



Document de travail

Des contraintes aux contributions des investissements en R&D aux États-Unis

N° 2007-16
Juillet 2007

Frank Paolucci
Université de la Réunion CERESUR
DRIC-OFCE

INTRODUCTION

Le déclin relatif des pays européens vis à vis des États-Unis invite à s'interroger sur les fondements de ces performances macroéconomiques significativement différentes. La longévité de la phase ascendante du cycle de croissance américain est souvent interprétée comme l'émergence d'une « Nouvelle Economie » : une nouvelle économie fondée sur une accélération des investissements et des innovations, en particulier celles des nouvelles Technologies d'information et de communication (NTIC). Cette vision de la dynamique économique, en particulier pour les États-Unis, semble d'ailleurs être confortée par de nombreuses études empiriques, qui révèlent un retour à la stabilité des principaux indicateurs macro-économiques (surtout pour les années 90), ainsi qu'une relative uniformité et une moindre sévérité des phases descendantes. Deux constats empiriques peuvent d'ores et déjà être mentionnés : d'une part, l'accélération des investissements en NTIC depuis le début des années 90 aux USA. D'autre part, la part croissance des investissements en R&D dans le PIB.

La croissance, en particulier les fondamentaux de la croissance ont connu une profonde mutation à partir du début des années 90 : l'avènement de la part du capital intangible (éducation, formation, K humain, R&D) et la diffusion des NTIC ont considérablement modifié les sources et la vitesse de l'innovation et du changement technologique. Outre les effets sur la productivité, la « connaissance » a participé de la création et la pérennisation de nouvelles industries (industries Telecom, Multimedia, e-commerce...) mais également a favorisé l'adoption de modèles organisationnels originaux censés faciliter la diffusion des gains de productivité contenus dans ces nouvelles technologies. Il se pose naturellement alors la question des déterminants des dépenses en R&D. Bien sûr, il existe un large consensus théorique selon lequel l'innovation, et ce quelle que soit sa forme, est déterminée par le degré de concurrence et la taille de la firme. Cette hypothèse, bien que pratique sur le plan formel, n'en reste pas moins difficile à conforter sur un plan empirique. Ainsi, Cohen, Leven et Mowery (1987) ou Gerosky (1994) relativisent respectivement les effets de taille et de pouvoir de marché sur l'intensité capitaliste en R&D. La compréhension des décisions d'investissement, et surtout des décisions en matière de capital intangible, nécessite selon nous de lier ces décisions à l'environnement économique dans lequel elles s'insèrent. Les théories Néo-Classique de la croissance considèrent comme donnée la tendance à l'équilibre. Elles sont, cependant, amenées à opérer des restrictions contestables sur les conditions de fonctionnement du système économique. Outre les hypothèses traditionnelles de rationalité substantive et d'anticipation rationnelle, les principales écoles de pensée supposent que l'activité de production est parfaitement synchronisée, de sorte que l'introduction d'une nouvelle technologie ou l'exploitation d'une « connaissance améliorée » produit des gains de productivité instantanés. Or, chacun garde en mémoire la paradoxe de Solow, qui ne peut pour certains se résumer à une mesure erronée dans la structure des indices-prix et indices-quantités employés pour estimer la productivité totale des facteurs (Sichel, 1997 ; Triplett, 2002). Probablement alors que les problèmes de coordination du système économique doivent être élargis afin de considérer l'incertitude inhérente à toute décision d'investissement, a fortiori lorsque celles-ci concernent le capital intangible.

Probablement alors que les variables endogènes à l'accumulation de connaissance exercent des effets modulés au cours du temps, en raison justement du caractère plus ou moins « incertain » de l'environnement économique ainsi que du caractère « risqué » des retours sur investissements en R&D.

La **Section I** examine en particulier la singularité des dépenses en R&D. Elle s'attache à souligner comment et pourquoi le caractère risqué inhérent à ces décisions ne permet plus d'envisager l'exploitation immédiate des gains de productivité contenus dans les nouvelles technologies ou les nouvelles connaissances. La **Section II** présente un modèle économétrique linéaire d'une fonction de production Cobb-Douglas « Augmentée » sur données américaines. Elle souligne les effets significatifs des dépenses en R&D sur le produit des États-Unis au cours des quinze dernières années. Elle conforte de fait le rôle majeur que peuvent jouer des politiques de promotion à l'investissement en capital intangible. La définition des objectifs et des moyens des ces politiques demeure pour autant en suspens. La **Section III** tente d'y répondre par l'estimation d'un modèle linéaire d'accumulation du capital testé sur les mêmes données américaines, puis par l'élaboration et l'évaluation d'un modèle dit de transition douce afin d'identifier les changements de régimes des dépenses en R&D et de les relier avec des préconisations positives. La **Section IV** propose la simulation d'un modèle dynamique reprenant les équations constitutives des sections précédentes. Il s'agit d'apprécier, au travers de l'examen de différents scénarii, les réponses du produit américain suite à des changements de conditions d'accumulation de capital intangible. La **Section V** conclut.

SECTION 1

INCERTITUDE DE L'ENVIRONNEMENT ET ACCUMULATION DE CONNAISSANCE

L'environnement est, en théorie économique, le plus souvent appréhendé à l'aide des concepts d'*état du monde* et d'*événements*. Un état du monde est, en soi, un élément de connaissance d'une extrême complexité. Il comprend l'univers physique des événements passés, présents et à venir. Il décrit non seulement la connaissance individuelle et partagée des agents, mais aussi la probabilité qu'ils assignent à chaque événement ainsi que la probabilité associée à chaque agent d'assigner une probabilité à chaque événement. Il spécifie, en outre, les actions des agents ainsi que leurs opinions croisées concernant les actions des autres, et ce, à l'infini. Il comprend, enfin, l'utilité associée à chaque action effective ou potentielle, ainsi que l'opinion des agents concernant l'utilité associée à chacune des actions des autres etc. (J. Geanakoplos 1992, p.57).

L'environnement définit donc un espace plus ou moins complexe selon que les états du monde qui le compose sont dénombrables et connus a priori (notion d'environnement certain), que les lois statistiques objectives censées régir leur occurrence probable sont connues (notions d'environnement risqué au sens de F. Knight 1921), ou que les individus sont capables de construire des ensembles exhaustifs et complets d'événements auxquels sont attribués des « degrés de croyances » sous forme de distributions de probabilités subjectives (notion d'environnement incertain au sens de L.J. Savage 1954).

L'environnement est alors qualifié d'« ergodique » (i.e. objectif), i.e. homogène et identique pour tous les agents. Dans ce cadre, les distributions de probabilités subjectives convergent nécessairement vers les distributions objectives, de sorte que les hypothèses traditionnelles de rationalité substantive et d'anticipation rationnelle deviennent applicables.

Or, il est important selon nous de souligner l'existence d'une double contrainte -rarement prise en compte dans les modélisations probabilistes de la prise de décision et de l'environnement- pesant sur les décisions d'investissement, en particulier sur les décisions d'investissement en connaissance :

1- Une contrainte de cohérence temporelle avec les investissements passés (« effet d'irréversibilité ») : il s'agit alors de reconnaître la dimension temporelle de la production, i.e. que les investissements, qu'ils soient de nature physique ou intangible, impliquent une restructuration partielle de l'appareil productif pour pouvoir rendre effectifs les gains de productivité contenus dans les nouvelles technologies.

2- Une contrainte d'incertitude (« effet d'anticipation »). N. Bloom (2007) recense deux effets de l'incertitude sur les décisions d'investissement en R&D : d'une part, une incertitude plus importante provoque une réduction des investissements et de la progression de la productivité en raison de « delay effect ». D'autre part, les firmes tendent à être moins sensibles aux changements de leur environnement (« caution effect »).

Dans ce cadre, les décisions d'investissement reflètent principalement la tension qui existe entre les décisions passées de l'investisseur et les représentations qu'il forme de son environnement futur. Il s'agit, selon G.L.S. Shackle, de considérer conjointement, et ce au moment précis de la prise de décision (i.e. le « moment solitaire » ou moment présent ; G.L.S. Shackle 1961), la mémoire que l'investisseur possède de ses choix passés, et l'imagination des conséquences que sa (ou ses) décision(s) d'investissement est (sont) susceptible(s) de produire. Ces conséquences sont par nature incertaines, i.e. inconnues *a priori*.

Nous devons reconnaître que l'analyse des spécificités de l'accumulation de capital intangible renforce ce point de vue. Par définition, il existe une incertitude élevée quant aux résultats produits par les dépenses en R&D, certes plus élevée en recherche « fondamentale » qu'en recherche « appliquée ».

Parallèlement, l'évolution des conditions d'offre et de demande de l'économie reste difficilement appréciable. A. Dixit et R. Pindyck (1994) ou A. Abel et J. Eberly (1996) évoquent justement des « effets de retard » pour comprendre les ajustements graduels et partiels des décisions d'accumulation de capital. Cela rejoint l'analyse de N. Bloom (2007) concernant la dynamique des dépenses en R&D en présence d'une incertitude quant à la productivité future et les conditions de demande. Une incertitude plus élevée induit des « effets de prudence » sur l'accumulation de capital intangible. De fait, plutôt que de réagir instantanément aux nouvelles conditions de demande, les firmes tendent à

être « inertiques » afin de ne pas adopter des comportements stratégiques qui pourraient s'avérer erronés par la suite et donc plus coûteux.

Il existe aujourd'hui un consensus théorique sur le fonctionnement de la dynamique économique. Il repose pour autant sur des bases fragiles. La raison en est, qu'en plus de conférer aux agents une faculté substantielle de calculs d'optimisation intertemporelle, les principales écoles de pensée supposent que l'activité de production est parfaitement synchronisée, de sorte qu'elle répond instantanément à tout changement réel (i.e. choc de demande et de productivité). En ce sens, l'activité entrepreneuriale, lorsqu'elle est explicitement présente, renvoie à une idée caricaturale du processus de production. La firme s'apparente au concept de « boîte noire » : il suffit finalement d'introduire une quantité optimale de facteurs de travail et de capital, afin de s'adapter automatiquement aux conditions de marché.

Dans ces modèles, la source de croissance s'incarne alors dans un progrès technique, qui est soit donné (Modèle de Solow par exemple), soit endogénéisé par l'introduction d'effets d'apprentissage (Modèles de Romer, 1986-1990 entre autres). Le sentier de croissance décrit une situation de dynamique équilibrée, correspondant à la maximisation de fonction d'utilité intertemporelle.

Les seuls problèmes de coordination résultent de l'incapacité relative des agents à interpréter l'évolution des variables réelles ou monétaires. Nous pouvons raisonnablement penser que l'augmentation des gains de productivité est tributaire de la mise en œuvre de nouvelles technologies, et donc tributaire de la mise en œuvre de nouveaux processus de production.

La pérennité de la croissance est donc implicitement dépendante du degré d'efficacité de l'ensemble des processus de coordination du système économique. Autrement dit, il semble difficile de croire que l'apparition d'une nouvelle technologie produise des effets quasi-instantanés sur l'efficacité productive des entreprises.

Il est donc difficile de croire que les dépenses en R&D génèrent des effets positifs de manière instantanée ou du moins de manière automatique. Par exemple, le développement et l'exploitation de plateformes Internet pour les entreprises n'ont pas été immédiats. Bien que la technologie fût présente, il a fallu pour ces entreprises reconsidérer la manière de travailler et adapter ce nouvel outil aux différents stades de production (marketing, commercial, RD, service comptable...). L'incorporation d'une technologie prend du temps, l'adaptation et sa mise en œuvre également. Ce n'est qu'après une partielle (ou totale dans certain cas) refonte du processus de production que cette nouvelle technologie permet d'accroître l'efficacité productive. En d'autres termes, sur le plan macroéconomique, l'apparition et le développement d'une nouvelle technologie ne suffisent pas en soi à expliquer l'accroissement des gains de productivité. Il convient de considérer les « effets de gestation » des investissements : ils découlent principalement des conditions de réorganisation sectorielle (J.R. Hicks, 1973) et du processus même de production (M. Amendola, J.L. Gaffard, 1998), qui empêchent les firmes d'obtenir des retours sur

investissements instantanés, et qui de fait, conditionnent la réalisation des gains de productivité contenus dans les nouvelles technologies.

L'hypothèse d'anticipations parfaitement rationnelles devient inadaptée face à un environnement qui change de période en période. L'incapacité des agents, à prendre en considération l'ensemble des événements présents et futurs, découle de la nécessité d'opérer des ajustements modulés en fonction des choix présents et passés. Les hypothèses d'irréversibilité des dépenses d'investissement et de dimension temporelle attribuée à la production légitime cette vision séquentielle de l'ajustement de la dynamique économique. De fait, les déterminants aux décisions d'investissement intangibles ne devraient probablement pas entretenir une relation purement linéaire, compte tenu de la complexité de l'environnement dans lequel ils s'inscrivent.

SECTION 2

INVESTIGATION EMPIRIQUE DES EFFETS DES DEPENSES DE R&D SUR LE PRODUIT

Les facteurs de production, (entendons par là le capital humain, le capital physique et le capital en R&D) ainsi que le niveau de productivité sont les deux sources essentielles de croissance de la production. Il convient de souligner le caractère particulier des dépenses en R&D. Assurément, la croissance de l'efficacité productive d'un secteur dépend tout autant de ses propres dépenses en R&D que des dépenses en R&D des autres secteurs (J.I. Berstein, 1996 ; J.E. Stiglitz, 1999). De fait, la croissance est bien déterminée par le total cumulé des investissements en capital intangible. Le passage d'une analyse microéconomique à une analyse macroéconomique s'en trouve alors facilité : la progression globale de la production est soumise au rôle respectif des trois facteurs évoqués ci-dessus, le poids de chacun des déterminants englobant les effets individuels sectoriels et de partage inter-sectoriel. Bien évidemment, l'agrégation n'a de sens que si nous souhaitons appréhender l'impact partagé des facteurs de production sur la dynamique économique. Cela laisse en suspens la contribution et les déterminants de ces mêmes facteurs pour chacune des industries (J.I Bernstein et M. Nadiri, 1988 ; J. Mairesse et M. Sassenou, 1991).

Pour appréhender clairement le rôle des dépenses en R&D et leur contribution au niveau de la croissance, nous procédons à l'estimation en MCO d'une fonction Cobb Douglas Augmentée. L'estimation de cette équation, pour les États-Unis sur la période 1990-2004, conforte les principales études menées sur la R&D, i.e. le capital intangible contribue de manière significative au taux de croissance.

La distinction entre le capital physique (précisément celui dédié à la production de biens et de services) et du capital intangible ne pré-suppose pas une indépendance entre ces deux processus d'accumulation. Le développement d'un modèle dynamique (**Section 3 suivante**) offre un éclairage sur la manière dont l'investissement en connaissance interagit avec l'investissement en capital physique, et ce compte tenu des possibilités de substitution d'une firme maximisatrice.

L'articulation entre capital physique et connaissance s'inscrit dans une logique séquentielle : les firmes décident en priorité du montant alloué à l'accumulation de capital physique. En priorité parce que les contraintes de complémentarité avec les décisions passées sont plus élevées et que les retours sur investissement apparaissent plus rapides. Deux effets sont donc à l'œuvre dans la relation capital physique/capital intangible : d'une part, des effets de complémentarité plus importants pour le capital physique et d'autre part, des effets de gestation plus longs pour le capital intangible.

Soit une fonction de production de type Cobb-Douglas augmentée par la prise en compte des dépenses en R&D de sorte que :

$$Y_t = A_{\alpha,t} K_{t-r}^{\alpha_1} L_{w,t-u}^{\alpha_2} G_{t-\theta}^{\alpha_3}$$

Avec :

Y_t la production en t ,

$A_{\alpha,t}$: facteur technologique spécifique,

K_{t-r} : le capital physique en $t-r$,

L_{t-u} : le facteur travail en $t-u$ (hors R&D),

$G_{t-\theta}$: le capital en R&D en $t-\theta$.

Cette formalisation introduit explicitement des retards de gestation entre les dépenses en facteur de production et les mouvements du produit, en raison de retours sur investissements, en capital physique ou en R&D, non immédiats. De fait, nous devrions nous attendre à la relation suivante :

$$\theta > r > u$$

D'où en Log :

(1.1)

$$y_t = a_{\alpha,t} + \alpha_1 k_{t-r} + \alpha_2 l_{w,t-u} + \alpha_3 g_{t-\theta}$$

L'équation estimée se présente comme suit :

(1.2)

$$y_t = a_{\alpha,t} + \sum_{r=0}^{\infty} \alpha_r k_{t-r} + \sum_{u=0}^{\infty} \alpha_u l_{w,t-u} + \sum_{\theta=0}^{\infty} \alpha_{\theta} g_{t-\theta} + e_t$$

Cette équation est estimée en log et en différences premières (I(1)), sur données trimestrielles pour la période 1990-2004 aux USA. Les données sont issues des tables NIPA de la base BEA. Les résultats présentés (Tableau 1 suivant) sont la conséquence d'une série de simulation d'estimation fondée sur les critères Akaike et Schwartz pour déterminer l'ordre des retards de chacune des variables explicatives.

Tableau 1/

α_1	α_2	α_3
0.4** (0.06)	0.6** (0.15)	0.09* (0.11)
R ² Ajusté: 0.56	Probabilité (Fisher) : 0.00	Breusch-Godfrey Test (Probabilité) : 0.43

L'estimation de cette fonction Cobb Douglas Augmentée conforte évidemment le poids des dépenses en R&D sur la croissance du produit américain. La lecture des coefficients rejoint celle faite par M. Nadiri (1979) :

1. Les coefficients ont des signes correctes et sont tous significatifs au seuil 5 %.
2. L'élasticité du travail (α_2) est la plus importante, en s'établissant à 0.6, alors que celle du capital physique est approximativement de 0.4.
3. L'élasticité du produit par rapport au capital intangible apparaît être la plus faible, comparée aux deux précédentes

Compte tenu de cette première estimation, il apparaît très clairement que les dépenses en R&D contribuent de manière significative à la croissance du produit américain pour la période 1990-2004. Cela implique qu'une réduction significative des dépenses en R&D peut avoir des effets dommageables sur l'économie, ce qui concourt à favoriser l'investissement en R&D.

J.I. Berstein (1996) considère qu'en raison des effets de diffusion sur l'ensemble de la dynamique économique, les politiques de promotion à l'investissement intangible ne devraient pas cibler des industries en particulier. Le gouvernement pourrait, en ce sens, développer les synergies industrielles et favoriser entre autres les développements conjoints entre des nouveaux produits et des projets de « laboratoire ».

Les politiques fiscales, notamment celles qualifiées de « Tax Credit » devraient également avoir un rôle à jouer, bien évidemment si le coût du capital en R&D constitue un déterminant essentiel à l'accumulation de connaissance (voir **Section 3** suivante).

Il n'en reste pas moins que ces politiques de promotion de la R&D risquent d'être difficilement appréciables : la raison en est qu'il est délicat de comprendre la totalité des retombées de l'augmentation des connaissances. Cela est d'autant plus délicat dans un environnement incertain dans lequel les relations au sein des firmes et entre les firmes sont complexifiées par des effets de complémentarités intertemporelles et des effets de diffusion. Tout porte à croire que l'estimation des avantages tirés d'une politique de promotion, quelle qu'elle soit, sera sous estimée, non seulement pour ce qui est des effets sur la dynamique de production mais également pour leur contribution à l'amélioration du niveau de vie grâce à des taux de croissance de la productivité probablement plus élevés.

SECTION 3/

LES DEPENSES EN R&D COMME CHOIX STRATEGIQUE DYNAMIQUE DES FIRMES

De la même manière que pour des décisions en capital physique dédiées à la production, l'accumulation des connaissances répond à une stratégie de développement des firmes soucieuses de s'intégrer sur de nouveaux marchés ou de développer de nouvelles compétences pour un objectif final de maximisation de profit.

Afin de comprendre l'articulation entre les décisions en capital physique et celles en R&D, nous développons un modèle dynamique d'une firme qui pour maximiser son profit a recours à trois types de facteurs : le travail, le K physique et le K intangible.

L'apport de ce modèle se situe à deux niveaux : d'une part, en distinguant ces deux types de capital, il offre un éclairage des processus de coordination des décisions en matière d'investissement. D'autre part, au niveau agrégé, cette formalisation permet d'appréhender les déterminants fondamentaux des investissements en R&D. Comme nous pouvions nous en douter, le processus d'accumulation de capital intangible ne peut être appréhendé dans sa totalité par une relation parfaitement stable entre ses différents déterminants. Nous développerons alors un modèle STR afin de rendre compte de la complexité de la dynamique d'accumulation de capital intangible des États-Unis.

Soit une firme price-taker qui maximise la valeur actualisée de son cash-flow générée par trois types d'actifs, le stock de capital physique (K_t), le stock de capital en R&D (G_t) et le montant de main d'œuvre ($L_{w,t}$) consacré hors R&D.

Le profit en t se définit comme une fonction de facteurs quasi-fixes de la forme suivante :

(2.1)

$$\pi_t = \pi(K_{t-r}; L_{w,t-u}; G_{t-\theta}; A_{\alpha,t})$$

avec K_t , G_t et L_t , respectivement les stocks d'intrants en capital physique, intangible et humain en fin de période t , r , u et θ étant des retards de gestation.

La construction de ce modèle suppose donc que le problème pour les firmes consiste à choisir un niveau optimal pour ces trois intrants de sorte à maximiser son profit. Si la fonction d'accumulation de capital en R&D répond à la forme standard d'accumulation de capital :

(2.2)

$$RI_t = (G_t - G_{t-1}) + \partial_{R\&D} G_{t-1}$$

avec :

G_t : le stock de capital en R&D, RI_t : l'investissement en R&D,

et $\partial_{R\&D}$: le taux de dépréciation du capital en R&D.

Alors l'enjeu des firmes consiste à choisir des niveaux d'investissement en capital physique et en R&D ainsi qu'un montant de main d'oeuvre qui maximisent les valeurs actualisées et anticipées des flux de Cash-Flow :

(2.3)

$$Max V_t = E_t \sum_{j=0}^{\infty} \gamma^j \left(\pi_{t+j} - a_{t+j} I_{t+j} - b_{t+j} R I_{t+j} - c_{t+j} W_{w,t+j} \right)$$

compte tenu des contraintes d'accumulation de capital physique et en R&D définies en (2.14) et (3.2).

(2.4)

$$\begin{aligned} Max V_t &= E_t \sum_{j=0}^{\infty} \gamma^j \left[\pi_{t+j} - a_{t+j} I_{t+j} - b_{t+j} R I_{t+j} - c_{t+j} W_{w,t+j} \right] \\ \Leftrightarrow & b_t (1 - \partial_{R\&D}) G_{t-1} + E_t \sum_{j=0}^{\theta-1} \gamma^j \pi_{t+j} \left(K_{t+j-r}; G_{t+j-\theta}; L_{t+j-u}; A_{\alpha_i,t+j} \right) \\ & + E_t \sum_{j=0}^{\infty} \gamma^j \left[\begin{aligned} & \gamma^\theta \pi_{t+j+\theta} \left(K_{t+j-(R-\theta)}; G_{t+j}; L_{w,t+j-(u-\theta)}; A_{\alpha_i,t+j} \right) \\ & - a_{t+j} I_{t+j} - e_{t+j} G_{t+j} - c_{t+j} W_{w,t+j} \end{aligned} \right] \end{aligned}$$

Avec $e_{t+j} = b_t - \gamma(1 - \partial_{R\&D}) E_t(b_{t+1}) \Rightarrow$ le coût du capital en R&D.

Le choix optimal des dépenses en R&D nécessite d'examiner les conditions du premier ordre de sorte que :

(2.5)

$$\begin{aligned} Max V_t &\Leftrightarrow \frac{\partial V_t}{\partial G_t} = E_t \left[\gamma^i \left(\frac{\partial \pi_{t+\theta+j}}{\partial G_t} \times \gamma^\theta \right) \right] = \gamma^i e_t \\ \Leftrightarrow & E_t \left[\frac{\partial \pi_{t+\theta+j} (K_{t-(r-\theta)}; G_t; L_{t-(u-\theta)}; A_{\alpha_3,t+j})}{\partial G_t} \right] \times \gamma^\theta = e_t \end{aligned}$$

Notons que si $\theta > r$, i.e. si les dépenses en R&D s'inscrivent sur une plus longue période, alors G_{t-1}, \dots, G_{t-r} affectent V_t . En supposant que les profits sont proportionnels aux ventes :

(2.6)

$$\begin{aligned} \pi(K_t; G_t; L_{w,t}; A_{\alpha_i,t}) &= \mu A_t K_{t-r}^{\alpha_1} L_{w,t-u}^{\alpha_2} G_{t-\theta}^{\alpha_3} \\ \Rightarrow E_t \left[\gamma^\theta \frac{\partial \pi}{\partial G_t} \right] &= \left[\alpha^3 \mu A_{t+\theta} K_{t-(r-\theta)}^{\alpha_1} L_{w,t-(u-\theta)}^{\alpha_2} G_t^{\alpha_3-1} \right] \gamma^\theta - e_t = 0 \\ \Leftrightarrow \alpha_3 A_{t+\theta} G_t^{\alpha_3-1} K_{t-(r-\theta)}^{\alpha_1} L_{t-(u-\theta)}^{\alpha_2} &= e_t \gamma^{-\theta} \end{aligned}$$

Ce qui donne sous forme Log :

(2.7)

$$\alpha_3 + a_{t+\theta} - (1 - \alpha_3)g_t + \alpha_1 k_{t-(r-\theta)} + \alpha_2 l_{w,t-(u-\theta)} = e_t - \theta\gamma$$

$$g_t = (\alpha_1 k_{t-(r-\theta)} + \alpha_2 l_{w,t-(u-\theta)} + \alpha_3 + a_{t+\theta} - e_t + \theta\gamma) \times (1 - \alpha_3)^{-1}$$

(2.8)

$$\Leftrightarrow g_t = \phi_1 k_{t-(r-\theta)} + \phi_2 l_{w,t-(u-\theta)} + \phi_3 (a_{t+\theta} - e_t) + \phi_4$$

avec :

$$\phi_1 = \frac{\alpha_1}{1 - \alpha_3}$$

$$\phi_2 = \frac{\alpha_2}{1 - \alpha_3}$$

$$\phi_3 = \frac{1}{\alpha_3 - 1}$$

$$\phi_4 = \frac{\alpha_3 + \theta\gamma}{1 - \alpha_3}$$

Sur un plan économétrique, comme le biais technologique en R&D ne peut être observé, et en supposant que l'accroissement de la productivité en R&D procède en partie de la dynamique du capital social (« doing by sharing »), l'équation (3.8) devient :

(2.9)

$$g_t = \sum_{\rho=0}^{\infty} C_{1,\rho} k_{t-\rho} + \sum_{\mathcal{G}=0}^{\infty} C_{2,\mathcal{G}} l_{w,t-\mathcal{G}} + \sum_{t=0}^{\infty} C_{3,t} e_t + \sum_{j=0}^{\infty} C_{4,j} g_{t-j} + \phi_4 + e_t$$

Avec :

$$\rho = r - \theta \text{ et } \mathcal{G} = r - u$$

Le coût du capital en R&D peut être approché par les caractéristiques propres du capital en R&D : en effet, les investissements en R&D concernent à la fois des dépenses en capital physique spécifique ainsi que du capital humain dédié uniquement à ce service.

Formellement :

(2.10)

$$e_t = \psi \times r_t + \xi \times w_{R\&D,t}$$

avec :

$$\psi = \frac{G_t - w_{R\&D,t}}{K_t + G_t}$$

$$r_t = \left(rr_t + \delta - \frac{\dot{p}_t}{p_{k,t}} \right) p_{k,t} \left(\frac{1 - ITC}{1 - CTR} \right)$$

$$\xi = \frac{Emploi_{R\&D}}{Emploi_{total}}$$

$$w_{R\&D,t} = \frac{Salaire_{R\&D}}{Produit}$$

L'équation (2.9) est estimée en log et en différences premières sur données trimestrielles pour la période 1990-2004 aux les États-Unis.

Tableau 2/

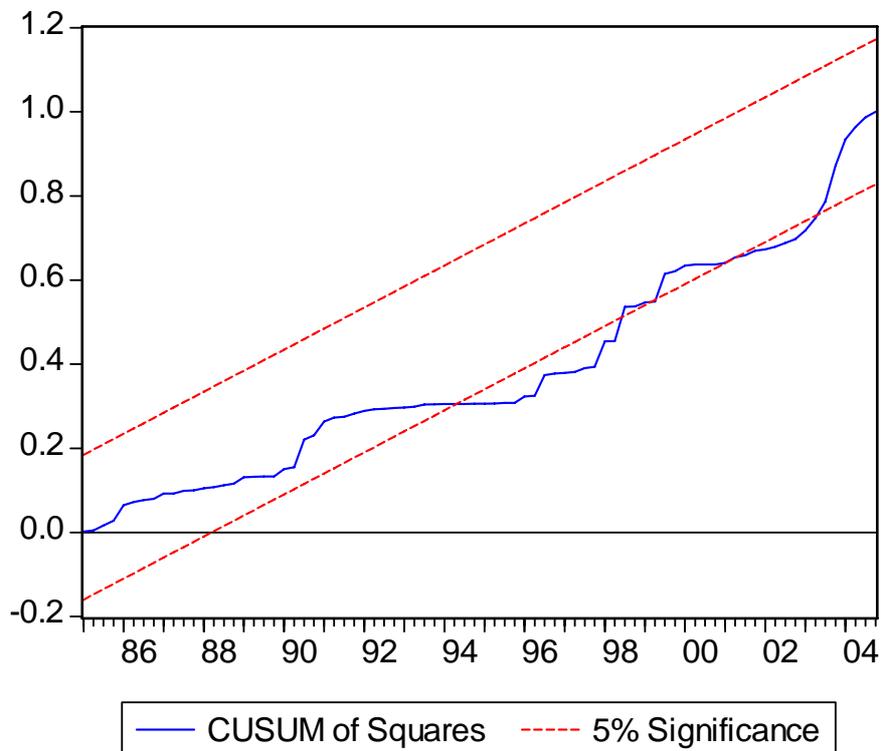
C(1)	C(2)	C(3)	C(4)
0.45** (0.06)	0.31** (0.15)	- 0.09* (0.11)	0.77** (0.03)
R ² Ajusté: 0.75	Probabilité (Fisher) : 0.00	Breusch-Godfrey Test (Probabilité) : 0.26	

** : significatif au seuil 1 % ; * : significatif au seuil 5 %.

Si les différentes estimations des paramètres semblent conforter les résultats standards, il est toutefois délicat de proposer une quelconque interprétation. Les tests de spécification concernant la variabilité des coefficients estimés invalident l'utilisation des Moindres Carrés Ordinaires pour apprécier l'évolution du stock de capital intangible. La méthode Cusum Carré (fondée sur le principe de régression récursive) semble, en effet, rejeter la stabilité des paramètres.

En bref, la détection de ruptures aléatoires, traduisant une instabilité des paramètres, nécessite de rejeter le modèle linéaire d'accumulation de capital intangible. Elle traduit des changements de régimes qui peuvent s'expliquer par les changements de régime d'investissement induits par des variables réelles ou monétaires. Il convient, alors, de déterminer la ou les variables explicatives de ces changements de régimes. Les modèles STR (*Smooth Transition Regression*) peuvent offrir un éclairage sur les variables impliquées, puisque leur formalisation autorise les changements de régimes grâce à l'introduction de *fonctions de transition* (Teräsvirta 1994, 1997, 1998).

**Graphique 1/
Test Cusum Carré**



Le modèle générique est de la forme suivante :

(2.11)

$$G_t = \alpha + \lambda G_{t-1} + \sum_{i=0}^T \beta_i K_{t-i} + \sum_{i=0}^T \gamma_i l_{t-i} + \sum_{i=0}^T C_{it-i} \quad (\text{Partie Linéaire})$$

$$+ \left(\sum_{i=0}^T \varphi_i K_{t-i} + \sum_{i=0}^T \mu_i l_{t-i} + \sum_{i=0}^T \omega_i C_{it-i} \right) \times \left(1 + e^{\{-\tau \times (K_{t-1} - \psi)\}} \right)^{-1} \quad (\text{Partie Non Linéaire})$$

Avec :

$\lambda, \beta_i, \gamma_i, \phi_i$: les coefficients du modèle linéaire ;

$\varphi_i, \mu_i, \omega_i$: les paramètres potentiels de la fonction de transition;

τ , la vitesse de changement des valeurs constitutives de la fonction de transition ;

ψ , le seuil de changement de régimes ;

Les variables sont identiques à celles utilisées pour les modèles linéaires.

La partie linéaire du modèle STR reprend exactement la formulation du modèle modifié. La partie non linéaire associe ces mêmes variables exogènes à une fonction logistique qui change de manière autonome avec les valeurs du stock de capital de la période précédente. Cette fonction,

bornée par définition par 0 et 1 et associée aux variables exogènes initiales, permet de moduler la valeur des coefficients de ces mêmes variables au cours du temps et donc de pallier la variabilité constatée précédemment par les tests Cusum Carré. L'accumulation du capital intangible étant a priori cyclique, cela permet d'ajuster le poids de certaines variables explicatives entre deux changements de régimes. Les valeurs prises par la fonction de transition traduisent essentiellement des changements de vitesse de l'accumulation du capital intangible ou autrement dit une « aversion à l'investissement » plus ou moins importante. De fait, la vitesse d'ajustement augmente lorsque cette fonction tend vers 1, et diminue lorsqu'elle tend vers 0.

L'interprétation des coefficients intervenant dans la fonction de transition est cependant délicate. La non linéarité de cette fonction ne permet évidemment pas de comprendre les coefficients comme des élasticités. C'est davantage sur un plan qualitatif que doit reposer l'analyse des modèles STR. Si certaines variables sont associées à la fonction de transition, alors c'est qu'elles jouent un rôle dans les changements constatés des régimes d'investissement. Nous tenterons néanmoins d'appréhender plus finement les interactions dynamiques entre le produit, l'accumulation de capital physique et de capital intangible par la simulation d'un modèle déterministe (**Section 4** suivante).

Le modèle retenu pour les États-Unis se présente de la manière suivante :

(2.12)

$$G_t = \alpha + C(1) \times G_{t-2} + C(2) \times K_{t+4} + C(3) \times I_t + C(4) \times C_{t-6} \quad (\text{Partie Linéaire})$$

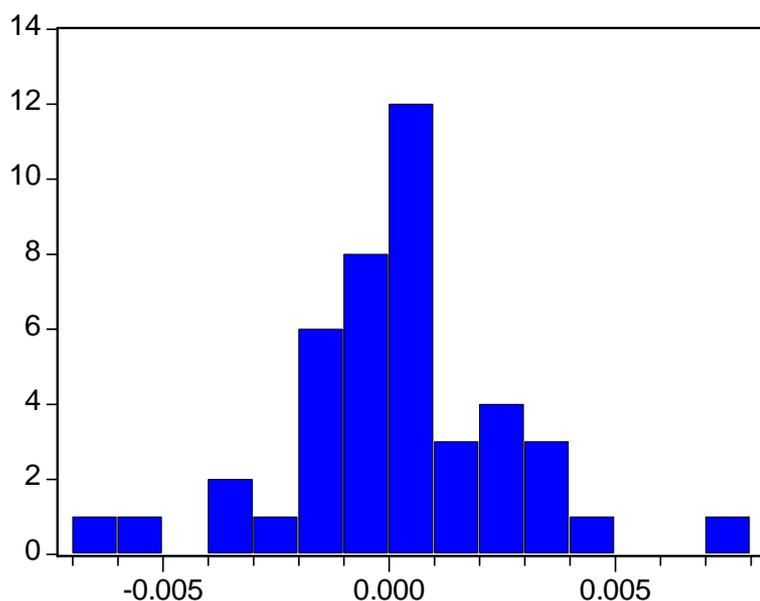
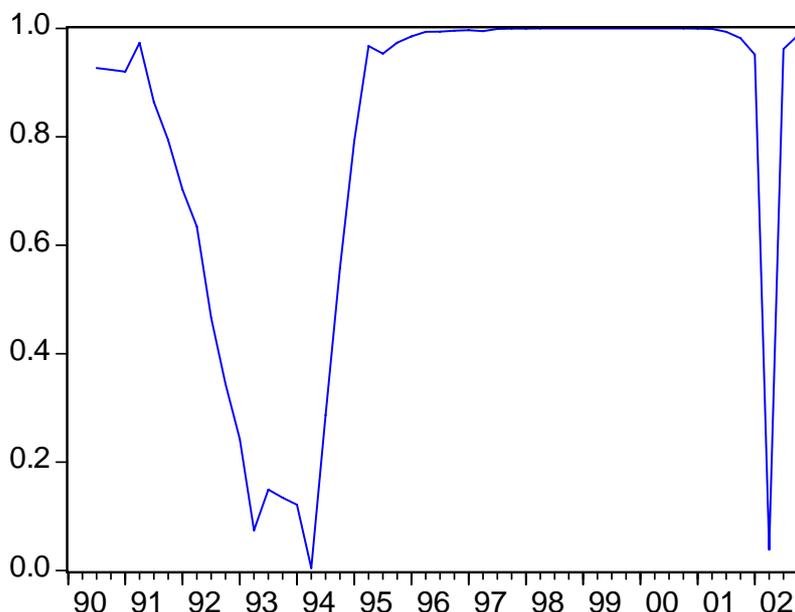
$$+ (C(5) \times I_{t-2} + C(6) \times C_{t-6} + C(7) \times K_t) \times \left[1 + e^{-C(8)(G_{t-1} - C(9))} \right]^{-1} \quad (\text{Partie Non Linéaire})$$

Tableau 3/ Résultats de l'estimation du modèle STR.

C(1)	C(2)	C(3)	C(4)	C(5)	C(6)	C(7)	C(8)	C(9)
0.57**	0.11	0.44*	-0.1**	0.26*	0.07*	0.36**	506**	0.0096**
(0.14)	(0.13)	(0.12)	(0.039)	(0.14)	(0.37)	(0.14)	(222)	(0.0014)
R ² Ajusté: 0.89			Probabilité (Fisher) : 0.00			Breusch-Godfrey Test (Probabilité) : 0.48		

* : significatif au seuil de 10 % ; ** : significatif au seuil de 5 %.

**Graphique 2/
Allure de la fonction de transition**



Series: Residuals	
Sample 1992Q2 2002Q4	
Observations 43	
Mean	0.000172
Median	0.000123
Maximum	0.007317
Minimum	-0.006031
Std. Dev.	0.002514
Skewness	0.156719
Kurtosis	3.953414
Jarque-Bera	1.804641
Probability	0.405627

Les firmes évoluent dans un environnement incertain dans lequel elles doivent prendre des décisions plus ou moins facilement révisables. Parmi celles-ci, les décisions d'investissement, qu'elles soient en capital physique ou en capital intangible, ne peuvent probablement pas être considérées comme réversibles sans coût. Ces décisions imposent en effet le plus souvent une restructuration de l'appareil productif, les choix passés conditionnant la mise en place de nouveaux processus de production. Les imperfections du système économique, ou plus

précisément les erreurs décisionnelles qui font suite à ces imperfections, sont alors incarnées dans la structure productive. Selon J.E. Stiglitz (1999), « we may make poor decisions on the basis of what we know...and we may misrepresent our knowledge or lack of it when dealing with the others ». Dans de telles circonstances, il est peu probable que les déterminants en matière d'investissement, et ce quelle que soit la nature de ces investissements, entretiennent une relation purement linéaire, stable au cours du temps. Des ajustements graduels doivent être mis en œuvre pour relativiser les incertitudes quant aux conséquences des choix en matière d'investissement.

La non linéarité avérée de l'équation (3.9) se fonde sur une variabilité du poids des déterminants. Il est donc légitime de penser que les variables explicatives ne jouent pas le même rôle bien entendu, mais surtout qu'elles n'affectent pas de la même manière le processus d'accumulation en capital intangible au cours du temps.

L'estimation du modèle STR semble conforter l'idée de changements structurels des décisions en matière de R&D aux USA au cours de la période 1984-2004 et confirme l'idée que les variables impliquées dans de tels changements concernent également des « variables d'opportunité » (i.e. les variations des salaires ainsi que le coût de la R&D). Effectivement, les processus d'accélération/décélération des dépenses en capital intangible sont aussi conditionnés par les valeurs prises par ces deux variables exogènes.

Le poids des variables impliquées dans la fonction de transition peut justifier certaines des préconisations en matière de revalorisation et de stimulation des programmes de recherche et de développement. En particulier, deux facteurs sont impliqués dans la stimulation de la dynamique de R&D aux États-Unis: le salaire en R&D ainsi que le coût spécifique du capital intangible. Des préconisations normatives en ce sens méritent de se fonder sur la dynamique globale du système économique, compte tenu des inter dépendances entretenues par l'accumulation de capital physique, les dépenses en R&D et la croissance aux États-Unis.

SECTION 4/

ANALYSE DYNAMIQUE ET MULTIVARIEE DE L'IMPACT DES INVESTISSEMENTS EN R&D SUR LA CROISSANCE DES ÉTATS-UNIS

Jusqu'alors, nous avons présenté les équations constitutives du produit (1.2) et de l'accumulation de capital intangible (2.12) ainsi que leurs estimations respectives en Moindres Carrés Ordinaires (MCO) et Moindres Carrés Non Linéaires (MCNL). Compte tenu du rôle

privilegié attribué à l'accumulation de capital physique (en particulier du fait qu'elle constitue une variable exogène à la fois pour le produit et les investissements en R&D), il convient, avant de dégager toute préconisation normative, de préciser ses conditions d'accumulation. Le modèle de référence retenu est un modèle d'ajustement du stock de capital d'inspiration néo-classique (S. Tevlin, K. Whelan, 1998) qui considère conjointement les coûts d'ajustement du stock de capital entre deux périodes, ainsi que les déviations séparant le stock effectif du stock optimal.

Formellement, cela se traduit par la minimisation de la fonction quadratique suivante :

$$\text{Min } E_t \sum_{m=0}^{\infty} \theta^m \left([k_{t+m} - k_{t+m}^*]^2 + \alpha [k_{t+m} - k_{t+m-1}]^2 \right) \quad (3.1)$$

Avec θ : le taux d'actualisation.

Les conditions de premier ordre du programme sont alors :

$$E_t \left[-k_{t+1} + \left(1 + \frac{1}{\theta} + \frac{1}{\alpha\theta} \right) k_t - \frac{1}{\theta} k_{t-1} - \frac{1}{\alpha\theta} k_t^* \right] = 0 \quad (3.2)$$

Si nous considérons l'équation caractéristique suivante :

$$X^2 - \left(1 + \frac{1}{\theta} + \frac{1}{\alpha\theta} \right) X + \frac{1}{\theta} = 0 \quad (3.3)$$

L'Equation (3) admet deux racines définies par, $0 < \lambda < 1$, et $\frac{1}{\lambda\theta}$,

Compte tenu du faite que $F K_t = K_{t+1}$ et $L K_t = K_{t-1}$, l'équation (2.2) peut être formulée de la manière suivante :

$$-F K_t + \left(1 + \frac{1}{\theta} + \frac{1}{\alpha\theta} \right) K_t - \frac{1}{\theta} L K_t = \left(-F + 1 + \frac{1}{\theta} + \frac{1}{\alpha\theta} - \frac{1}{\theta} L \right) K_t \quad (3.4)$$

En multipliant l'équation (4) par FL, nous obtenons :

(3.5)

$$\left(-F^2 + \left(1 + \frac{1}{\theta} + \frac{1}{\alpha\theta} \right) F - \frac{1}{\theta} F \right) L K_t = -(F - \lambda) \left(F - \frac{1}{\lambda\theta} \right) L K_t$$

Les conditions de premier ordre sont :

$$E_t \left[- (F - \lambda) \left(F - \frac{1}{\lambda \theta} \right) L K_t - \frac{1}{\alpha \theta} K_t^* \right] = 0 \quad (3.6)$$

$$-K_{t+1} + \lambda K_t + \frac{K_t}{g\lambda} - \frac{1}{g} K_{t-1} - \frac{1}{\alpha \theta} K_t^* = 0 \quad (3.7)$$

En multipliant l'équation (2.7) par $\theta\lambda$, nous obtenons :

$$-\theta\lambda K_{t+1} + \lambda^2 \theta K_t + K_t - \lambda K_{t-1} - \frac{\lambda}{\alpha} K_t^* = 0 \quad (3.8)$$

En procédant par substitution et considérant que :

$0 < \lambda < 1$ et $0 < \theta < 1$ de sorte que limite $(\lambda\theta)^n = 0$ quand $n \rightarrow +\infty$, nous obtenons :

$$(\lambda\theta)^n (I - \lambda F) K_{t+n} = 0 \quad (3.9)$$

Une solution du programme de maximisation est :

$$k_t = \lambda k_{t-1} + \frac{\lambda}{\alpha} E_t \left[\sum_{n=0}^{\infty} (\theta\lambda)^n k_{t+n}^* \right] \quad (3.10)$$

Compte tenu des équations (3.5) et (3.6), les coefficients doivent respecter la condition suivante :

$$-(1 - \lambda)(1 - 1/\lambda\theta) = 1/\alpha\theta$$

$$-1 + \lambda + 1/\lambda\theta - 1/\theta = 1/\alpha\theta$$

En multipliant par $\theta\lambda$, nous obtenons les conditions suivantes :

$$-\lambda\theta + \lambda^2\theta + 1 - \lambda = \lambda/\alpha$$

$$(1 - \lambda)(1 - \lambda\theta) = \lambda/\alpha \quad (3.11)$$

Compte tenu des conditions (3.11), l'équation (3.10) prend la forme suivante :

$$\Delta k_t = (1 - \lambda)(k_t^{**} - k_{t-1}) \quad (3.12)$$

$$\text{avec } k_t^{**} = (1 - \lambda\theta) E_t \left[\sum_{n=0}^{\infty} (\theta\lambda)^n k_{t+n}^* \right]$$

Si $k_t^* = \eta_t + y_t - \sigma r_t$, (avec η_t , correspondant aux effets des changements technologiques), le processus d'accumulation du capital peut être défini de la manière suivante :

$$k_t = \lambda k_{t-1} + (1 - \lambda) (1 - \theta\lambda) (\kappa(L)y_t - \sigma \mu(L)r_t) + \eta'_t \quad (3.13)$$

avec $\kappa(L)$ and $\mu(L)$, comme approximation des effets du produit et du coût du capital sur k_t^{**} , par l'utilisation de la formule of L.P. Hansen and T. Sargent (1980).

Puisque la variable de biais technologique ne peut pas être observée, l'équation estimée est alors :

$$k_t = \alpha + \lambda^* k_{t-1} + \sum_{i=0}^N \beta_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^N \gamma_i r_{t-i} + u_t. \quad (3.14)$$

Avec :

k_t : le stock de capital, y_t : le montant du produit et r_t : le coût du capital.

Le coût du capital est estimé à partir de la formule Hall-Jorgenson de sorte que :

$$r_t = \left(rr_t + \partial - \frac{\dot{p}_t}{p_{k,t}} \right) p_{k,t} \left(\frac{1 - ITC}{1 - CTR} \right)$$

Avec :

rr_t : taux d'intérêt réel.

∂ : taux de dépréciation du capital physique.

CTR : Taux d'imposition sur capital.

ITC : crédit d'impôt sur investissement.

$p_{k,t}$: le prix du capital relatif au prix du produit.

Les trois équations constitutives du modèle dynamique multivarié que nous utiliserons pour simuler différents scénarii sont donc les suivantes :

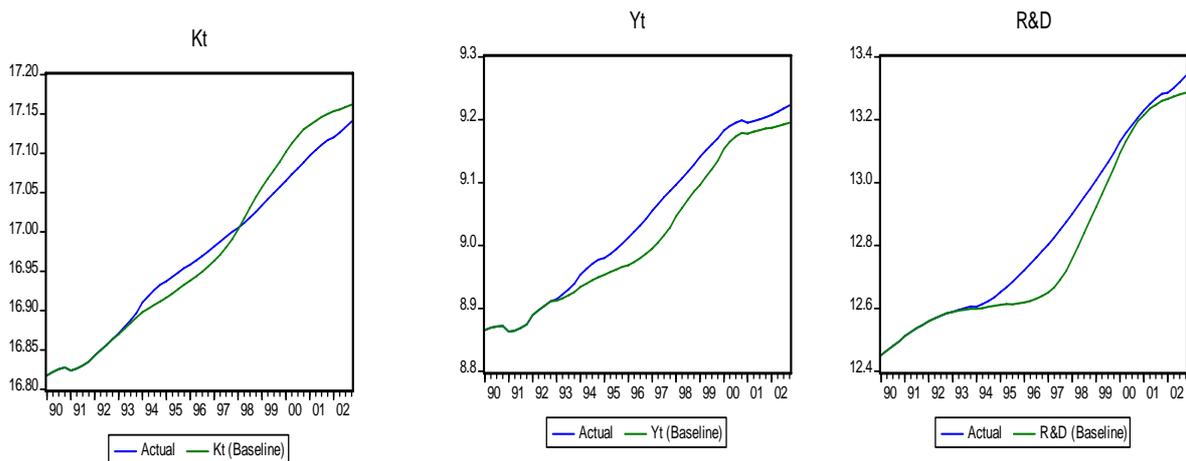
$$1- K_t = \alpha + \lambda^* K_{t-1} + \sum_{i=0}^N \beta_i Y_{t-i} + \sum_{i=0}^N \gamma_i R_{t-i} + u_t.$$

$$2- G_t = \alpha + C(1) \times G_{t-2} + C(2) \times K_{t+4} + C(3) \times I_t + C(4) \times C_{t-6} \\ + (C(5) \times I_{t-2} + C(6) \times C_{t-6} + C(7) \times K_t) \times \left[1 + e^{-C(8)(G_{t-1} - C(9))} \right]^{-1}$$

$$3- Y_t = a_{\alpha,t} + \sum_{r=0}^{\infty} \alpha_r K_{t-r} + \sum_{u=0}^{\infty} \alpha_u L_{w,t-u} + \sum_{\theta=0}^{\infty} \alpha_{\theta} G_{t-\theta} + e_t$$

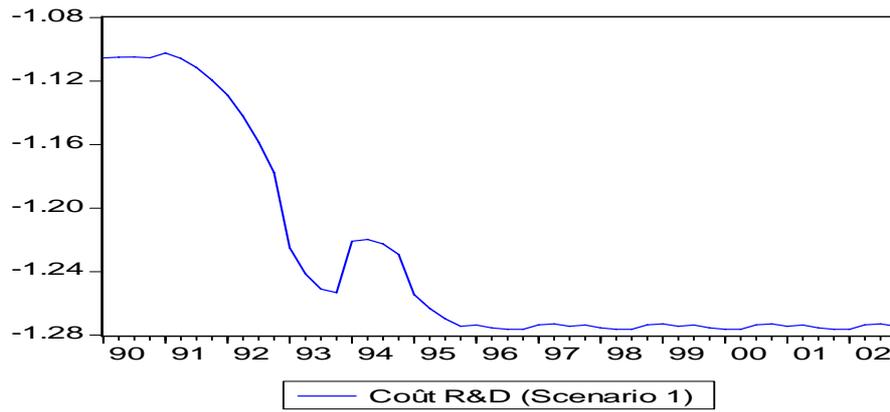
Pour résoudre ce système, nous utilisons les procédures MCO et MCNL pour estimer les différents paramètres. Cette procédure, bien qu'avantageuse par sa simplicité, ne peut être considérée comme strictement valide, dans la mesure où Y_t apparaît à la fois comme une variable endogène et exogène. De fait, nous devrions nous attendre à ce que Y_t soit corrélé avec les résidus des équations. L'utilisation des Doubles Moindres Carrés ordinaires permettrait de lever ce problème, en l'absence de relation non linéaire. C'est la raison pour laquelle nous considérerons pour la suite de l'analyse que l'application des MCO reste néanmoins efficiente.

L'estimation de ces trois équations offre une qualité d'ajustement tout à fait satisfaisante au regard des graphes suivants :

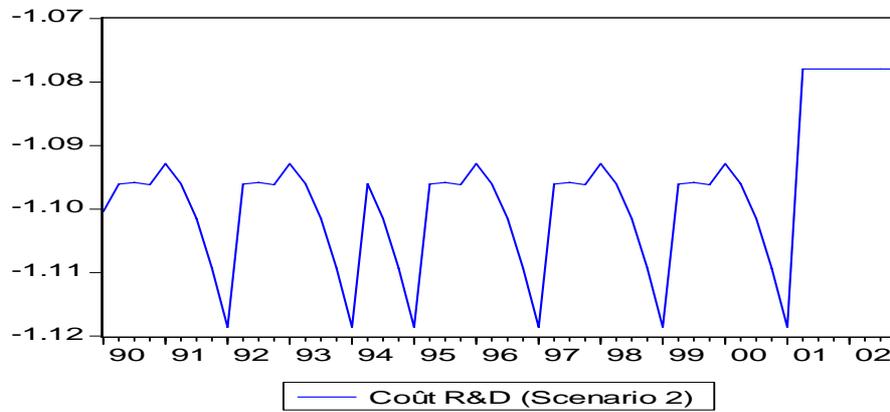


Le modèle est simulé sous une forme déterministe. Une telle simulation consiste en une analyse de la structure globale du modèle en limitant les valeurs des variables constitutives à leurs valeurs réelles et en résolvant chaque équation du modèle, pour chaque observation, en utilisant un algorithme itératif (i.e. Algorithme de Newton). Cette procédure présente l'avantage d'apprécier l'évolution du système dans sa globalité en composant différents scénarii relatifs à l'évolution de variables stratégiques. 5 scénarii sont présentés :

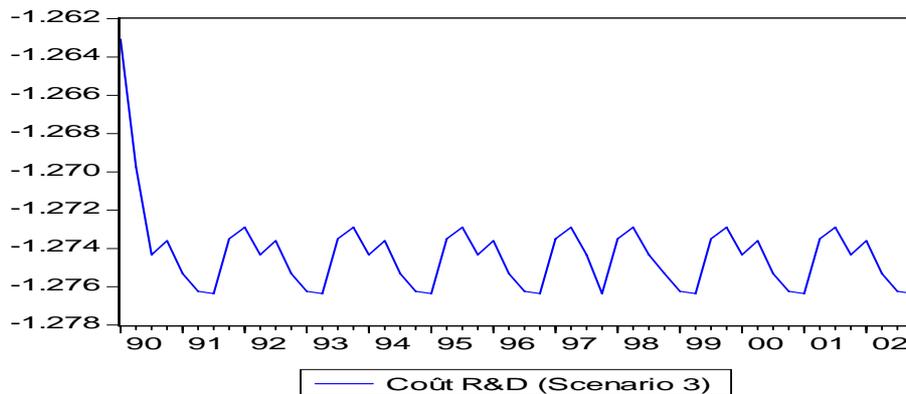
- Scénario 1 : une diminution progressive puis une stabilisation du coût du capital en R&D à sa valeur réelle la plus faible :



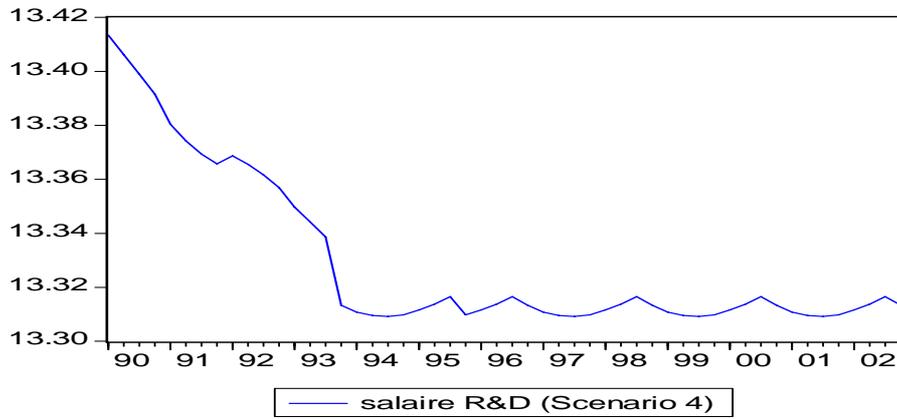
- Scénario 2 : des fluctuations erratiques du coût du capital autour de sa valeur empirique la plus élevée :



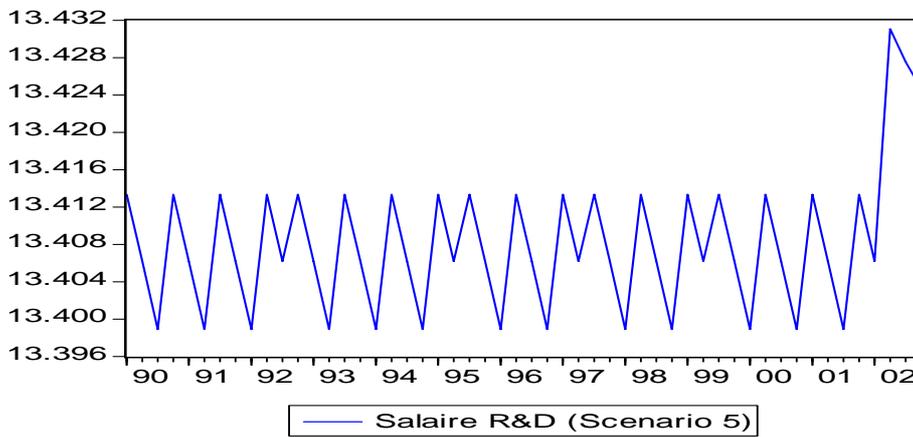
- Scénario 3 : un coût du capital équivalent à son niveau le plus bas atteint en 1998 selon nos estimations :



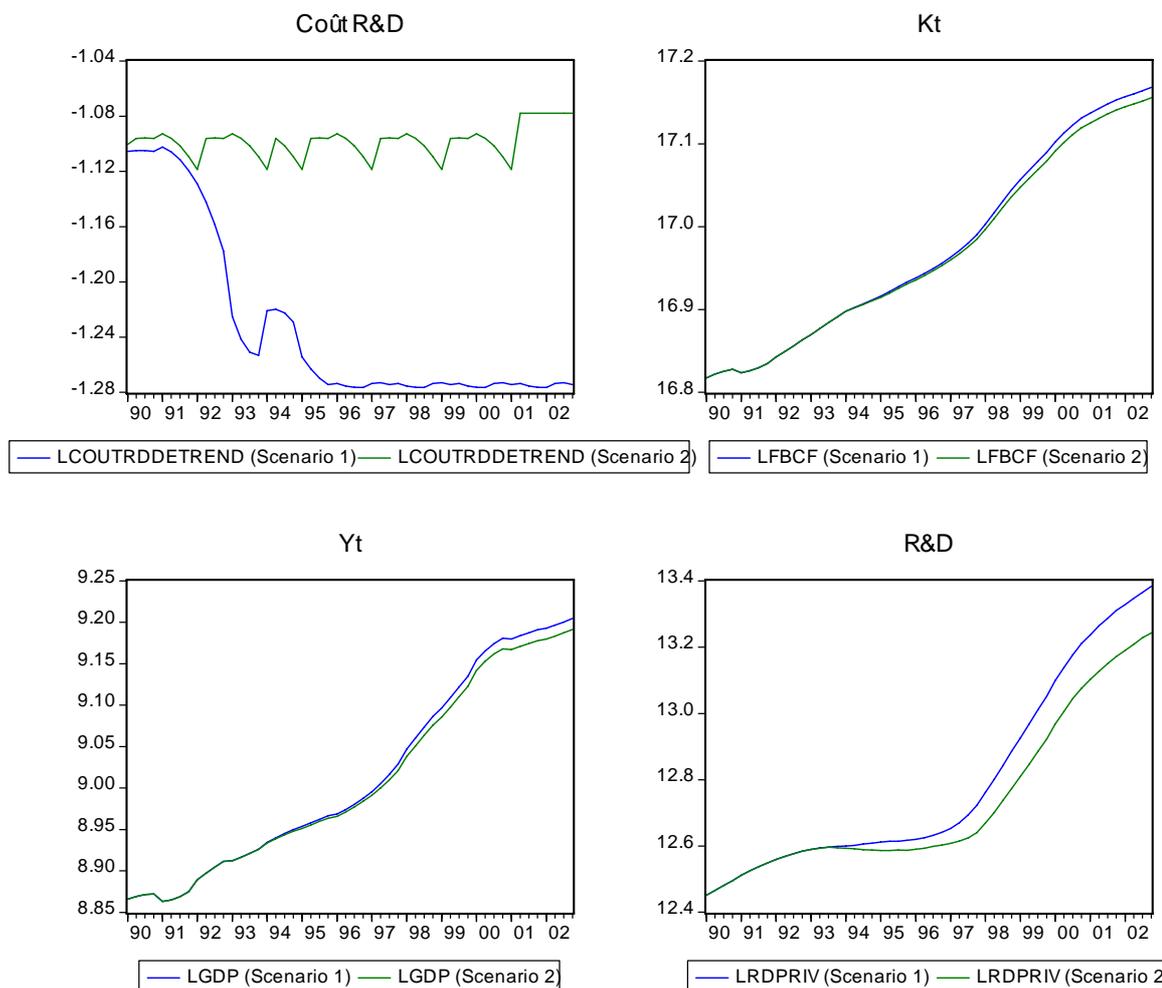
- Scénario 4 : Une diminution progressive du salaire en R&D à son niveau réel le plus bas :



- Scénario 5 : Un taux de salaire évoluant autour de sa valeur la plus basse :



Scénario 1 versus scénario 2



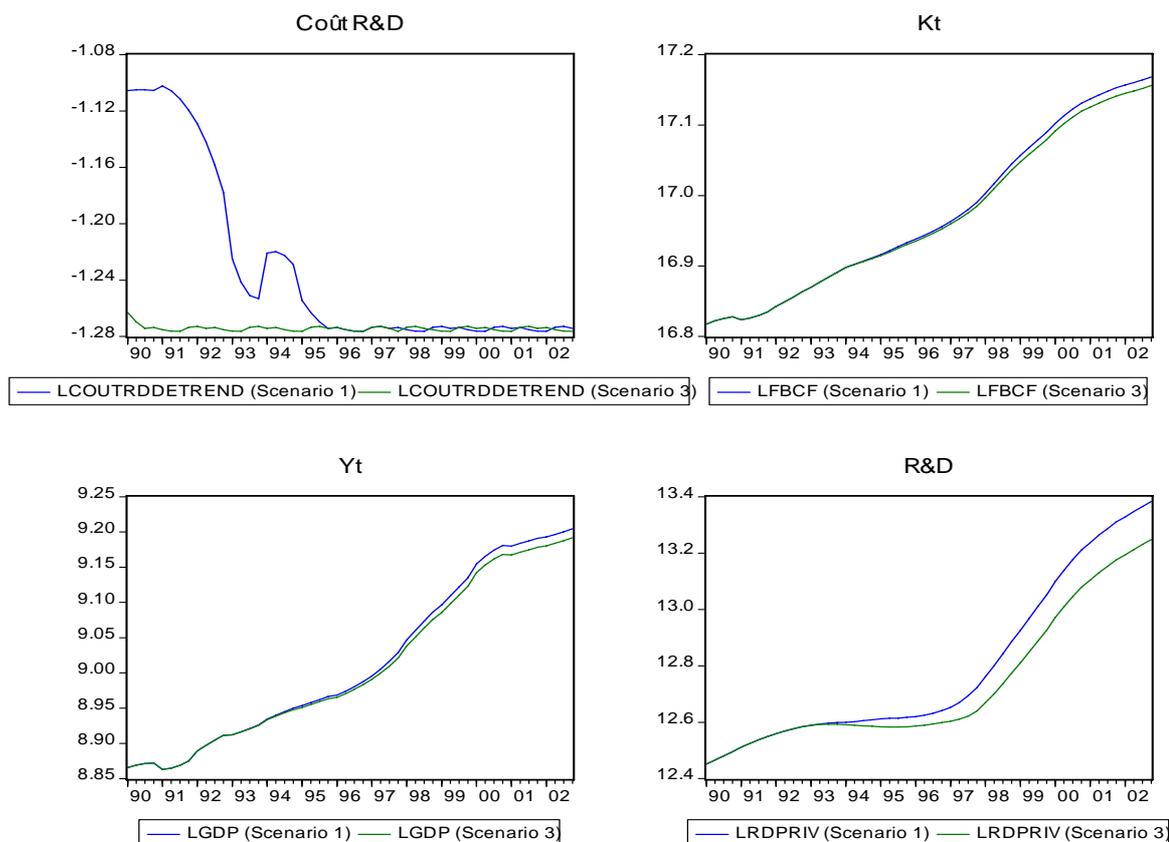
L'examen de ces deux scénarii exhibe plusieurs résultats dont il convient d'en souligner l'importance :

1- la diminution du coût du capital en R&D stimule, bien évidemment l'accumulation de capital intangible, mais également le produit, et dans une moindre mesure, les investissements en capital physique.

2 - les effets sur la croissance d'une variation du coût du capital sont générés par la conjonction de deux phénomènes : d'une part, un coût de capital plus faible incite les entreprises à investir en R&D, les contraintes de liquidité étant moins importantes, les « effets d'irréversibilité » seront de fait relativisés. D'autre part, parce que l'accroissement des investissements en R&D contribue à la progression du produit, l'investissement en capital physique s'en trouve amélioré grâce à un moindre impact des des « delay effects » (voir **Section 1**).

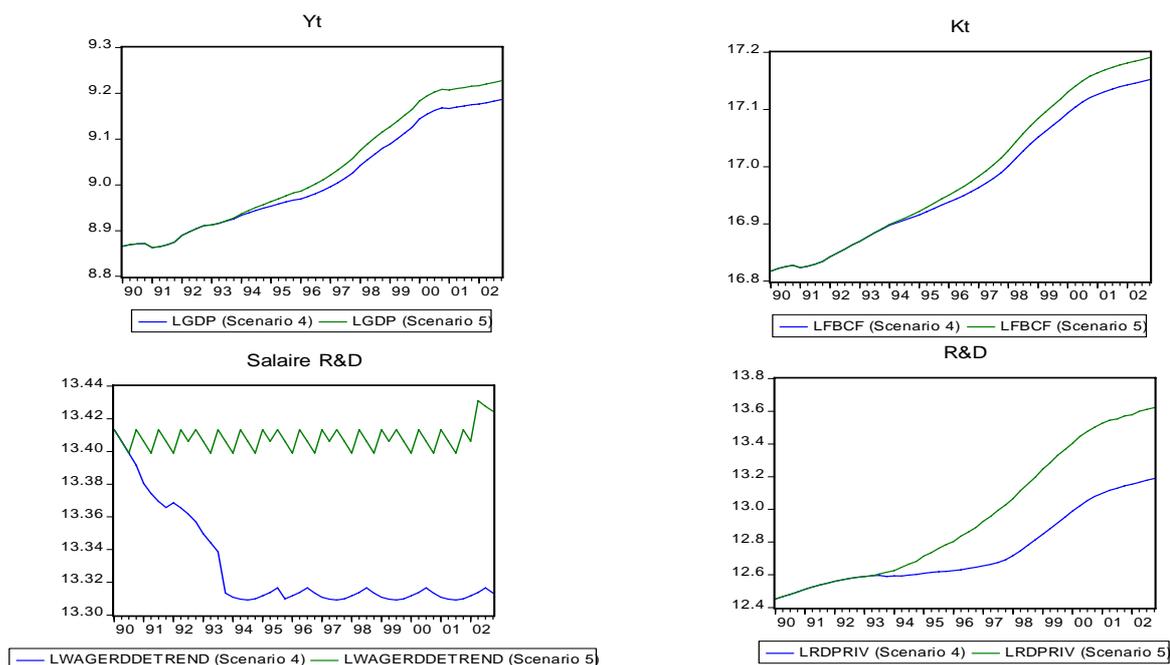
3- La diminution du coût du capital en R&D ne provoque pas instantanément des changements du produit ou encore de l'accumulation de capital physique. Il existe une période inertielle qui peut être comprise comme l'expression de « Caution effects » : de par le caractère non réversible sans coût des investissements, et ce quelle que soit leur nature, les entreprises s'assurent que le changement d'environnement constaté s'inscrit sur une période relativement longue avant de modifier leur décision d'investissement. La lecture de ces résultats rejoint d'ailleurs ceux obtenus par M. Amendola et J.L. Gaffard (1998). C'est en ce sens que nous devons comprendre les résultats présentés ci-dessous (Scénario 1 versus scénario 3). En effet, il semble que l'orientation politique la plus à même à stimuler les investissements en R&D, et a fortiori le produit aux États-Unis, n'est pas celle qui consiste en une chute brutale du coût du capital mais davantage celle fondée sur un ajustement souple et pérenne de ce coût. Effectivement, il est difficile de croire que l'ajustement des décisions d'investissement peut se faire de manière brutale, et ce pour des raisons à la fois « techniques » et « économiques ». Au niveau technique, compte tenu des contraintes héritées du passé, en particulier du fait que les choix passés en matière d'investissement conditionnent dans une large mesure les choix présents, il est peu probable qu'une chute brutale du coût du capital produise à court terme des effets positifs sur les décisions d'investissement. Sur un plan économique, nous pouvons fort bien imaginer que les effets générés par une baisse drastique du coût du capital puissent être pervers, en particulier dans un environnement non ergodique. Il n'y a en effet aucune raison de penser que les modifications d'anticipation aillent dans le même sens, ce qui pourrait contribuer, du moins à court/moyen terme, à l'adoption de comportements d'investissement hétérogènes, et de fait, à renforcer le caractère cyclique du système économique. Si les hypothèses d'irréversibilité relative des investissements et d'environnement économique incertain sont retenues, la préconisation normative la plus appropriée est probablement celle qui consiste à reconnaître des ajustements graduels et modulés du coût du capital.

Scénario 1 versus scénario 3



L'ensemble des scénarii relatif à l'évolution du coût du capital justifie les politiques d'allègement fiscale de type Tax Credit ou encore les politiques monétaires de type « discrétionnaire » lors des phases de transition. L'objectif d'un coût de capital plus faible, quelle que soit la politique menée, est évidemment de permettre des retours sur investissement plus rapides grâce à la diminution du temps de gestation, ou plus précisément, par la diminution des avances monétaires sans contrepartie immédiate. En effet, il importe de reconnaître que les dépenses en R&D ne conduisent pas instantanément à une amélioration de la productivité ou à l'obtention de nouveaux produits. Or pendant ce temps de gestation, les firmes doivent verser des salaires et/ou rembourser une partie des emprunts. Pour assurer la réalisation effective des gains de productivité contenus dans les nouvelles technologies, il convient probablement d'induire une diminution, du moins provisoirement, du coût de capital en R&D. Comme il convient probablement de relever le coût du capital pour éviter toute situation de suraccumulation (Crise du Nasdaq par exemple). C'est en ce sens que l'on peut comprendre le fait que le coût du capital en R&D influe tout autant sur la pérennité des décisions en R&D que pendant les phases de transition.

Scénario 4 versus scénario 5



L'observation du scénario 4 comparé au scénario 5 légitime les politiques de revalorisation du salaire en R&D. Les simulations du modèle dynamique suggèrent un effet positif du salaire sur l'accumulation en R&D. Bien que l'on puisse l'expliquer par les phénomènes d'aléas moral et de sélection adverse, cet effet positif est également à rechercher dans les retours attendus de ces investissements : certes, un salaire plus élevé constitue une contrainte de liquidité plus importante pour la firme (du moins lors des phases de transition durant lesquelles les retours sur investissement sont faibles voire nuls), mais cette contrainte de liquidité est relativisée, du moins à terme, à la fois par l'amélioration de la productivité que génèrent les dépenses en R&D (J. Mairesse et B.H. Hall, 1996 ; J.E. Stiglitz, 1999) mais également par les débouchés offertes par la création et la diffusion de nouveaux produits. Comprendre le rôle des salaires en R&D lors des phases de transition n'a de sens qu'en retenant le caractère ambivalent des dépenses en R&D : parce qu'elles s'incarnent dans du capital intangible, tout accroissement de salaire R&D provoque simultanément un accroissement des contraintes de liquidité mais également une exploitation plus rapide des gains de productivité contenus dans les nouvelles technologies (si nous supposons bien entendu une relation positive entre salaire et compétence).

C'est probablement une des raisons pour lesquelles la variable Salaire peut être aussi bien associée à des phases d'accélération ou de décélération des dépenses en R&D, comme le suggère l'allure de la fonction de transition en Section 3. Tout dépendra du poids que confère les firmes entre augmentation des contraintes de liquidité et amélioration de la productivité.

SECTION IV

CONCLUSION

Cet article participe du débat relatif aux effets de la Recherche et Développement sur la croissance en adoptant une démarche singulière tant sur un plan normatif que positif. Plusieurs points évoqués dans cette analyse méritent d'être soulignés :

(1) La contribution du capital intangible est significative dans la croissance du produit américain pour la période 1990-2004 après un certain temps de gestation. De fait, il existe un véritable enjeu à pérenniser et promouvoir l'investissement en R&D.

(2) Le salaire et le coût du capital apparaissent être les variables principales impliquées dans les changements de régimes des investissements en R&D. La définition des objectifs et de moyens des politiques de valorisation est ainsi subordonnée à la prise en compte de ces deux facteurs. Elle est conditionnée également par les contraintes qui pèsent sur les décisions en R&D.

(3) Notre analyse théorique et empirique a surtout consisté à mettre en exergue les « effets d'irréversibilité » et les « effets d'anticipations » propres aux décisions d'investissement, en particulier lorsque celles-ci concernent l'accumulation de capital intangible. La mise en œuvre de politique d'intervention requiert de considérer conjointement des retours conditionnels sur investissements et les facteurs les plus à même à produire une accélération des dépenses en R&D. Cela procède sans doute par la mise en place de politiques « souples » afin de moduler les efforts de promotion en fonction des phases de croissance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABEL A., EBERLY J., 1996 : “Optimal Investment with Costly Reversibility”, *Review of Economic Studies*, 63, 581-593.
- AMENDOLA M., GAFFARD J.L., 1998 : *Out of Equilibrium*, Oxford : Clarendon Press.
- BERNSTEIN J.I., 1996 : “The Canadian communication equipment industry as a source of R&D spillovers and productivity growth”. In: Howitt, P. (Ed.).
- BERNSTEIN I., ISHAQ NADIRI M., 1988 : “Interindustry R&D Spillovers, Rates of Return, and Production in High-Tech Industries”, *The American Economic Review*.
- BLOOM N., 2007 : « Uncertainty and the Dynamics of R&D », *WP 12841*, NBER.
- COHEN W.M., LEVIN R., MOWERY D.C., 1987 : “Firm Size and R&D Intensity : A Re-Examination”, *Journal of Industrial Economics*, 35, 543-565.
- DIXIT A., PRINDYCK R., 1994 : *Investment under Uncertainty*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- GEANAKOPOLOS J., 1992, "Common Knowledge", *The Journal of Economic Perspectives*, 6, No 4:53-82.
- GEROSKI P.A., 1994 : *Market Structure, Corporate Performance and Innovative Activity*, Oxford, Oxford University Press.
- HICKS J.R., 1973 : *Capital and Time*, Oxford : Clarendon Press.
- ISHAQ NADIRI M., 1979 : “Contributions and Determinants of Research and Development Expenditures in the US Manufacturing Industries”, *WP 360*, NBER.
- MAIRESSE J., SASSENOU M., 1991: “R&D Productivity : A Survey of Econometric Studies at the Firm Level”, *WP 3666*, NBER.
- SAVAGE L.J. 1954 : *The Foundations of Statistics*. New York, NY: Wiley
- SHACKLE G. L. S., 1961: *Decision, Order and Time in Human Affairs*, Cambridge, Cambridge University Press.
- SICHEL D.E., 1997 : “The Productivity slowdown: Is a growing unmeasurable sector the culprit?”, *Review of Economics and Statistics*, 79, 367-370.
- STIGLITZ, J. E., 1999 : “*Public Policy for a Knowledge Economy*”, World Bank Working Paper.
- TERASVIRTA T., 1994 : Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models, *Journal of the American Statistical Association*, 89, 208-218.
- TERASVIRTA T., 1997: Smooth Transition Models, in Heij Ch., H. Schumacher, B. Hanzon and K. Praagman, eds. *System Dynamics in Economic and Financial Models*, 109-123, Chichester: John Wiley and Sons.
- TERASVIRTA T., 1998: Modelling economic relationships with smooth transition regression, in A. Ullah and D.E.A. Giles (eds.) *Handbook of Applied Economic Statistics*, 507-552, New York: Marcel Dekker.
- TRIPLETT J.E., 2002 : “The mismeasurement hypothesis and the productivity slowdown: The Evidence”, in Greenan, L’Horty and Mairesse Eds, *Productivity, inequality and the digital Economy: A transatlantic Perspective*, 19-46, MIT PRESS.