance du PIB par tête. Il semble, en fait, que l'harmonisation des niveaux d'éducation de ces pays soit déjà réalisée, comme l'illustre la figure 5.2 : depuis 1980, la dispersion du nombre d'années d'étude diminue régulièrement, contrairement à celle des pays à revenu intermédiaire.

8. A titre de comparaison, nous avons représenté l'écart-type de la distribution des taux d'investissement pour les pays à revenu intermédiaire. Pour ces derniers, l'harmonisation des taux d'investissement est encore loin d'être réalisée.

FIG. 5.2 – Evolution de la dispersion du nombre d'années d'étude



En termes de politique économique, pour atteindre l'objectif théorique de rapprochement absolu des PIB par tête, ces pays doivent donc concentrer leurs efforts sur le développement et l'harmonisation de leur taux d'investissement. En particulier, il semble important de favoriser les investissements directs étrangers (OCDE (2001)). De Mello (1999) montre, en effet, que les investissements directs étrangers affectent la croissance de la production par tête directement mais aussi indirectement en stimulant l'investissement domestique. Au cours des dernières décennies, les investissements étrangers ont fortement augmenté, compte tenu notamment de la diminution des barrières à l'entrée. Les réformes et l'harmonisation de la législation européenne ont joué un rôle important dans l'accroissement des investissements intra-européens. La libéralisation et l'harmonisation des marchés internes se retrouvent aussi dans le cas de l'Amérique du Nord, ou de l'Australie et la Nouvelle-Zélande. Le développement des investissements internationaux via l'harmonisation des politiques des pays devrait ainsi déplacer l'état stationnaire vers celui du pays le plus riche et conduire les pays vers le même niveau de revenu

par tête.

Mais, nous allons voir que, même si ces recommandations demeurent valables pour les pays à revenu intermédiaire, elles ne semblent pas être la priorité.

5.4.3 Politiques éducatives pour les pays à revenu intermédiaire

Lorsque les pays à revenu intermédiaire sont intégrés dans l'échantillon des pays à revenu élevé, le rapprochement s'explique par l'existence de convergence conditionnelle et de rattrapage conditionnel. Des différences en termes de taux d'investissement et de niveaux d'éducation subsistent entre les pays.

Avant d'harmoniser leurs taux d'investissement, ces pays doivent essentiellement concentrer leurs efforts à déplacer leur technologie d'état stationnaire vers celle des pays à revenu élevé.

De nouvelles recommandations en termes de politique apparaissent. Pour rejoindre cet état stationnaire, l'harmonisation de leurs niveaux d'éducation avec ceux des pays riches est indispensable. Développer et favoriser l'éducation en s'attachant particulièrement à l'éducation secondaire et universitaire est une priorité. Comme le soulignent Berthélémy et Varoudakis (1996), la formation de main d'oeuvre qualifiée est une clé de la croissance de long terme. Chercheurs et techniciens expérimentés sont nécessaires pour adapter les nouvelles technologies à un usage local. Le rapport mondial sur le développement humain met en avant l'importance de l'éducation supérieure. "Au cours des quatre dernières décennies, les dragons d'Asie ont réussi à étoffer rapidement leurs compétences humaines et ont ainsi été en mesure de progresser à vive allure dans l'adaptation des technologies". De même, le Chili a déployé des efforts importants pour améliorer la qualité de

son enseignement et se dirige ainsi vers un système éducatif de qualité. Développer l'éducation universitaire est nécessaire pour que ces pays puissent adopter les technologies les plus avancées. Mais il est aussi important de disposer de capacités de recherche, d'une base scientifique relativement solide pour pouvoir adopter ces technologies. Endiguer la fuite des cerveaux est un élément essentiel de la réussite du développement technologique. Comme les pays les moins avancés, les pays en développement ont du mal à retenir les individus les plus productifs. Certains pays, notamment les pays asiatiques, ont réussi, malgré tout, à contenir ce mouvement de fuite. De meilleures conditions de salaire mais aussi des aides pour le logement et la scolarité des enfants ont permis à la Corée de voir revenir des scientifiques. Dans les années 1960, seulement 16% des scientifiques ayant obtenu un doctorat retournaient dans leur pays contre environ 30% dans les années 1990. L'Inde a mis en place plusieurs mesures pour éviter l'émigration massive de ses informaticiens (taxes forfaitaires à verser au pays d'origine, obligation de rembourser les prêts octroyés au début des études...).

Parallèlement aux mesures visant à éviter la fuite des cerveaux, un autre aspect doit être pris en compte : le développement de la recherche au niveau local. Beaucoup de pays ont encore des difficultés à trouver les investissements nécessaires au financement de la R&D. Certains pays ont, toutefois, développé des centres de recherche et possèdent des pôles scientifiques importants. La recherche de ces pays est surtout orientée vers un usage local (médicament thaïlandais contre le paludisme, vaccin cubain contre la méningite, accès Internet sans fil en Inde...) et cet environnement est un catalyseur pour le copiage des technologies. Le parfait exemple de la réussite de ces politiques est celui du Japon. Au 19^{ème} siècle, la nouvelle ère Meiji est marquée par de vastes réformes visant à promouvoir

les transferts et l'adaptation des technologies. L'économie des coûts de recherche et de tâtonnements mais aussi la qualité de sa main d'oeuvre et la capacité d'adaptation de ses chefs d'entreprise lui ont permis de transférer les acquis de l'Occident et d'assimiler les technologies les plus performantes.

Ainsi, il ressort de ces différentes expériences que l'amélioration du niveau d'éducation, le développement de la recherche au niveau local facilitent l'imitation des technologies et créent un environnement économique favorable au rattrapage technologique.

Pour les pays à revenu intermédiaire, la meilleure carte à jouer nous semble être de favoriser les structures pour accueillir la technologie occidentale et ainsi de profiter du rattrapage technologique que nous avons mis en évidence.

Les politiques proposées ici nous semblent constituer la voie à suivre pour favoriser, à long terme, le développement, le rapprochement et l'harmonisation des PIB par tête de l'ensemble des économies.

Conclusion

L'objectif de ce chapitre était d'une part de déterminer la nature des phénomènes de convergence et rattrapage (du moins quand ils existent) et d'autre part leur ampleur dans le rapprochement des PIB par tête. Notre analyse empirique met en évidence plusieurs résultats :

- l'absence de rattrapage au niveau mondial. La variable d'écart technologique n'apporte aucune information supplémentaire et c'est l'équation de MRW qui correspond à la bonne spécification. Il n'y a pas de rattrapage technologique du moins lorsque l'échantillon comprend aussi les pays les moins avancés. En effet, en excluant ces pays de l'échantillon d'étude, le rattrapage est présent.
- l'existence d'un niveau de revenu par tête minimum pour rattraper. Les pays à faible revenu qui ne possèdent pas ce niveau de revenu par tête doivent sortir de la trappe avant d'espérer profiter du rattrapage.
- la présence de rattrapage conditionnel pour les pays à revenu intermédiaire. Les écarts de technologie constituent un facteur explicatif du rapprochement des PIB par tête pour ces pays. Ce rapprochement est expliqué par la convergence conditionnelle aux taux d'épargne et par le rattrapage conditionnel aux niveaux d'éducation. Favoriser principalement l'éducation (se-

conadaire et universitaire) doit permettre à ces pays de déplacer leur état stationnaire et ainsi de se rapprocher des pays à revenu élevé.

- le rattrapage absolu pour les pays à revenu élevé. Les différences de niveau de revenu par tête s'expliquent essentiellement par des comportements d'épargne (investissement) différents et non par des différences de niveau de technologie : la convergence est conditionnelle et le rattrapage est absolu. Pour ce groupe, l'harmonisation des niveaux d'éducation a déjà été réalisée. C'est donc vers l'harmonisation de leurs taux d'investissement que ces pays doivent orienter leur politique.
- un rattrapage plus rapide que la convergence. Sur la période 1970-1992, le rattrapage s'opère plus vite que la convergence. Il est aussi intéressant de constater que c'est au cours de la période 1970-1980 que les pays à revenu intermédiaire ont fortement convergé et rattrapé. Pour les pays à revenu élevé, la convergence a été importante dans les années 1965-1970, alors que le rattrapage est très présent au cours des années 1970-1980.

Ces résultats portent sur la période 1970-1992. Une nouvelle estimation sur la période 1980-2000 est envisagée dès que les données seront disponibles. Elle devrait permettre d'affiner les résultats en intégrant dans l'échantillon *MONDE* un nombre plus important de pays, en particulier plus de pays africains et asiatiques et donc de déterminer si d'autres pays ont rattrapé.

Annexes du chapitre 5

A Détermination de l'équation à estimer

L'équation de rapprochement du chapitre 3 est donnée par :

$$\gamma_{y_i} = x - \mu (\ln \bar{A}_i - \ln \bar{A}_i^*) - \beta (\ln \hat{y}_i - \ln \hat{y}_i^*)$$

On sait que : $y_i(t) = A_i(t)\hat{y}_i(t)$ ce qui peut encore s'écrire :

$$\ln y_i(t) = \ln A_i(t) - \ln A_{USA}(t) + \ln A_{USA}(t) + \ln \hat{y}_i(t) \text{ i.e}$$

$$\ln y_i(t) = \ln \bar{A}_i(t) + \ln A_{USA}(t) + \ln \hat{y}_i(t)$$

Pour résoudre cette équation, il suffit de remarquer que : $\ln \bar{A}_i(t)$ est la solution de l'équation différentielle $D \ln \bar{A}_i(t) = -\mu (\ln \bar{A}_i(t) - \ln \bar{A}_i^*)$, que $\ln \hat{y}_i(t)$ est la solution de l'équation différentielle $D \ln \hat{y}_i(t) = -\beta (\ln \hat{y}_i(t) - \ln \hat{y}_i^*)$ et que $\ln A_{USA}(t)$ est égal à $xt + c$ où c est une constante.

La solution de $D \ln \bar{A}_i(t) = -\mu (\ln \bar{A}_i(t) - \ln \bar{A}_i^*)$ est donnée par :

$$\ln \bar{A}_i(t) = (\ln \bar{A}_i(0) - \ln \bar{A}_i^*) e^{-\mu t} + \ln \bar{A}_i^*$$

La solution de $D \ln \hat{y}_i(t) = -\beta (\ln \hat{y}_i(t) - \ln \hat{y}_i^*)$ est :

$$\ln \hat{y}_i(t) = (\ln \hat{y}_i(0) - \ln \hat{y}_i^*) e^{-\beta t} + \ln \hat{y}_i^*$$

En prenant ces trois équations différentielles, on a :

$$\ln y_i(t) = e^{-\mu t} \ln \bar{A}_i(0) + (1 - e^{-\mu t}) \ln \bar{A}_i^* + xt + c + e^{-\beta t} \ln \hat{y}_i(0) + (1 - e^{-\beta t}) \ln \hat{y}_i^*$$

A la date $t = 0$, $c = \ln y_i(0) - \ln \bar{A}_i(0) - \ln \hat{y}_i(0)$

En remplaçant c , on a :

$$\frac{\ln y_i(T) - \ln y_i(0)}{T} = x - \left(\frac{1 - e^{-\beta T}}{T} \right) (\ln \hat{y}_i(0) - \ln \hat{y}_i^*) - \left(\frac{1 - e^{-\mu T}}{T} \right) (\ln \bar{A}_i(0) - \ln \bar{A}_i^*)$$

Sachant que :

$$- \ln \hat{y}_i^* = \ln(s_i) - \ln(n_i + x + d)$$

$$- \ln \bar{A}_i^* = \frac{1}{\varphi} \ln \bar{\delta}_i$$

l'équation ci-dessus peut encore s'écrire :

$$\begin{aligned} \frac{\ln y_i(T) - \ln y_i(0)}{T} = & x - \left(\frac{1 - e^{-\beta T}}{T} \right) \ln \hat{y}_i(0) \\ & + \left(\frac{1 - e^{-\beta T}}{T} \right) \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) (\ln(s_i) - \ln(n_i + x + d)) \\ & - \left(\frac{1 - e^{-\mu T}}{T} \right) \ln \bar{A}_i(0) + \left(\frac{1 - e^{-\mu T}}{T} \right) \frac{1}{\varphi} \ln \bar{\delta}_i \end{aligned}$$

5.B Liste des pays de l'échantillon *MONDE*

Algérie	Pakistan
Ghana	Singapour
Kenya	Turquie
Togo	Autriche
Zambie	Belgique
Canada	Danemark
Guatemala	Finlande
Mexico	France
USA	Allemagne
Argentine	Islande
Bolivie	Irlande
Chili	Italie
Uruguay	Pays-Bas
Corée	Norvège
Inde	Espagne
Iran	Suède
Irak	Royaume-Uni
Israël	Australie
Japon	

Conclusion générale

La théorie de la croissance a pour objectif de comprendre le fonctionnement intertemporel des économies, d'expliquer leurs évolutions de long terme et les différences dans les rythmes de croissance, mais aussi d'identifier les facteurs explicatifs de l'existence ou de l'absence de rapprochement des PIB par tête entre les pays.

Dans cette thèse, nous avons choisi d'étudier deux phénomènes explicatifs de la croissance : la convergence liée à l'accumulation de capital et le rattrapage lié aux écarts de technologie. Dans la littérature sur la croissance économique, ces deux phénomènes ne sont pas nettement dissociés et les concepts de convergence et de rattrapage sont régulièrement employés comme synonymes. Or, il est évident que ces deux mécanismes doivent être séparés pour comprendre le rapprochement des PIB par tête. Autrement dit, les pays se rapprochent-ils par une convergence des dotations en capital physique ou par un rattrapage des dotations en capital technologique ?

L'objectif de cette thèse était donc de construire un modèle théorique permettant de distinguer clairement les effets de la convergence et les effets du rattrapage dans le rapprochement des PIB par tête.

Les études empiriques portant sur l'équation de Mankiw, Romer et Weil (1992) font apparaître que l'obtention d'une relation négative entre le niveau initial du PIB par tête et le taux de croissance n'est pas nécessairement un argument en faveur de la convergence. En particulier, les estimations de l'équation de convergence de Mankiw, Romer et Weil (1992) sont toujours réalisées en supposant que les niveaux de technologie des pays sont identiques. Pendant la dynamique transitoire, la technologie croît pour tous les pays à un taux exogène et constant. Ces hypothèses constituent sans doute la limite la plus importante du modèle de MRW. Une première amélioration a donc été réalisée par l'estimation de l'équation de convergence en tenant compte des différences de niveaux de technologie (Nonneman et Vanhoudt (1996), Klenow et Rodriguez-Clare (1997)). Mais le fait que les niveaux de technologie soient différents implique, en toute logique, que les processus d'accumulation de la technologie sont également différents d'un pays à l'autre. Nous ne pouvons pas, d'un côté, prendre en compte l'hétérogénéité des niveaux de technologie et, de l'autre côté, supposer que les rythmes de croissance de la technologie sont identiques. Ce serait condamner *a priori* les pays pauvres à le rester éternellement. L'équation de Mankiw, Romer et Weil (1992), même améliorée par l'introduction des niveaux de technologie, n'est donc plus valide. Il faut revoir la spécification théorique de la fonction d'accumulation de la technologie.

L'hypothèse qui vient alors naturellement à l'esprit est de considérer que la croissance de la technologie est liée positivement aux écarts de technologie. Plus

un pays possède un niveau de technologie faible, plus sa croissance technologique est forte. C'est l'idée de rattrapage de Maddison (1987). Le rattrapage constitue alors, en plus de la convergence, un autre phénomène explicatif de la croissance des produits par tête. Mais se pose le problème de la détermination d'un cadre théorique qui, tout en intégrant les deux mécanismes, permet de les séparer explicitement.

Nous intégrons, tout d'abord, les deux phénomènes dans un cadre où l'accumulation de technologie et l'accumulation de capital sont endogènes. Cependant, un tel modèle ne permet pas de dissocier explicitement convergence et rattrapage car les dynamiques des variables explicatives sont interdépendantes.

C'est pourquoi nous construisons un modèle de croissance dans lequel le progrès technique est exogène et correspond au progrès technique mondial. Mais les pays ne profitent pas tous de la même façon de ce progrès technique. Leur capacité d'exploitation dépend de deux éléments : (i) de l'écart de technologie entre le pays i et les USA, (ii) de la potentialité d'accumulation de la technologie du pays relativement aux USA (mesurée par le niveau d'éducation du pays relativement à celui des USA).

A partir de la construction de ce modèle, les apports de notre thèse sont de trois types : apports théoriques et apports empiriques en termes de l'analyse de la convergence et du rattrapage, apport en termes d'enseignement de politique économique.

Apport théorique

Notre modèle fait apparaître trois résultats approfondissant l'analyse de la croissance.

1. La résolution du modèle aboutit à **différentes situations de régime permanent** selon le taux d'épargne et la potentialité d'accumulation de la technologie. Ainsi les Etats-Unis, pays de référence à partir duquel se diffuse la technologie, peuvent être dépassés à l'état stationnaire et perdre leur leadership en termes de productivité du travail. Deux situations différentes peuvent se produire. La première situation correspond à une situation de dépassement par l'accumulation de technologie : le pays i dont la potentialité d'accumulation est relativement élevée peut à l'état stationnaire avoir un niveau de technologie supérieur à celui des USA. Le niveau de régime permanent de la production par tête est alors supérieur à celui des USA. La seconde est une situation de dépassement par l'accumulation de capital : l'existence d'une épargne importante dans le pays i lui assure un stock de capital par tête efficace élevé. Si les autres paramètres ne lui sont pas défavorables (en particulier la potentialité d'accumulation), il possède à l'état stationnaire la production par tête la plus élevée et dépasse ainsi les USA.
2. L'étude de la dynamique transitoire permet d'obtenir une **équation théorique séparant formellement la convergence et le rattrapage**. Le coefficient de convergence et le coefficient de rattrapage obtenus déterminent l'ampleur de chaque phénomène dans le rapprochement des PIB par tête.
3. Tout comme **la convergence peut être absolue** (même état stationnaire

pour tous les pays) **ou conditionnelle** (état stationnaire propre à chaque pays), notre modèle met en évidence que **le rattrapage peut être aussi absolu ou conditionnel**. Le rattrapage est absolu si, à l'état stationnaire, les pays ont le même niveau de technologie. En revanche, nous assistons à un rattrapage conditionnel s'il persiste des différences de niveaux de technologie. L'évolution globale de l'économie repose ainsi sur quatre mécanismes : (i) un mécanisme de rattrapage absolu et convergence absolue qui correspond au seul cas de rapprochement absolu. Tous les pays sont à long terme identiques en termes de production par tête. (ii) un mécanisme de rattrapage absolu et convergence conditionnelle. Les différences de niveaux de vie s'expliquent par des comportements d'épargne/investissement différents et non par des niveaux d'éducation différents. (iii) un mécanisme de rattrapage conditionnel et convergence absolue. Ce sont les écarts de technologie d'état stationnaire dus à des disparités dans les niveaux d'éducation qui maintiennent des disparités de niveaux de produit par tête. (iv) un mécanisme de rattrapage conditionnel et convergence conditionnelle. Chaque pays rattrape et converge vers son propre état stationnaire. Dans ces trois dernières situations, le rapprochement est conditionnel. Des différences persistent en termes d'épargne et/ou en termes d'éducation.

Apport empirique

Pour étudier empiriquement notre équation de rapprochement séparant convergence et rattrapage, une mesure de la technologie est nécessaire. **La construction d'un indicateur synthétique de technologie** constitue un des apports empiriques de notre thèse. Le niveau de technologie dépend, en effet, de nombreux

facteurs et il nous est apparu incorrect de le mesurer à partir d'un seul indicateur. Différents aspects de la technologie ont été retenus : les compétences humaines mesurées par le nombre de chercheurs (ou scientifiques) pour 10000 d'actifs, les ressources financières mesurées par les dépenses de R&D en pourcentage du PIB et l'efficacité du travail appréciée par le PIB par travailleur. Chaque variable est ramenée à un indice de façon à éliminer les différences d'unités de mesure ou d'échelle. Notre indicateur correspond à une moyenne arithmétique des indices.

Disposant d'une mesure du niveau de technologie, nous avons réalisé une analyse économétrique de l'équation de rapprochement. De cette étude, plusieurs résultats sont à souligner.

Tout d'abord, **sur un échantillon très hétérogène**, l'estimation du modèle de rapprochement met en évidence **l'absence de rattrapage**. L'introduction des écarts de technologie comme variable explicative du taux de croissance de la production par tête n'améliore pas les résultats de MRW. Seule la convergence conditionnelle explique le taux de croissance de la production par tête. Les écarts de technologie sont trop importants pour que les pays en retard bénéficient des technologies les plus avancées.

Lorsqu'on élimine les pays les moins avancés, l'absence de rattrapage est rejetée : **il existe un niveau de développement à partir duquel le rattrapage existe**. Les pays les moins avancés dont le niveau de développement est inférieur à ce seuil ne rattrapent pas.

Pour les pays dont le niveau de développement assure l'existence de rattrapage, les **pays à revenus intermédiaire et élevé, ce rattrapage est condi-**

tionnel aux niveaux d'éducation. La convergence existe toujours et reste conditionnelle aux taux d'épargne/investissement.

Pour les **pays à revenu élevé**, il existe un phénomène de **rattrapage absolu** et de convergence conditionnelle. Ce sont donc les différences de taux d'épargne/investissement qui expliquent les disparités de niveaux de vie et les différences de taux de croissance. Les niveaux de technologie d'état stationnaire sont les mêmes.

Enfin, sur la période 1970-1992, les résultats montrent que les pays rattrapent plus qu'ils ne convergent. Par ailleurs, en décalant la période d'étude de 1970-1992 à 1980-1992, il ressort que les pays à revenu intermédiaire ont fortement convergé et rattrapé pendant les années soixante dix. Pour les pays à revenu élevé, la convergence a été importante entre 1965 et 1970 et le rattrapage sur la période 1970-1980.

Ces résultats nous amènent à proposer des recommandations en termes de politique économique.

Apport en termes de politique économique

Selon le niveau de revenu par tête des pays, les recommandations de politique économique sont différentes.

Pour les pays les moins avancés, le rattrapage n'existe pas. Ces pays ont un niveau de revenu par tête insuffisant et doivent donc prioritairement sortir de

cette trappe à pauvreté. Avant d'envisager une quelconque adoption des technologies les plus avancées, ces pays doivent concentrer leurs efforts pour augmenter leur revenu par tête. Nous retrouvons ici les arguments traditionnels : renforcer les fondamentaux sociaux et économiques, encourager l'ouverture mais aussi investir en capital humain en insistant surtout sur l'éducation primaire.

Pour les pays à revenu élevé, la convergence est conditionnelle, des écarts de revenu par tête persistent. Pour égaliser les revenus par tête, ces pays doivent orienter leur politique de façon à harmoniser leur taux d'investissement. Ainsi, mener des politiques développant l'investissement doit permettre le rapprochement de leur PIB par tête.

Pour les pays à revenu intermédiaire, des différences de revenu par tête d'état régulier perdurent non seulement à cause de taux d'investissement différents mais aussi à cause de l'hétérogénéité des niveaux d'éducation. Certes, il leur faut mener des politiques d'investissement, mais ils doivent surtout concentrer leurs efforts à déplacer la technologie d'état stationnaire vers celle des pays à revenu élevé. Pour ces pays, mener des politiques développant l'éducation secondaire et universitaire doit leur permettre de se rapprocher des pays riches.

Les études réalisées portent sur la période 1970-1992, pour un échantillon donné de pays. Ces études ont, cependant, été limitées par le manque de données.

Face à l'importance grandissante de la technologie ces vingt dernières années, les données de technologie sont de plus en plus disponibles et permettent de faire

des comparaisons internationales. Elles existent depuis le milieu des années quatre-vingts non seulement pour les pays de l'OCDE mais aussi pour de nombreux pays en développement (Unesco (2001)). Par ailleurs, en plus du nombre de pays, ces données intègrent de nouvelles séries technologiques.

Compte tenu de ces progrès, un premier prolongement de notre travail serait d'améliorer notre indicateur de technologie, en incluant d'autres variables (en plus de celles déjà considérées) et en le calculant sur un nombre plus important de pays.

Dès que des données sur les taux d'investissement, comparables entre pays, seront disponibles, le second prolongement porterait sur l'estimation de notre équation de rapprochement, sur une période plus récente. Ces estimations devraient permettre de déterminer si le phénomène de rattrapage est observé par d'autres pays au cours des vingt dernières années.

Bibliographie

ABRAMOVITZ M. (1979) : "Thinking about growth and other essays on economic growth and welfare", *Cambridge University Press*, 187-219

ABRAMOVITZ M. (1986) : "Catching-up, forging ahead and falling behind", *Journal of Economic History*, 46, 2, 386-406

AGHION P. et HOWITT P. (1992) : "A model of growth through creative destruction", *Econometrica*, 30(4), 323-351

AGHION P. et HOWITT P. (1998) : *Endogenous growth theory*, MIT Press

ANDRES J., DOMENECH R. et MOLINAS C. (1996) : "Macroeconomic performance and convergence in OECD countries", *European Economic Review*, 40, 1683-1704

ARTUS P. et KAABI (1991) : "Croissance économique, dépenses publiques et modèle économique", *Cahier de Recherche de la Caisse des Dépôts et Consignations*

ASKENAZY P. (1999) : *Innovations technologiques et organisationnelles, internationalisation et inégalités*, Thèse de doctorat de l'EHESS

ASKENAZY P. (2000) : "Le développement des pratiques "flexibles" de

travail", complément D, *Conseil d'Analyse Economique*

AUBIN C. (1994): "Croissance endogène et coopération internationale", *Revue d'Economie Politique*, 104, p 97-117

BAILY M. et GORDON R. (1988): "Measurement issues, the slowdown and the explosion of computer power", *Brooking Papers on Economic Activities*

BARRO R. (1991): "Economic growth in a cross section of countries", *Quarterly Journal of Economics*, 106, 407-433

BARRO R. (1997): *Determinants of economic growth: a cross country empirical study*, MIT Press

BARRO R. (1999): "Notes on growth accounting", *Journal of Economic Growth*, 4, 119-137

BARRO R. et LEE J.W. (1993): "International comparisons of educational attainment", *Journal of Monetary Economics*, 32, 363-394

BARRO R. et LEE J.W. (2000): "International data set on educational attainment: updates and implications", Working Paper, *Center of International Development at Harvard University*

BARRO R. et SALA I MARTIN X. (1991): "Convergence across states and regions", *Brooking Papers on economic activity*, 1, 107-182

BARRO R. et SALA I MARTIN X. (1992): "Convergence", *Journal of Political Economy*, 100, 223-251

BARRO R. et SALA I MARTIN X. (1995a): "Capital mobility in neo-classical models of growth", NBER Working Paper n ° 4206

BARRO R. et SALA I MARTIN X. (1995b): *Economic growth*, Mac Graw Hill Ediscience

BARRO R. et SALA I MARTIN X. (1995c): "Technological diffusion,

convergence and growth", NBER Working Paper n ° 5151

BASU S. et WEIL D. (1998) : "Appropriate technology and growth", *Quarterly Journal of Economics*, 113, 1025-1054

BAUMOL W. (1986) : "Productivity growth, convergence and welfare", *American Economic Review*, 76(5), 1072-1085

BAUMOL W., BLACKMAN S. et WOLFF E. (1989) : *Productivity and american leadership : the long view*, MIT Press

BENHABIB J. et SPIEGEL M. (1994) : "The role of human capital in economic development : evidence from aggregate cross-country data", *Journal of Monetary Economics*, 34, 143-173

BERNARD A.B. et DURLAUF S.N. (1995) : "Convergence in international output", *Journal of Applied Econometrics*, 10, 97-108

BERNARD A.B. et DURLAUF S.N. (1996) : "Interpreting tests of the convergence hypothesis", *Journal of econometrics*, 71, 161-173

BERNARD A.B. et JONES C. (1996a) : "Technology and convergence", *Economic Journal*, 106, 1037-1044

BERNARD A.B. et JONES C. (1996b) : "Productivity across industries and countries : time series theory and evidence", *Review of Economic and Statistics*, 78, 135-146

BERTHELEMY J.C. et VAROUDAKIS A. (1996) : "Quelle politique pour un décollage économique?", Cahier de politique économique, n ° 12, OCDE

BLISS C. (1999) : "Galton's fallacy and economic convergence", *Oxford Economic Papers*, 51, 4-14

BRESNAHAM T.F., BRYNJOLFSSON E. et HITT L. (1999) : "Information technology, workplace organization and the demand for skilled labor :

firm level evidence", NBER Working Paper n ° 7136

CABALLERO R. et JAFFE A. (1993): "How high are the giants' shoulders: an empirical assessment of knowledge spillovers and creative destruction in a model of economic growth", in *NBER Macroeconomics Annual*, MIT Press, 15-74

CABALLERO R. et LYONS R.K. (1992): "External effects in US procyclical productivity", *Journal of Monetary Economics*, 29, 209-225

CADORET I. et TAVERA Ch. (1999): "Convergence structurelle des fondamentaux de la croissance", in *Tavera eds*, 257-294

CAMERON G. (1998): "Catch-up and leapfrog between the USA and Japan", Nuffield College, Oxford,

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(3), 363-389

CASS D. (1965): "Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation", *Review of Economic Studies*, 32, 233-240

COE D.T. et HELPMAN E. (1995): "International and spillovers", *European Economic Review*, 39(5), 859-887

CNUCED (2001): *Les pays les moins avancés : rapport 2000*

CONSEIL D'ANALYSE ECONOMIQUE (2000): *La nouvelle économie*, Documentation Française

CREPON B., DUGUET E. et MAIRESSE J. (2000): "Mesurer le rendement de l'innovation", *Economie et Statistique*, 334, 65-78

DAVID P. (1990): "The dynamo and the computer : an historical perspective on the modern productivity paradox", *American Economic Review Papers and*

Proceedings, 80, 355-361

DESDOIGTS A. (2000): "Neoclassical convergence versus technological catch-up: a contribution for reaching a consensus", document de travail CNRS

DE LA FUENTE A. (1995): "The empirics of growth and convergence: a selective review", *Journal of Economics and Dynamics control*, 21, 23-73

DE LA FUENTE A. (2000a): "Human capital and growth", Instituto de Analisis Economico, Working Paper

DE LA FUENTE A. (2000b): "Convergence across countries and regions: theory and empirics", Instituto de Analisis Economico, Working Paper

DE LONG J. (1988): "Productivity growth, convergence and welfare: a comment", *American Economic Review*, 78(5), 1138-1155

DE MELLO L.R. (1999): "Foreign direct investment-led growth: evidence from time series and panel data", *Oxford Economic Papers*, 51, 133-151

DIEWERT E. et FOX K. (1999): "Can measurement errors explain the productivity paradox?", *Canadian Journal of Economics*, 32, 251-280

DINOLOPOULOS E. et THOMPSON P. (1999): "Reassessing the empirical validity of the human capital augmented neoclassical growth model", *Journal of Evolutionary Economics*, 9, 135-154

DURLAUF S.N et JOHNSON P.A (1995): "Multiple regimes and cross-country growth behaviour", *Journal of Applied Econometrics*, 10, 365-384

DURLAUF S. et QUAH D. (1998): "The new empirics of economic growth", NBER Working paper n° 6422

EATON J. et KORTUM S. (1999): "International technology diffusion: theory and measurement", *International Economic Review*, 40, 537-570

ESCOT L. (1998): "Technological catch-up: gradual diffusion of technology

and convergence in the neoclassical growth model ", *International Advances in Economic Research*, 4, 24-33

EVANS et KARRAS (1996): "Convergence revisited", *Journal of Monetary Economics*, 37, 249-265

FAGERBERG J. (1987): "A technological gap approach to why growth rates differ", *Research Policy*, 16, 87-99

FAGERBERG J. (1994): "Technological and international differences in growth rates", *Journal of Economic Growth*, 32, 1147-1175

FÄRE R., GROSSKOPF S., NORRIS M., ZHANG Z. (1994): "Productivity growth, technical progress and efficiency change in industrialized countries", *American Economic Review*, 84(1), 66-83

FELDSTEIN M. et HORIOKA C. (1980): "Domestic saving international capital flows", *Economic Journal*, 90, 314-329

FINDLAY R. (1978): "Relative backwardness, direct foreign investment and the transfert of technology: a simple dynamic model ", *Quarterly Journal of Economics*, 92, 1-16

FRIEDMAN M. (1992) " Do old fallacies ever die?", *Journal of Economic Literature*, 30, 2129- 2132

FUSS C. (1999): "Mesures et tests de convergence: une revue de la littérature", *Revue de l'OFCE*, 69, 221-249

GALOR O. (1996): "Convergence? Inferences from theoretical models ", *Economic Journal*, 106, p 1056-1069

GASTIL R. (1991): "The comparative survey of freedom: experiences and suggestions", in Alex Inkeles, *On measuring democracy*, New Brunswick

GORDON R. (1999): "Has the "new economy" rendered the productivity

slowdown obsolete?", mimeo Northwestern University

GORDON R. (2000): "Does the "new economy" measure up to the great inventions of the past?", *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 49-74

GRILICHES Z. (1979): "Issues in assessing the contribution of R&D to productivity growth", *Bell Journal of Economics*, 10, 92-116

GRILICHES Z. (1984): "R&D, patents and productivity", NBER, University of Chicago Press

GROSSMAN G. et E. HELPMAN (1991): *Innovation and growth in the global economy*, MIT Press

HALL R. (1988): "The relation between price and marginal costs in US industries", *Journal of Political Economy*, 96, 921-947

HALL R. et JONES C. (1996a): "Fundamental determinants of output per worker", mimeo Stanford University

HALL R. et JONES C. (1996b): "Productivity of nations", NBER Working Paper, n ° 5812

HENIN P.Y et LE PEN Y. (1995): "Les épisodes de convergence européenne", *Revue Economique*, 667-677

HOTELLING H. (1933): "Review of the triumph of mediocrity in business", *Journal of American Statistic Association*, 28(184), 463-465

HULTEN C. (2000): "Total factor productivity: a short biography", NBER Working Paper n ° 7471

ISLAM N. (1995): "Growth empirics: a panel data approach", *Quarterly Journal of Economics*, 1127-1170

JEAN PIERRE Ph. (1997): "Sélection et tests de seuil de convergence", *Revue Economique*, 48, 429-440

- JOLY P.** (1993): "Le ralentissement de la productivité: faits et causes", *INSEE Méthodes*
- JOHANSEN S.** (1988): "Statistical analysis of cointegration vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231-254
- JONES C.** (1995): "R&D based models of economic growth", *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-784
- JONES C.** (1996): "Human capital, ideas and economic growth", mimeo Stanford University
- JONES C.** (1997): "Convergence revisited", *Journal of Economic Growth*, 131-153
- JONES C.** (1998): *Introduction to economic growth*, Norton
- JONES C.** (1999): "Growth: with or without scale effects?", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 139-144
- JORGENSON D. et GRILICHES Z.** (1967): "The explanation of productivity change", *Review of Economic Studies*, 34, 249-283
- KING R. et REBELO S.** (1993): "Transitional dynamics and economic growth in the neoclassical model", *American Economic Review*, 83, 908-931
- KLENOW P. et RODRIGUEZ-CLARE A.** (1997a): "Economic growth: a review essay ", *Journal of Monetary Economics*, 40, 597-617
- KLENOW P. et RODRIGUEZ-CLARE A.** (1997b): "A neoclassical revival in growth economics: has it gone too far?", *NBER Macroeconomics Annuals*, 73-103
- KNIGHT M., LOAYZA N., VILLANUEVA D.** (1993): "Testing the neoclassical theory of economic growth: a panel data approach ", *International Monetary Fund Staff Paper*, 40, 512-540

KOOPMANS T. (1965): "On the concept of optimal economic growth", *Econometric approach to development planning, North Holland*

KRUGMAN P. (1979): "A model of innovation, technology transfer, and the world distribution of income ", *Journal of Political Economy*, 87, 2, 253-266

LE PEN Y. (1997): " Convergence internationale des revenus par tête: un tour d'horizon ", *Revue d'Economie Politique*, 107, 715-756

LOTKA A. (1939): *Théorie analytique des associations biologiques*, Hermann

LUCAS R. (1988): "On the mechanics of development planning", *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42

MADDISON A. (1982): *Phases of capitalistic development*, Oxford University Press

MADDISON A. (1987): "Growth and slowdown in advanced capitalistic economies", *Journal of Economic Literature*, 25, 647-698

MADDISON A. (1991): *Dynamic forces in capitalist development: a long run comparative view*, Oxford University Press

MADDISON A. (1995): *L'économie mondiale: 1820-1992*, OECD Press

MANKIW N., ROMER D. et WEIL D. (1992): "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics*, 57, 407-437

MAIRESSE J. et MOHNEN P. (1990): "R&D et productivité", *Economie et Statistique*, 237-238

MOUNET C. (2000): "Diffusion des connaissances dans un modèle de croissance endogène", Working Paper, Centre de Recherche en Macroéconomie Monétaire

NONNEMAN W. et VANHOUDT P. (1996): "A further augmentation

of the Solow model and the empirics of economic growth for OECD countries ", *Quarterly Journal of Economics*, 943-953

NELSON R. and PHELPS E. (1966): "Investment in humans, technological diffusion and economic growth ", *American Economic Review*, 61, 69-75

OBSERVATOIRE DES SCIENCES ET TECHNIQUES (2000): *Science et technologies : indicateurs 2000*, Economica

OCDE (2000): *Principaux indicateurs de Sciences et Technologies*

OCDE (2001a): "The new economy : beyond the hype", *OCDE publications*

OCDE (2001b): "Foreign direct investment and sustainable development", *OCDE publications*

PAPAGEORGIU C. (1999): "Human capital as a facilitator of innovation and imitation in economic growth: further evidences from cross country regression", mimeo Louisiana State University

PAVITT K. et SOETE L. (1982): "International differences in economic growth and the international location of innovation", in *Emerging technologies: consequences for economic growth, structural change and employment*, 102-133

PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DEVELOPPEMENT (2001): *Rapport mondial sur le développement humain*, De Boeck

QUAH D. (1992): "International patterns of growth : persistence in cross country disparities", London School of Economics Working Paper

QUAH D. (1993a): "Empirical cross-section dynamics in economic growth", *European Economic Review*, 37, 426-434

QUAH D. (1993b): "Galton's fallacy and tests of convergence hypothesis", *Scandinavian Journal of Economics*, 95, 427-443

QUAH D. (1996a): "Empirics for economic growth and convergence", *Eu-*

European Economic Review, 40, 1353-1375

QUAH D. (1996b): "Convergence empirics across economies with (some) capital mobility ", *Journal of Economic Growth*, 1, 95-124

QUAH D. (1996c): "Regional convergence clusters across europe", *European Economic Review*, 40, 951-958

QUAH D. (1996d): "Twin peaks: growth and convergence in models of distribution dynamics ", *Economic Journal*, 106, 1045-1055

RAUNET M. (2001): "De l'exode à la mobilisation des compétences dans le cadre d'un véritable codéveloppement", rapport du Conseil Economique et Social, 2001-15

RIVERA-BATIZ L.A et ROMER P. (1991): "Economic integration and endogenous growth", *Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 531-555

RIVERA-BATIZ L.A et D.XIE (1992): "GATT, trade and growth", *American Economic Review*, 82(2), 422-427

ROMER P. (1986): "Increasing returns and long run growth", *Journal of Political Economy*, 1002-1037

ROMER P. (1990): "Endogenous technological change", *Journal of Political Economy*, 98, 5, part II, S71-S102

SALA I MARTIN X. (1996a): "Regional cohesion : evidence and theory of regional growth and convergence ", *European Economic Review*, 40, 1325-1352

SALA I MARTIN X. (1996b): "The classical approach to convergence analysis", *Economic Journal*, 106, 1019-1036

SALA I MARTIN X. (1997): "I have just ran two million regressions", *American Economic Review*, 87, 178-183

SERRANITO F. (2000): *Intégration économique internationale et crois-*

sance : fondements théoriques et éléments empiriques, thèse de Doctorat, Université d'Orléans

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", *Review of Economics and Statistics*, 39 312-320

SUMMERS R. et HESTON A. (1988a): "A new set of international comparisons of real product and price levels estimates for 130 countries", 1950-1985, *Review of Income and Wealth*, 34, 1-26

SUMMERS R. et HESTON A. (1988b): "The Penn World Table: an expanded set of international comparisons, 1950-1988", *Quarterly Journal of Economics*, 327-368

SUMMERS R. et HESTON A. (1996): "Price and quantity comparisons: potentials and pitfalls", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 20-24

ST AUBYN M. (1999): "Convergence across industrialised countries (1890-1989): new results using time series methods", *Empirical Economics*, 24(1), 23-44

TAVERA C. (1999): *La convergence des économies européennes*, Economica

TAVERA C. (1999): "Convergence au sens de Maastricht, convergence économique et convergence structurelle: concepts et tests économétriques", in *Tavera eds*, 19-52

TEMPLE J. (1998): "Appropriate technology: five growth puzzles solved"

TEMPLE J. (1999): "The new growth evidence", *Journal of Economic Literature*, 37, 112-156

TEMPLE J. (2001): "Growth effects of education and social capital in the OECD countries", *OECD economic studies*, forthcoming

UNESCO (1973): *Statistical yearbook*

UNESCO (1999): *Statistical yearbook*

UNITED NATIONS DEVELOPMENT REPORT (1999): Statistical Report, <http://www.undp.org/hdro/indicators.html>.

VALDES B. (1999): *Economic growth: theory, empirics and policy*, Edward Elgar eds

VERSPAGEN B. (1991): "A new empirical approach to catching up or falling behind", *Structural Change and Economic Dynamics*, 2, 2, 359-381

WORLD BANK (1997): *World Development Indicators*

YOUNG (1995): "The tyranny of numbers: confronting the statistical realities of the east asian growth experience", *Quarterly Journal of Economics*, 641-680

Table des matières

Introduction générale	1
1 Définitions et limites du concept de convergence	14
Introduction	15
1.1 La notion de convergence	16
1.1.1 Différentes définitions de la convergence	16
1.1.1.1 La β convergence: relation entre taux de crois- sance et niveau initial du PIB par tête	16
1.1.1.2 La σ convergence: réduction de la dispersion des PIB par tête	22
1.1.1.3 La S convergence: stationnarité des écarts de PIB par tête	23
1.1.2 Principaux résultats des études empiriques	25
1.1.2.1 Les études de β convergence	25
1.1.2.2 Les études de σ convergence	28
1.1.2.3 Les études de S convergence	31
1.1.3 Imperfection des mesures du phénomène de convergence . .	34

1.1.3.1	Limite de la σ convergence : une mesure trop descriptive de la convergence	34
1.1.3.2	La S convergence : une définition trop restrictive de la convergence	41
1.2	Remise en cause des tests de β convergence	43
1.2.1	Erreurs de mesure et biais de sélection	44
1.2.2	Unicité et stabilité des coefficients	46
1.2.3	Effets spécifiques	48
1.2.4	Problème de la mesure du capital humain	49
1.2.5	Prise en compte de la technologie dans l'équation de convergence	51
	Conclusion	56
	Annexes du chapitre 1	58
2	Convergence et rattrapage : quelle modélisation retenir pour les séparer ?	64
	Introduction	65
2.1	Illusion d'une séparation dans un modèle de croissance semi endogène	67
2.1.1	Pertinence du modèle de Jones (1995)	67
2.1.2	Introduction des transferts de technologie dans le modèle de Jones	69
2.1.2.1	La technologie de production	69
2.1.2.2	L'accumulation de capital	70
2.1.2.3	Le secteur de la recherche	71

2.1.2.4	Les conséquences de l'ouverture sur la fonction de production des idées	73
2.1.3	Insensibilité du taux de croissance d'état stationnaire aux transferts de technologie	75
2.1.4	Effets des transferts de technologie pendant la dynamique transitoire	78
2.1.4.1	L'ouverture à la connaissance dans un modèle à la Jones	78
2.1.4.2	Transformation de la situation de croissance à taux constant en situation de croissance à taux nul	80
2.1.4.3	Détermination du taux de croissance de la production par tête	80
2.1.4.4	Evolution du taux de croissance de la production par tête	82
2.1.5	Séparation illusoire de la convergence et du rattrapage	84
2.2	Impossibilité d'une séparation dans un modèle canonique de croissance endogène	85
2.2.1	Présentation générale du modèle canonique	86
2.2.1.1	Les hypothèses du modèle	86
2.2.1.2	Le problème d'optimisation de l'agent représentatif	88
2.2.2	Les différentes étapes de la résolution du modèle	90
2.2.2.1	Taux de croissance d'état stationnaire	91
2.2.2.2	Changement de variables et système dynamique fonctionnel	92

2.2.2.3	Etude de la dynamique transitoire: l'impossible séparation entre convergence et rattrapage	93
	Conclusion	97
	Annexes du chapitre 2	99
3	Un modèle théorique de rapprochement des PIB par tête	118
	Introduction	119
3.1	Présentation du cadre d'analyse	120
3.1.1	Croissance de la technologie: arguments et hypothèses	120
3.1.1.1	Abandon du cadre leader/suiveur	121
3.1.1.2	Prise en compte des différences de développement dans l'accumulation de technologie	124
3.1.1.3	Facteurs influençant la capacité d'exploitation du progrès technique	125
3.1.2	Autres hypothèses du modèle	131
3.1.2.1	Technologie de production	131
3.1.2.2	Processus d'accumulation de capital	132
3.2	Etude du régime permanent	132
3.2.1	Niveau relatif de la technologie à l'état stationnaire	133
3.2.2	Capital par tête efficace d'état stationnaire	134
3.2.3	Niveau relatif de la production par tête d'état stationnaire: la possibilité d'un dépassement	135
3.3	Dynamique transitoire: mécanisme de convergence et mécanisme de rattrapage	138
3.3.1	Dynamique du niveau relatif de la technologie: rattrapage absolu, rattrapage conditionnel	139
		262

3.3.2	Dynamique du capital par tête efficace: convergence absolue, convergence conditionnelle	141
3.3.3	Dynamique de la production par tête	143
3.3.3.1	Taux de croissance de la production par tête de dynamique transitoire dans le modèle traditionnel de Solow	143
3.3.3.2	Coefficient de convergence et coefficient de rattrapage: équation de dynamique transitoire du PIB par tête	144
3.3.3.3	Equations de rapprochement théorique et empirique	146
	Conclusion	150
	Annexes du chapitre 3	152
4	Mesure de la technologie: des limites de la productivité totale des facteurs à la construction d'un indicateur synthétique	154
	Introduction	155
4.1	Productivité totale des facteurs (PTF): une mesure imparfaite de la technologie	157
4.1.1	Approche en termes de taux de croissance: le résidu de Solow	157
4.1.2	Approche par le niveau de la PTF	162
4.1.3	Limites de la PTF	164
4.1.3.1	Le paradoxe de Solow	164
4.1.3.2	Hétérogénéité des facteurs explicatifs	167
4.2	Autres définitions de la technologie	170
4.2.1	Technologie et apport de connaissances	170

4.2.1.1	La technologie mesurée par les outputs	170
4.2.1.2	La technologie mesurée par les inputs	174
4.2.2	Technologie et efficacité du travail	179
4.3	Elaboration d'un indicateur synthétique de technologie	181
4.3.1	Indicateur de développement technologique	181
4.3.2	L'indicateur synthétique de technologie	183
4.3.2.1	Choix des variables	183
4.3.2.2	Calcul des indices	184
4.3.2.3	Calcul de l'indicateur synthétique	185
	Conclusion	190
	Annexes du chapitre 4	192
5	Séparation de la convergence et du rattrapage: analyse empirique du rapprochement des PIB par tête	197
	Introduction	198
5.1	Présentation de l'étude	199
5.1.1	Spécification des équations	199
5.1.2	Données utilisées	202
5.1.2.1	Pays étudiés	202
5.1.2.2	Choix de la période d'estimation	203
5.1.2.3	Description des variables	205
5.2	Effets des écarts de technologie dans le rapprochement du PIB par tête des pays de l'OCDE	207
5.2.1	Présentation des résultats des estimations	207
5.2.2	Convergence conditionnelle et rattrapage absolu	209

5.2.3	Estimation des coefficients de convergence et de rattrapage	211
5.3	Influence du niveau de développement des pays dans le rattrapage mondial	213
5.3.1	Absence de rattrapage au niveau mondial	213
5.3.2	Existence d'un seuil de rattrapage	216
5.3.3	Nature du rattrapage selon le niveau de développement des pays	219
5.3.4	Estimation des coefficients de convergence et de rattrapage	222
5.4	Orientation des politiques économiques selon le niveau de développement des pays	224
5.4.1	Sortir de la trappe à pauvreté pour les pays les moins avancés	224
5.4.2	Politiques d'investissement pour les pays à revenu élevé . .	226
5.4.3	Politiques éducatives pour les pays à revenu intermédiaire	229
Conclusion	232
Annexes du chapitre 5	234
Conclusion générale		237
Bibliographie		246

