

Quelle est la politique d'innovation la plus efficace en présence d'obsolescence technologique ?¹

Gilles Koléda²

ERASME
Ecole Centrale Paris

et

GERCIE
Université de Tours

Septembre 2006

¹Cet article est une version remaniée et complétée d'un précédent article intitulé "En présence d'obsolescence, faut-il subventionner la "recherche" ou le "développement" pour stimuler la croissance?" (Cahier de la MSE 2002.134 (série verte), Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne). Je remercie Antoine d'Autume ainsi qu'un rapporteur anonyme pour les suggestions et critiques sur la précédente version de cet article. Je reste bien entendu seul responsable des erreurs et omissions qui peuvent demeurer dans cet article.

²Adresse : ERASME, Ecole Centrale Paris, Bâtiment Scientifique, Grande voie des vignes, 92295 Châtenay Malabry Cedex, France ; (Tel.) ++33(0)1 41 13 17 76 ; (Fax) ++33(0)1 41 13 16 67 ; (E-mail) gkoleda@ecp.fr.

Résumé

La difficulté européenne à organiser et dynamiser sa R&D rend de plus en plus hypothétique la réalisation des objectifs fixés lors des sommets de Lisbonne et Barcelone. La situation est d'autant plus alarmante que l'on assiste à un changement de paradigme technologique avec l'apparition de nouvelles technologies et que l'obsolescence technologique est donc forte sur les technologies plus anciennes. Dans le cadre d'un modèle de croissance endogène sans effet d'échelle, dans lequel l'innovation peut être soit horizontale soit verticale, nous discutons de la meilleure organisation possible du secteur de R&D, c'est à dire la meilleure façon d'allouer les ressources à la recherche entre les deux types de recherche, en fonction de l'intensité du phénomène d'obsolescence. Nous examinons les effets de politiques de soutien aux secteurs de R&D en prenant en compte à la fois la trajectoire le long de l'état stationnaire et le processus d'ajustement jusqu'à celle-ci. Lorsque l'intensité du phénomène d'obsolescence technologique devient relativement forte, nous trouvons qu'il est optimal de subventionner les deux secteurs de recherche à la fois, alors que les modèles de croissance endogène sans effet d'échelle les plus récents ne tenant pas compte de l'obsolescence préconisent de ne subventionner que la recherche verticale.

Abstract

The european difficulty to enhance the performance of its innovation system reduces the chance to achieve the goals set at the Lisbonne and Barcelone conference. This situation is alarming because, there is actually a change in the technological paradigm with the appearance of new technologies. Technological obsolescence is thus strong on older technologies. We present an endogenous growth model without scale effect, in which innovations can be either horizontal or vertical, taking account for technological obsolescence phenomenon. We then discuss the best innovation policy, that is the optimal allocation of resources between the two R&D sectors depending on the strength of the obsolescence phenomenon. We examain effect of subsidy polices to R&D along the balanced growth path and also along the adjustment path towards this latest. When technological obsolescence becomes strong, we find it optimal to subsidy both R&D sector whereas other endogenous growth models without obsolesnce find it optimal to only subsidy the vertical research sector.

Mots-clé : Innovations, Obsolescence technologique, Croissance.

Classification J.E.L. : O31, O41

Introduction

Alors que l'Agenda de Lisbonne a inscrit, depuis 2000, l'innovation comme une priorité pour l'Europe et donné pour objectif à l'Union Européenne le passage à une économie fondée sur la connaissance, force est de constater que le retard en matière d'investissement de R&D et le défaut d'organisation et de coordination au niveau européen de l'innovation rendent de plus en plus hypothétique la réalisation de l'objectif de faire de l'Europe "*l'économie fondée sur la connaissance la plus compétitive au monde*". Le manque de dynamisme européen en matière de politique d'innovation et la trop faible ampleur des investissements en recherche dans les domaines d'avenir sont d'autant plus alarmants que l'on assiste à un changement de paradigme technologique avec l'apparition de nouvelles technologies (les technologies de l'information et de la communication, les biotechnologies). L'obsolescence technologique est donc forte pour les technologies plus anciennes pour lesquelles l'Europe avait su procéder à un rattrapage technologique et devenir un challenger pour les économies les plus dynamiques en matière de recherche et d'innovation (Etats-Unis, Japon)¹. En centrant l'analyse sur les formes du progrès technique, notre modèle discerne deux sources de croissance, résultats de deux formes distinctes de recherche et d'innovation. L'objectif de cet article est de définir et d'examiner quelle politique d'innovation est la plus à même de renforcer l'innovation en présence d'obsolescence technologique forte, c'est à dire quel type d'innovation et de recherche la politique de soutien à l'innovation doit-elle privilégier pour être la plus efficace possible.

Il nous a semblé important d'intégrer la prise en compte d'une véritable obsolescence technologique pour l'examen de la meilleure politique d'innovation, car, à la suite de Grossman et Helpman (1991) et Aghion et Howitt (1992), l'obsolescence a été associée, dans les modèles néoschumpéteriens de croissance endogène fondée sur l'innovation dits "d'échelle de qualité", au phénomène de *destruction créatrice*, c'est à dire au remplacement d'un bien incorporant une certaine technologie par une version supérieure de celui-ci. Cette représentation, si elle rend compte d'une partie de la réalité, semble cependant restrictive. Les modèles de croissance fondée sur l'expansion du nombre de produits, dont le modèle pionnier est celui de Romer (1990), éludent, pour leur part, totalement le phénomène d'obsolescence : les innovations, tout comme les brevets qui permettent leur exploitation en position de monopole, ont une durée de vie infinie. Si des exceptions sont constituées par Lai [1998] et Caballero et Jaffe [1993], qui décrivent une obsolescence progressive² dans le cadre d'un modèle de variétés, cette caractéristique générale du modèle de variété demeure problématique, si l'on considère que l'obsolescence technologique est un fait majeur, notamment lorsqu'on passe d'un paradigme technologique³ à un autre comme cela semble le cas depuis plus d'une décennie (apparition des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication,

¹Aghion et Cohen (2003) soulignent ce problème pour la France en s'appuyant sur un modèle dont les deux moteurs de la croissance sont l'éducation et la recherche. Si l'éducation permet bien le rattrapage des pays leaders en matière de technologie, ces auteurs notent qu'il est nécessaire d'allouer les ressources de l'économie à la recherche, une fois que l'on se situe sur la frontière technologique.

²Le concept sous-jacent demeure celui de la destruction créatrice des modèles d'échelle de qualité. C'est un arbitrage économique, la comparaison des rapports qualité-prix, qui engendre les pertes progressives de parts de marché des biens les plus anciens. Un niveau de qualité latent est associé à chaque variété de bien, ce niveau étant d'autant plus élevé que la technologie est récente.

³Un système (ou paradigme) technique est le *principe organisateur de l'univers des techniques, qui désigne le regroupement de celles-ci en des ensembles caractérisés par une étroite complémentarité interne* (Guellec (1999)). La notion de système technique est due à Gille (1978), celle de paradigme technologique à Dosi (1988).

des biotechnologies, moindre importance portée à certaines technologies à la base des secteurs plus traditionnels). L'absence d'une réorganisation du secteur de la recherche, entendue comme une ré-allocation des ressources entre la recherche et développement destinée à l'innovation horizontale et celle destinée à l'innovation verticale, en réponse à la nouvelle donne en matière technologique que constitue une forte obsolescence des technologies, pourrait à notre sens expliquer le retard européen, et plus particulièrement le retard français, en matière d'innovation⁴.

Nous adoptons une représentation du progrès technique où coexistent deux types d'innovations provenant de deux secteurs de recherche différents, en nous inscrivant dans la lignée des modèles théoriques de croissance endogène fondée sur l'innovation à deux secteurs de R&D, récemment développés par de nombreux théoriciens de la croissance⁵. Notre représentation scinde le secteur de R&D en un sous-secteur d'innovation horizontale, la "recherche" cherchant à accroître le nombre de biens intermédiaires dans l'économie, et un sous-secteur d'innovation verticale se focalisant sur le "développement" et l'amélioration de la productivité des biens intermédiaires existants. Le "processus de R&D" se déroule ainsi dans le temps à travers l'interaction des deux sous-secteurs et la direction du progrès technique dépend de la quantité de ressources allouées respectivement à ces deux sous-secteurs.

Dans cette article nous nous proposons, à travers l'exposition d'un modèle de croissance fondée sur l'innovation composé de deux sous-secteurs de recherche, d'étudier le problème de l'organisation du secteur de la recherche, de la performance de celui-ci en matière d'innovation et des modalités de l'intervention publique optimale lorsque l'obsolescence technologique est prise en compte, c'est à dire lorsque certaines technologies peuvent disparaître ou n'être plus intégrées dans les produits demandés par les consommateurs. Pour cela, nous mettons en avant un concept d'obsolescence technologique original, différent de la notion de destruction créatrice habituellement prise en compte dans les modèles de croissance dits d'échelle de qualité. Il s'agit d'un processus autonome régi par une dynamique interne à la sphère technologique : Un bien cesse d'être produit, non parce que la demande qui lui est adressée s'amenuise ou se reporte brutalement vers un autre bien, mais parce que la technique incorporée dans ce bien, est dépassée du fait des évolutions de la technologie.

La façon dont nous modélisons l'obsolescence aboutit à définir un antagonisme entre les taux de croissance résultant des deux types de recherche. L'obsolescence, dont le rythme est dicté par l'avancée de la productivité de pointe résultant des innovations verticales, détruit une partie des variétés de produits créés par des innovations horizontales. Nous utilisons notre modèle pour discuter de la meilleure politique d'innovation, c'est à dire de la politique susceptible de diriger les

⁴Ainsi, le récent rapport Beffa (2005) sur la nouvelle politique industrielle a mis en exergue une particularité française en matière d'innovation : la partie la plus importante de la valeur ajoutée industrielle et des exportations de biens manufacturiers est concentrée dans les industries de faible technologie (produits alimentaires, textile, bois, pâte à papier, imprimerie, édition, industrie de fabrication, industrie de récupération). Alors que les intensités R&D/VA françaises sur l'ensemble des industries (faible, moyenne, haute technologie) sont comparables à celle de nos principaux concurrents de l'OCDE, cette spécialisation industrielle française explique la faiblesse de l'innovation en France. Pour relier cette constatation à notre problématique sur l'allocation des ressources à la recherche en présence d'obsolescence, on peut relever que la situation décrite dans le rapport Beffa correspond à une focalisation ou un maintien de la recherche française dans les industries dont les technologies sont les plus susceptibles d'être rendues obsolètes par les nouvelles technologies. Ce renforcement de l'obsolescence technologiques au niveau macroéconomique est à même d'amoinrir la croissance et l'innovation.

⁵Ces auteurs sont Young (1998), Dinopoulos et Thompson (1998), Peretto (1998), Aghion et Howitt (1998, Chapitre 12), Howitt (1999), Segerstrom (2000), Li (2000)(2002). Jones (1999) en fournit une première revue de littérature en même temps qu'une synthèse. Voir aussi Dinopoulos et Sener (2004).

ressources dédiées à la recherche de la meilleure façon possible pour promouvoir la croissance. Le résultat obtenu est que la présence du phénomène d'obsolescence amoindrit les effets en terme de bien-être d'une subvention ciblée sur la seule innovation verticale. Lorsque l'obsolescence est relativement forte, une subvention à la recherche non ciblée (c'est à dire une subvention dirigée à la fois sur la recherche d'innovation verticale et horizontale) est préférable en termes de bien-être. Ces résultats vont donc à l'encontre des résultats énoncés par Howitt (1999) et Segerstrom (2000) qui préconisent de subventionner uniquement la recherche d'innovation verticale, seule source de croissance endogène à long terme⁶.

Le modèle est présenté dans la première section, en insistant sur le phénomène d'obsolescence. Le sentier de croissance équilibrée est décrit dans la seconde section. Enfin, dans la troisième section, nous comparons les différents types de subventions à l'innovation (ciblées sur l'un ou l'autre type d'innovation ou neutre) et examinons leurs effets sur le taux de croissance du produit par tête de long terme. Nous procédons à des simulations numériques pour comparer, sur la base d'un critère de bien-être, les résultats des différentes politiques d'innovations possibles (ciblées ou non sur l'un ou l'autre type de recherche) en fonction de l'intensité du phénomène d'obsolescence technologique.

1 Le modèle

1.1 Les ménages

Le ménage représentatif choisit sa dépense à chaque période de façon à maximiser son utilité intertemporelle, $U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} u_s ds$ avec $u(s) = \ln(Y_s/L_s)$ l'utilité instantannée (Y_s est le niveau de production de l'économie, L_s la taille du ménage représentatif (taille de la population)), sous sa contrainte budgétaire intertemporelle ($\int_t^\infty e^{-r_s(s-t)} E_s ds = A_t + \int_t^\infty e^{-r_s(s-t)} R_s ds$), avec ρ le taux de préférence pour le présent, r_t le taux d'intérêt, u_t l'utilité instantannée qui dépend de E_t sa dépense courante à la date t , R_t son revenu courant en t et A_t la valeur de ses actifs en t (richesse du ménage). La résolution du programme intertemporel aboutit à la détermination de l'évolution de la dépense de consommation d'un ménage : $\frac{\dot{E}_t}{E_t} = r_t - \rho$.

1.2 Secteur de production du bien final

Il existe un bien final qui est consommé par les ménages. Ce bien final est produit par l'assemblage d'un continuum de biens intermédiaires possédant chacun un niveau de productivité associé A_{it} .

$$Y_t = \left(\int_0^{N_{vt}} (A_{it} x_{it})^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \quad (1)$$

N_{vt} est le nombre de biens intermédiaires en vigueur, x_{it} est la quantité de bien intermédiaire du secteur i auquel est associée la productivité A_{it} , entrant dans la production du bien final. $\sigma > 1$ est l'élasticité de substitution entre deux variétés disponibles de biens intermédiaires. Un bien intermédiaire en vigueur est un bien dont la technologie de base n'est pas encore obsolète.

⁶Contrairement à ces auteurs notre analyse en termes de bien-être prend également en compte la dynamique de transition, comme le préconise par exemple d'Autume (2003), et ne se focalise pas uniquement sur les taux de croissance de long terme.

Les producteurs du bien final n'achètent que ceux-ci. Le secteur du bien final est en situation de concurrence. Le bien final est retenu comme numéraire. La demande de bien intermédiaire i de niveau de productivité A_{it} émanant du secteur de production de bien final est :

$$x_{it} = \frac{p_{it}^{-\sigma} A_{it}^{\sigma-1} Y_t}{\int_0^{N_{vt}} p_{it}^{1-\sigma} A_{it}^{\sigma-1} di} \text{ pour } i \in [0, N_{vt}] \quad (2)$$

1.3 Secteurs de production des biens intermédiaires

La production d'une unité de bien intermédiaire requière l'emploi d'une unité de travail, quel que soit le niveau de productivité associé à ce bien intermédiaire. La firme produisant un bien intermédiaire innovant est en situation de monopole grâce au brevet qu'elle possède sur cette technologie. Elle fixe un taux de marge $\frac{\sigma}{\sigma-1}$, de sorte que les profits courants réalisés par cette firme sont :

$$\pi_{it} = \frac{A_{it}^{\sigma-1} Y_t}{\sigma \int_0^{N_{vt}} A_{it}^{\sigma-1} di} \quad (3)$$

Les profits réalisés seront d'autant plus importants que le niveau de productivité associé à ce bien (A_{it}) est élevé. Les profits des entreprises sont cependant restreints par le nombre d'innovations en vigueur (N_{vt}).

1.4 Progrès technique et obsolescence

Dans notre modèle, le progrès technique possède une double dimension. Les innovations peuvent avoir un caractère vertical, c'est à dire procéder de l'incorporation de la technologie permettant la meilleure productivité à un bien intermédiaire existant, ou bien présenter un caractère horizontal, c'est à dire consister en la création de nouveaux biens intermédiaires. Cette double dimension permet un éclairage plus fin du processus de recherche et d'innovation tout en empêchant la présence de l'effet d'échelle (cf. Howitt (1999), Jones (1999)...).

Comment interpréter cette scission des efforts de R&D et la double dimension du progrès technique? D'une certaine manière, à un niveau global, les innovations horizontales pourraient schématiser la phase de recherche et les innovations verticales décrire la phase de développement d'un processus de R&D s'inscrivant dans le temps. Cependant puisque les deux types de recherche sont menés dans des entreprises privées recherchant le profit, cette façon de concevoir la partition nous semble impropre. Le classement entre innovations horizontales et verticales semblent également transcender les critères de radicalité et de nouveauté généralement associé aux innovations (innovations drastiques *versus* innovations incrémentales) puisque l'une permet l'introduction régulière de biens intermédiaires entièrement nouveaux (innovations horizontales) tandis que l'autre va aboutir à l'amélioration incertaine de la productivité des biens intermédiaires déjà existants (innovations verticales). Il nous semble que la qualification de ces deux types d'innovations en innovations d'élargissement (horizontale) ou d'approfondissement (verticale) paraît la plus pertinente.

Cette partition de l'effort de R&D et la double dimension du progrès technique qui en résulte sont importantes car elles conditionnent les résultats normatifs du modèle en termes de politique

d'innovation. Howitt (1999) et Segerstrom (2000) ont ainsi montré que dans ce cadre, seule l'innovation verticale avait un effet durable sur la croissance. Ce résultat théorique nous paraît cependant trop fort et nous pensons qu'il peut être amoindri ou inversé en prenant en compte à la fois le phénomène d'obsolescence technologique et la dynamique d'ajustement vers l'état stationnaire.

1.4.1 Les innovations verticales

L'innovation verticale est l'incorporation à un bien intermédiaire i quelconque de la technologie de pointe existant dans l'économie. Elle permet à ce bien intermédiaire de présenter la meilleure productivité de l'économie ; $A_{\max t} = \max \{A_{it}; i \in [0, N_{vt}]\}$.

Segerstrom (2000) ou Howitt (1999) ont introduit cette formulation, alternative au modèle d'échelle de qualité, pour modéliser l'amélioration de la qualité des biens résultant d'un effort de recherche et développement. Les externalités technologiques engendrées par le secteur d'innovation verticale accroissent, de façon continue, le niveau de la productivité de pointe de l'économie :

$$\frac{\dot{A}_{\max t}}{A_{\max t}} = \mu \phi_t \quad (4)$$

Le taux de croissance de la productivité de pointe dépend de la probabilité ϕ_t qu'une recherche cherchant à innover verticalement connaisse le succès, ainsi que du paramètre d'externalité⁷ μ .

1.4.2 Les innovations horizontales

Les innovations horizontales aboutissent à la création de nouveaux biens intermédiaires et donc d'industries nouvelles qui produiront ces biens ainsi que les différentes versions améliorées de ces biens. Le niveau de productivité associé initialement à un bien intermédiaire résultant d'une innovation horizontale est tiré de la fonction de distribution des productivités des biens intermédiaires déjà existants, de sorte que les nouveaux biens intermédiaires n'ont initialement pas le meilleur niveau de productivité.

1.4.3 L'obsolescence

La durée de vie d'une industrie de bien intermédiaire est finie du fait de l'obsolescence technologique⁸. Cet abandon régulier de la production de certaines variétés de biens intermédiaires correspond à l'extinction de certaines industries du fait de leur sortie du voisinage technologique, entendu comme l'agencement des innovations en vigueur au coeur d'un système technique organisé.

Pour mieux cerner les effets du phénomène d'obsolescence que nous introduisons, nous définissons une variable à même d'être mesurée empiriquement : le "voisinage technologique". Nous définissons le voisinage technologique comme le ratio du nombre de technologies en vigueur sur le nombre susceptibles de l'être⁹. Cette variable permet d'apprécier l'étendue du *système technique*, le caractère englobant du *paradigme technologique* actuellement en place ; plus le voisinage technologique est important moins le phénomène d'obsolescence est important.

⁷Le paramètre μ indique également le degré d'asymétrie de la distribution des niveaux de productivité relatifs.

⁸Le concept de destruction créatrice introduit une durée de vie finie d'un bien intermédiaire mais pas de l'industrie qui le produit puisque la déchéance d'un bien intermédiaire est engendrée par la création d'un bien intermédiaire de cette même industrie possédant une meilleure productivité.

⁹Une mesure empirique du voisinage technologique peut par exemple être constituée par le stock de brevets en vigueur rapporté à la somme des brevets délivrés depuis 20 ans (20 ans étant la durée de vie statutaire du brevet).

Dans notre représentation théorique, la déchéance d'une technologie peut être expliquée par les mêmes déterminants que ceux à la base de son apparition. En matière de déterminants de l'innovation, on oppose souvent, les thèses de Schmookler (1966) et Rosenberg (1976). Schmookler, tenant du *demand pull*, indiquait que c'est la profitabilité d'une innovation, le niveau de la demande, qui détermine sa réalisation tandis que Rosenberg, tenant du *technology push*, justifiait pour sa part l'innovation par la capacité de la base scientifique à rendre la recherche efficace, par le niveau des opportunités technologiques. Si le concept de destruction créatrice déjà présent dans les modèles néo-schumpéteriens de croissance procède bien de la même logique que celle qui sous-tend l'idée d'induction par la demande, mais bien entendu dans le sens opposé, il nous semble que le concept d'obsolescence que nous développons est également le phénomène inverse de celui de *technology push* : l'évolution propre de la sphère technique et scientifique peut clore définitivement certaines opportunités technologiques, en dehors de toute considération économique.

Un secteur de bien intermédiaire peut devenir obsolète quel que soit le niveau de productivité qu'il présente puisque le processus d'obsolescence est régi par une dynamique propre à la sphère technologique. L'intensité du processus d'obsolescence dépend du rythme d'avancée de la productivité de pointe de l'économie. L'idée est que l'approfondissement technologique se fait au détriment de l'élargissement de la gamme des technologies. Le nombre d'innovations en vigueur, et donc de biens intermédiaires disponibles, à la date t est :

$$N_{vt} = \int_0^t \dot{N}_s \left(\frac{A_{\max s}}{A_{\max t}} \right)^\theta ds \quad (5)$$

avec θ le paramètre prenant en compte l'intensité du processus d'obsolescence. Plus le niveau de la productivité de pointe a progressé depuis la date à laquelle une innovation horizontale est apparue, plus importante est la probabilité que le secteur de bien intermédiaire reposant sur cette technologie initiale soit obsolète, nonobstant le fait que des améliorations verticales aient pu contribuer à améliorer la productivité de celui-ci. En dérivant l'équation (5) par rapport au temps, on obtient l'équation suivante qui décrit l'accroissement du nombre d'innovations en vigueur : $\dot{N}_{vt} = \dot{N}_t - \theta \frac{A_{\max t}}{A_{\max t}} N_{vt}$. Cette relation lie le taux de croissance du stock d'innovations en vigueur au taux de croissance du stock d'innovations créées et à celui de la productivité de pointe :

$$g_{N_{vt}} = \frac{1}{\Psi_t} g_{N_t} - \theta g_{A_t} \text{ avec } \Psi_t = \frac{N_{vt}}{N_t} \quad (6)$$

Ψ_t est le ratio du nombre de variétés de biens intermédiaires en vigueur à la date t au nombre de variétés de biens intermédiaires créées depuis toujours. Cette variable permet donc d'appréhender le concept de voisinage technologique. Plus Ψ_t est proche de l'unité et plus le voisinage technologique est étendu, c'est à dire que l'ensemble des technologies qui ont été inventées appartiennent au même système technique (l'intensité du phénomène d'obsolescence est faible ou nulle). Plus Ψ est proche de zéro, plus les technologies s'inscrivent dans des systèmes techniques différents qui s'emboîtent et se remplacent à mesure de l'avancement du progrès technique car l'intensité du phénomène d'obsolescence est forte.

On peut illustrer ce concept de voisinage technologique grâce à des données de brevets français. La statistique suivante nous semble traduire l'étendue du "voisinage technologique" : le ratio du nombre de brevets réellement en vigueur au nombre de brevets potentiellement en vigueur (étant

donnée la durée de vie statuaire des brevets). Le graphique 1 présente pour la période 1970-2000

l'évolution de ce ratio $\frac{SBV_t}{SBD_t} = \frac{\sum_{j=t}^{t-T} BV_{jt}}{\sum_{j=t}^{t-T} BD_j}$ pour les brevets français déposés par la voie nationale, où BV_{jt} est le nombre de brevets de la cohorte j encore en vigueur en t et BD_j est le nombre de brevets de la cohorte j déposés .

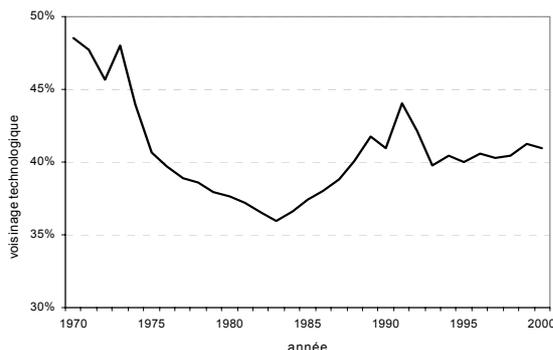


FIG. 1 – Ratio du stock de brevets français déposés par la voie nationale réellement en vigueur sur le stock potentiellement en vigueur

Nous constatons que ce ratio a chuté durant la période 1970-83 puis a augmenté entre 1984 et 1995, avant de se stabiliser en fin de période. Cela corrobore notre idée que des évolutions importante dans l'intensité du phénomène d'obsolescence technologique peuvent se produire. A une phase d'obsolescence technologique forte (fin d'un système technique puisque Ψ_t diminue) va succéder une phase où l'obsolescence technologique est plus faible car des grappes d'innovations s'inscrivant dans un même système technique apparaissent (Ψ_t augmente avant de se stabiliser).

1.4.4 La distribution des productivités relatives

Soit $a_{it} = \frac{A_{it}}{A_{\max t}}$ le niveau de productivité relatif du secteur i par rapport au niveau de productivité du bien intermédiaire bénéficiant de la meilleure technologie à la date t . Soit $a = \frac{A_{\max 0}}{A_{\max t}}$ le rapport entre les niveaux de productivité de pointe aux dates t_0 et t . On montre¹⁰ que $\Pr(a_{it} < a) = F(a) = a^{\frac{1}{\mu}}$. Par ailleurs, $\lim_{t \rightarrow +\infty} \left(\frac{A_{\max 0}}{A_{\max t}} \right) = 0$, de sorte que la distribution des niveaux relatifs de productivité converge vers la distribution invariante $F(\cdot)$. En faisant l'hypothèse que la distribution est déjà $F(\cdot)$ au temps $t = 0$, cette équation est valable pour tout $a \geq 0$. La fonction de densité des niveaux de productivité relatifs suivante est donc invariante dans le temps : $f(a) = \frac{1}{\mu} a^{\frac{1}{\mu}-1}$.

Le paramètre μ indique le degré d'asymétrie de la fonction de distribution des niveaux de productivités relatives¹¹. En utilisant cette fonction de distribution, on peut calculer l'intégrale des niveaux de productivités pondérées ainsi que la productivité moyenne des biens intermédiaires disponibles dans l'économie : $\int_0^{N_{vt}} A_{it}^{\sigma-1} di = \frac{N_{vt} A_{\max t}^{(\sigma-1)}}{\mu(\sigma-1)+1}$ et $\bar{A}_t = \frac{\int_0^{N_{vt}} A_{it} di}{N_{vt}} = \frac{A_{\max t}}{1+\mu}$.

¹⁰ Les étapes de la démonstration sont données par Howitt (1999) ou Segerstrom (2000).

¹¹ Il est difficile de concilier une distribution des niveaux relatifs de productivité réaliste, avec μ très largement supérieur à l'unité, et une prime de risque conséquente puisque $\phi = \frac{gA}{\mu}$. L'obsolescence qui renforce la prime de risque associée à l'innovation pallie en partie ce problème.

1.5 Les secteurs de recherche et développement

Les formulations retenues pour les processus d'innovations horizontale et verticale sont importantes tant le cadre de la croissance endogène sans effet d'échelle que nous retenons pour cet article constitue un cas exceptionnel (voir Jones (1999)). Nous avons cependant adopté ce point de vue, plutôt que celui de croissance semi-endogène pourtant plus général (voir Li (2002)), afin de pouvoir discuter de l'effet des politiques d'innovation à long terme (à l'état stationnaire) et pas seulement le long du sentier de transition vers un nouvel état stationnaire. Par ailleurs cela permet de mettre en perspective nos résultats avec ceux des modèles les plus récents dans le domaine de la croissance fondée sur l'innovation.

1.5.1 Secteur d'innovations horizontales : la "recherche"

Le flux de nouvelles variétés de biens est modélisé dans une forme à la Jones (1995b) :

$$\dot{N}_t = \lambda_h N_{vt}^\eta L_{Rht} \quad (7)$$

Avec λ_h un paramètre de productivité et L_{Rht} la quantité de travailleurs dans le secteur d'innovation horizontale. Le stock d'innovations en vigueur N_v , pondéré par le paramètre η , constitue une externalité intertemporelle de connaissances.

Soit τ_h le taux de subvention (subvention financée par une taxe forfaitaire) s'appliquant au salaire rémunérant les chercheurs d'innovation horizontale. La libre entrée dans le secteur de recherche aboutit à l'expression suivante pour la valeur de l'innovation horizontale :

$$V_{ht} = \frac{w_t(1 - \tau_h)}{\lambda_h N_{vt}^\eta} \quad (8)$$

1.5.2 Secteurs d'innovations verticales : le "développement"

Pour une entreprise de recherche qui s'engage dans un projet de recherche devant mener à une innovation verticale, la probabilité de développer une innovation verticale dans le secteur i de bien intermédiaire, est appréhendée par un processus de Poisson dont le taux d'arrivée est $\phi_{it} = \tilde{\lambda}_v L_{Rvit}$ où $\tilde{\lambda}_v$ est la productivité de la recherche perçue par cette entreprise et L_{Rvit} est la quantité de travailleurs que l'entreprise engage pour se consacrer à cette recherche d'innovation verticale dans l'industrie i . Il s'agit donc ici d'une probabilité *ex ante* sur laquelle l'entreprise s'appuie pour réaliser son allocation de ressources (on constate qu'il existe au niveau de la firme des rendements constants par rapport à l'effort privé de recherche ce qui est compatible avec l'hypothèse d'un secteur de la recherche en concurrence). *Ex post*, au niveau du secteur, la productivité de la recherche est en fait : $\tilde{\lambda}_v = \lambda_v L_{Rvt}^{\delta-1} N_{vt}^{1-\delta(1-\eta)}$. Le paramètre δ indique que les efforts de recherche destinés à l'innovation verticale sont soumis à des rendements décroissants au niveau de l'industrie (externalité négative dite de *stepping on toes* ou de duplication de l'effort de recherche). En revanche la recherche verticale fait l'objet d'une externalité positive de recherche puisque le stock de technologies en vigueur (N_{vt}) influence positivement la probabilité d'innover verticalement. Il n'y a pas de raison de consacrer plus de ressources à l'innovation verticale dans l'un des secteurs de biens intermédiaires puisque le niveau de productivité associé (seule source de différenciation entre les industries) n'intervient pas. La répartition des efforts de développement d'innovation verticale

est donc uniforme entre toutes les industries encore en vigueur de sorte que $L_{Rvt} = \frac{L_{Rvt}}{N_{vt}} \forall i$, et donc $\phi_{it} = \phi_t \forall i$:

$$\phi_{it} = \phi_t = \lambda_v N_{vt}^{-\delta(1-\eta)} L_{Rvt}^\delta \quad (9)$$

A mesure de l'élévation du nombre d'innovations en vigueur N_v , la recherche d'innovation verticale devient plus difficile car elle doit se répartir entre un nombre plus important de secteurs. L'absence d'effet d'échelle¹² est obtenue en faisant l'hypothèse que le nombre de secteurs est proportionnel à la taille de la population.

Soit τ_v , un taux de subvention qui s'applique au salaire rémunérant les chercheurs d'innovation verticale. Cette subvention est également financée par une taxe forfaitaire sur les revenus du ménage. La condition de libre entrée dans le secteur de la recherche entraîne l'égalité entre la valeur de l'innovation verticale et le coût de sa découverte, ce qui nous permet d'écrire l'expression suivante pour la valeur d'une innovation verticale :

$$V_{vt} = \frac{w_t (1 - \tau_v) L_{Rvt}^{1-\delta}}{\lambda_v N_{vt}^{1-\delta(1-\eta)}} \quad (10)$$

1.5.3 Profits engendrés par les innovations

Etant donnée la distribution des niveaux relatifs de productivité, le flux instantané de profits provenant de l'exploitation d'une innovation incorporée dans le bien intermédiaire de l'industrie i est $\pi_t(A_{it}) = \frac{A_{it}^{\sigma-1}(\mu(\sigma-1)+1)}{\sigma N_{vt} A_{\max t}^{\sigma-1}} Y_t$.

La valeur d'une innovation dont le niveau de productivité associé est A_{it} est la somme actualisée des profits qu'elle génère tout au long de sa vie : $V_t = \int_t^\infty e^{-\int_t^\tau r_s + \phi_s + \theta g_{A_s} ds} \pi_\tau(A_{it}) d\tau$. L'actualisation tient compte des deux phénomènes qui peuvent écourter la vie d'une version donnée d'un bien intermédiaire :

- son remplacement par un bien intermédiaire de la même industrie incorporant la productivité de pointe de l'économie et présentant donc un meilleur prix ajusté de la productivité (*destruction créatrice*)
- la destruction de l'industrie de ce bien intermédiaire, c'est à dire la sortie du voisinage technologique de la technologie à la base de ce bien intermédiaire. (*obsolescence technologique*).

1.5.4 Les conditions de non arbitrage

Les profits courants d'une firme qui réalise une innovation verticale à la période t sont $\pi_{vt} = \pi_t(A_{\max t}) = \frac{\mu(\sigma-1)+1}{\sigma N_{vt}} Y_t$. La condition de non arbitrage pour les innovations verticales est :

$$\frac{(\mu(\sigma-1)+1)\lambda_v}{\sigma(1-\tau_v)} \frac{Y_t N_{vt}^{-\delta(1-\eta)}}{L_{Rvt}^{1-\delta} w_t} + g_{w_t} + (1-\delta)g_{L_{Rvt}} - (1-\delta(1-\eta))g_{N_{vt}} = r_t + \left(\frac{1}{\mu} + \theta\right)g_{A_t} \quad (11)$$

L'espérance des profits issus de l'exploitation d'une innovation horizontale ayant donné lieu à la mise en place d'une nouvelle industrie de bien intermédiaire, dont la productivité a été tirée dans la distribution de probabilité des niveaux de productivité existants, est $E(\pi_{ht}) = \int_0^1 \pi_t(a A_{\max t}) f(a) da =$

¹²On rappelle que l'effet d'échelle dans les modèles de croissance endogène est le fait que la taille de l'économie (ou bien la taille de sa population) influence le taux de croissance de l'économie. L'absence de validation empirique de ce trait majeur des modèles de croissance endogène fondée sur l'innovation a été mis en exergue par Jones (1995a) qui a proposé le modèle alternatif de croissance semi-endogène (Jones (1995b)).

$\frac{\pi_{vt}}{\mu\beta(\sigma-1)+1} = \frac{Y_t}{\sigma N_{vt}}$. Les profits qui sont associés à l'exploitation d'une innovation verticale sont donc supérieurs à ceux qui proviennent d'une innovation horizontale puisque $\mu(\sigma-1) > 0$.

La condition de non arbitrage qui s'applique au secteur d'innovation horizontale est :

$$\frac{\lambda_h}{\sigma(1-\tau_h)} \frac{Y_t N_{vt}^{\eta-1}}{w_t} + g_{wt} - \eta g_{N_{vt}} = r_t + \left(\frac{1}{\mu} + \theta\right) g_{A_t} \quad (12)$$

1.6 Condition de plein emploi

Pour clore la description du modèle, on présente l'équilibre sur le marché de l'emploi. La force de travail, offerte de manière inélastique par les ménages, se répartit entre la production, dans le secteur des biens intermédiaires, la "recherche" horizontale et le "développement" vertical.

Le travail alloué à la production de biens intermédiaires est $L_{Xt} = \int_0^{N_{vt}} x_{it} di = \frac{(\sigma-1)}{\sigma} \frac{Y_t}{w_t}$.

Les quantités de travail alloué respectivement à la recherche horizontale et verticale sont $L_{Rht} = \dot{N}_t \frac{N_{vt}^{-\eta}}{\lambda_h}$ et $L_{Rvt} = \left(\frac{\phi_t}{\lambda_v}\right)^{\frac{1}{\delta}} N_{vt}^{1-\eta}$.

La condition de plein emploi de la force de travail ($L_t = L_{Xt} + L_{Rht} + L_{Rvt}$) implique :

$$1 = \frac{(\sigma-1)}{\sigma} \frac{Y_t}{w_t L_t} + \dot{N}_t \frac{N_{vt}^{-\eta}}{\lambda_h L_t} + \left(\frac{\phi_t}{\lambda_v}\right)^{\frac{1}{\delta}} \frac{N_{vt}^{1-\eta}}{L_t} \quad (13)$$

2 Equilibre du modèle

2.1 Le sentier de croissance équilibrée

Afin d'établir les propriétés des différentes variables d'intérêts du modèle le long du sentier de croissance équilibrée, nous définissons les variables stationnaires suivantes : $v \equiv \frac{L_{Rv}}{L}$ est la part de travail alloué à l'innovation verticale, $h = \frac{N^{1-\eta}}{L}$ est le nombre d'innovations mises à jour pondéré par tête et $y = \frac{Y}{wL}$ est la production par tête rapportée au salaire réel (rappelons que le bien final est le numéraire et donc $p = 1$). Ψ , le ratio du nombre d'innovations horizontales en vigueur au nombre d'innovations horizontales créées, sera également constant le long du sentier de croissance équilibrée (ce qui implique $g_N = g_{N_v}$ le long du sentier de croissance équilibrée).

Les taux de croissance du nombre de variété et l'évolution de la productivité de pointe sont donnés par les équations suivantes :

$$g_N = \frac{\lambda_h \Psi^\eta}{h} \left(1 - \frac{(\sigma-1)}{\sigma} y - v\right) \quad (14)$$

$$g_A = \mu \lambda_v \frac{v^\delta}{h^\delta \Psi^{\delta(1-\eta)}} \quad (15)$$

L'équation d'obsolescence, $g_{N_v} = \frac{g_N}{\Psi} - \theta g_A$, est toujours vérifiée et vaut donc également le long du sentier de croissance équilibrée.

$$g_{N_v} = \frac{\lambda_h \Psi^{\eta-1}}{h} \left(1 - \frac{(\sigma-1)}{\sigma} y - v\right) - \theta \mu \lambda_v \frac{v^\delta}{h^\delta \Psi^{\delta(1-\eta)}}$$

Le système dynamique en h , y , Ψ et v qui régit l'évolution de cette économie est donc le suivant :

$$\begin{cases} \dot{h} = (1 - \eta) \lambda_h \Psi^\eta \left(1 - \frac{(\sigma-1)}{\sigma} y - v\right) - nh \\ \dot{y} = \frac{\lambda_h}{\sigma(1-\tau_h)} \frac{y^2 \Psi^{\eta-1}}{h} - \eta \frac{\lambda_h \Psi^{\eta-1} y}{h} \left(1 - \frac{(\sigma-1)}{\sigma} y - v\right) - (1 + \theta \mu (1 - \eta)) \lambda_v \frac{v^\delta y}{h^\delta \Psi^{\delta(1-\eta)}} - \rho y \\ \dot{\Psi} = (1 - \eta) \frac{\lambda_h \Psi^\eta}{h} (1 - \Psi) \left(1 - \frac{(\sigma-1)}{\sigma} y - v\right) - \theta \mu \lambda_v \frac{v^\delta}{h^\delta \Psi^{\delta(1-\eta)-1}} \\ \dot{v} = \frac{\lambda_h}{\sigma(1-\tau_h)(1-\delta)} \frac{yv}{h \Psi^{1-\eta}} - \frac{(1+\mu(\sigma-1))\lambda_v}{\sigma(1-\tau_v)(1-\delta)} \frac{\delta y v^\delta}{h^\delta \Psi^{\delta(1-\eta)}} \\ \quad + (1 - \eta) \lambda_h \frac{\Psi^{\eta-1} v}{h} \left(1 - \frac{(\sigma-1)}{\sigma} y - v\right) - (1 - \eta) \theta \mu \lambda_v \frac{\delta v^{\delta+1}}{h^\delta \Psi^{\delta(1-\eta)}} - nv \end{cases}$$

L'équilibre des variables stationnaires h , y , v et Ψ détermine un sentier de croissance équilibré pour les variables N , N_v , Y/L et A_{\max} . La production par tête de cette économie est $\frac{Y}{L} = y \frac{\sigma-1}{\sigma(\mu(\sigma-1)+1)} N_v^{\frac{1}{\sigma-1}} A_{\max}$, de sorte que le salaire réel et la production par tête vont croître, le long du sentier de croissance équilibrée, au taux :

$$g_{Y/L} = g_w = \frac{g_N}{(\sigma-1)} + g_A \quad (16)$$

La croissance de la production par tête a deux déterminants : l'un est quantitatif et ressort de la spécialisation accrue du processus de production résultant de l'augmentation du nombre de biens intermédiaires en vigueur, l'autre est qualitatif et résulte d'une amélioration de la productivité des inputs du processus de production du bien final. Plus le processus de production de bien final est sensible à la spécialisation (σ faible), plus la croissance de la production par tête répond à la croissance du nombre de biens intermédiaires.

Le long du sentier de croissance équilibrée, les taux de croissance du nombre de variétés créées et en vigueur sont proportionnels au taux de croissance de la population :

$$g_N^* = g_{N_v}^* = \frac{n}{1 - \eta} \quad (17)$$

Le voisinage technologique est constant le long d'un sentier de croissance équilibrée.

$$\Psi = \frac{1}{1 + \theta \frac{g_A^*}{g_N^*}} \quad (18)$$

Après quelques calculs, on obtient les expressions d'état stationnaire des variables y , Ψ , h et v (voir annexe). On peut donc exprimer le taux de croissance de la meilleure productivité dans l'économie g_A^* en fonction des paramètres exogènes du modèle :

$$g_A^* = \mu \lambda_v \left(\frac{(1 + \mu(\sigma + 1))(1 - \tau_h) \lambda_v}{(1 - \tau_v) \lambda_h} \right)^{\frac{\delta}{1-\delta}}$$

Le taux de croissance de la productivité de pointe dépend ici de paramètres exogènes, dont les taux de subventions à la recherche ou au développement (notion de croissance endogène), sans pour autant que l'on soit en présence d'un effet d'échelle.

2.2 Effet de l'obsolescence

La répartition du travail entre la production (l_X), le travail de recherche horizontale (l_{Rh}) et le travail de recherche verticale (l_{Rv}), ces deux dernières parts définissant l'organisation du

secteur de R&D, évolue en fonction de l'intensité θ du phénomène d'obsolescence. Plus l'intensité de l'obsolescence est forte et plus la part de travail consacré à la recherche d'innovation verticale est faible tandis que la part de travail consacré à la recherche d'innovation horizontale est élevée, ceci afin de que le taux de croissance du nombre d'innovations en vigueur g_{N_v} puisse être maintenu constant malgré le renforcement du taux d'obsolescence θg_A (effet de reconstitution de la base technologique). En revanche, la recherche verticale nécessite de moins en moins de ressources car elle se focalise sur un nombre plus restreint de secteurs lorsque l'obsolescence est importante. En effet la quantité de travail qui lui est consacrée par secteur d'activité est $L_{Rvi} = v \frac{L}{N_v}$. Plus l'intensité θ est élevée, plus $\frac{N_v}{L} = \Psi h$ est faible : Plus l'obsolescence est forte, moins la recherche verticale se disperse et plus elle est efficace.

La force du phénomène d'obsolescence influence également le montant de la prime de risque : $\phi + \theta g_A$. En effet, s'ajoute au risque de voir un nouvel innovateur s'accaparer l'ensemble des parts de marché du secteur, le risque de voir la technologie sur laquelle est bâtie le secteur devenir obsolète, ce qui survient au rythme donné par le taux d'obsolescence.

3 Faut-il aider l'innovation horizontale ou verticale ?

L'analyse théorique d'une politique économique structurelle, que cette politique porte sur la promotion de l'innovation ou sur un autre domaine, revient le plus souvent à comparer la solution décentralisée du modèle à la solution centralisée (solution résultant de l'action d'un planificateur central oeuvrant pour le bien-être des agents). Dans le cas d'un modèle de croissance fondée sur l'innovation, ce type d'analyse permet de révéler la sous ou (sur)-allocation à la recherche, en fonction des différentes externalités ou échecs de marché, en se basant sur un critère de bien-être. On peut alors définir la politique économique structurelle optimale comme celle qui permet la décentralisation de l'optimum grâce notamment à l'introduction de taxes ou de subventions permettant d'internaliser les différentes externalités ou échecs de marché. Cependant, dans la réalité, les décisions et les actions en matière de politique de la recherche et de l'innovation ne sont pas basées sur un critère d'optimalité mais tendent à atteindre des objectifs en matière de croissance ou d'emploi. Pour s'en convaincre, on peut relever que les objectifs chiffrés de Barcelone¹³, sensés permettre la mise en oeuvre de la stratégie de Lisbonne n'ont pas pour fondement une quelconque recherche d'optimalité mais cherchent à renforcer les performances économiques de l'Union Européenne (promouvoir la croissance, réduire le chômage). Cette politique peut être qualifiée de "myope", au sens où son objectif ne repose pas sur des critères de maximisation du bien-être.

Il convient donc d'examiner plusieurs points pour saisir les effets à attendre d'une politique de soutien à l'innovation en présence d'obsolescence :

- Etudier l'effet d'une politique myope de soutien à l'innovation (dont l'objectif est de maximiser le taux de croissance du produit par tête) le long du sentier de croissance équilibrée,
- Prendre en compte la dynamique transitionnelle qui résulte de la mise en oeuvre d'une politique myope de soutien à l'innovation (le critère d'appréciation peut alors être le bien-être en intégrant la période, souvent longue, qui s'écoule jusqu'à ce que l'économie atteigne un

¹³Les objectifs chiffrés de Barcelone sont notamment que l'intensité de R&D ramenée au PIB atteigne 3% au niveau européen à l'horizon 2010 et qu'un minimum de 60% de la R&D soit financée sur fonds privés et 40% sur fonds publics.

nouveau sentier de croissance équilibrée),

- Examiner l’optimalité de la politique myope de soutien à l’innovation.

Dans la présente contribution, nous ne centrons notre analyse que sur les deux premiers points c’est à dire que nous excluons toute analyse normative. Nous souhaitons utiliser le modèle présenté dans les précédentes sections pour apprécier l’efficacité de la politique d’innovation selon la force de l’obsolescence technologique. Dans un premier temps, nous analyserons de manière analytique, le comportement des taux de croissance de long terme en réponse à trois types de politique de subvention à l’innovation (subvention ciblée sur la recherche verticale, ciblée sur la recherche horizontale, subvention non ciblée).

Dans un second temps, nous procédons à des simulations numériques du modèle afin d’apprécier également les variations de bien-être de court et moyen terme lors du processus d’ajustement vers l’état stationnaire. D’Autume (2003) rappelle que la focalisation sur le seul comportement de long terme des modèles de croissance endogène fondée sur l’innovation n’est pas forcément pertinente tant l’ajustement vers cette cible peut être long et inversé les résultats normatifs.

Nous serons ainsi à même de conclure quant à l’efficacité relative des différentes politique de soutien à l’innovation en fonction de l’intensité du phénomène d’obsolescence à la fois à long terme mais également à court et moyen terme.

3.1 Etude du sentier de croissance équilibrée

Le long du sentier de croissance équilibrée qui caractérise le long terme de notre économie la taux de croissance du produit par tête est le suivant : $g_{Y/L} = \frac{g_{N_v}}{\sigma-1} + g_A$. La croissance fondée sur l’innovation horizontale, sujette à des rendements décroissants, vient buter sur la contrainte fixée par le taux de croissance exogène de la population ($g_{N_v} = \frac{n}{1-\eta}$) comme dans les modèles de croissance semi-endogène. La croissance fondée sur l’expansion du nombre de biens intermédiaires (industries) ne peut pas être renforcée à long terme. La réaction du produit par tête le long du sentier de croissance équilibrée à une politique d’innovation fondée sur des subventions à la recherche va dépendre uniquement de la manière dont ces subventions influencent le taux de croissance de la productivité de pointe g_A . Nous savons que $g_A = \mu \lambda_v \left(\frac{v}{\Psi^{\delta(1-\eta)} h^{\delta}} \right)^{\delta}$ avec $\frac{v}{\Psi(1-\eta)h} = \left(\frac{(1-\tau_h)\lambda_v(1+\mu(\sigma-1))}{(1-\tau_v)\lambda_h} \right)^{\frac{1}{1-\delta}}$. On peut donc formuler les deux propositions suivantes.

Proposition 1 *Une subvention ciblée sur la recherche d’innovation verticale renforce la croissance du niveau de productivité de pointe et par conséquent la croissance du produit par tête :*

$$\frac{dg_A}{d\tau_v} = \mu \lambda_v \left(\frac{\delta}{1-\delta} \right) \left(\frac{(1-\tau_h)\lambda_v(1+\mu(\sigma-1))}{(1-\tau_v)\lambda_h} \right)^{\frac{\delta}{1-\delta}-1} \frac{(1-\tau_h)\lambda_v(1+\mu(\sigma-1))}{(1-\tau_v)^2\lambda_h} > 0$$

Proposition 2 *Une subvention à la recherche d’innovation horizontale amoindrit le taux de croissance du niveau de productivité de pointe, et par conséquent le taux de croissance du produit par tête :*

$$\frac{dg_A}{d\tau_h} = -\mu \lambda_v \left(\frac{\delta}{1-\delta} \right) \left(\frac{(1-\tau_h)\lambda_v(1+\mu(\sigma-1))}{(1-\tau_v)\lambda_h} \right)^{\frac{\delta}{1-\delta}-1} \frac{\lambda_v(1+\mu(\sigma-1))}{(1-\tau_v)\lambda_h} < 0$$

Si les autorités en charge de la politique de recherche et d'innovation sont capables de cibler les subventions à la R&D sur l'une ou l'autre des deux composantes de la recherche, alors il est préférable de subventionner l'innovation verticale, coeur de la croissance endogène de notre économie, pour améliorer le taux de croissance de long terme. Les subventions à la recherche d'innovation horizontale n'ont pour effet que d'accroître la quantité de ressources qui lui est consacrée, en pure perte puisque le taux de croissance de long terme du stock de variété est complètement déterminé par un paramètre exogène, le taux de croissance de la population. Les subventions à la recherche d'innovation horizontale en détournant des ressources des activités génératrices de croissance (l'innovation verticale) amoindrissent le taux de croissance de la productivité de pointe de l'économie et par conséquent le taux de croissance du produit par tête de long terme.

Si la subvention à la recherche et développement porte sur la totalité du secteur de recherche et n'est donc pas ciblée ($\tau = \tau_v = \tau_h$), alors $g_A = \mu\lambda_v \left(\frac{\lambda_v(1+\mu(\sigma-1))}{\lambda_h} \right)^{\frac{\delta}{1-\delta}}$ et la politique de subvention à l'innovation n'a aucun effet sur le taux de croissance de long terme de l'économie. Les parts de travail consacré aux deux types d'innovations augmentent cependant en réponse à cette politique d'incitation.

Proposition 3 *Une subvention globale à la recherche et développement n'a aucun effet sur le taux de croissance du produit par tête de long terme.*

Les résultats énoncés ci-dessus dans les propositions 1, 2 et 3 sont classiques dans ce type de modèle (voir Howitt (1999), Jones (1999) ou Segerstrom (2000)). Ce qui est en revanche nouveau lorsqu'on introduit le phénomène d'obsolescence, c'est que la subvention à l'innovation verticale peut stimuler à la fois la recherche d'innovation verticale et celle d'innovation horizontale. En effet, en augmentant, le taux de croissance du niveau de productivité de pointe, on augmente également le taux d'obsolescence, de sorte que pour maintenir le taux de croissance du nombre de variétés en vigueur inchangé, on doit consacrer également plus de ressources à l'innovation horizontale. Cet effet doublement incitatif de la subvention à la recherche d'innovation verticale (c'est à dire cette forme de complémentarité entre les deux types de recherche qu'introduit l'obsolescence) est obtenue lorsque l'obsolescence dépasse un certain seuil $\bar{\theta}$ défini comme la solution de l'équation $\frac{dv(\theta)}{d\tau_v} = -\frac{\sigma-1}{\sigma} \frac{dy(\theta)}{d\tau_v}$. Lors de la fixation d'une subvention à la recherche d'innovation verticale, l'effet de ressources négatif (la baisse de la part de travail alloué à l'innovation horizontale du fait d'une plus grande allocation à l'innovation verticale) peut être inférieur à l'effet positif de reconstitution de la base technologique (l'allocation supplémentaire de travail à l'innovation horizontale pour maintenir le taux de croissance du nombre de variétés en vigueur constant) si $\theta > \bar{\theta}$. Il n'en demeure pas moins que cette accélération de la croissance des innovations verticales qu'on peut obtenir, engendre parallèlement un rétrécissement du voisinage technologique, c'est à dire à une diminution de la base des technologies disponibles. Or cela n'est pas anodin car deux phénomènes, non pris en compte dans ce modèle, pourraient alors jouer un rôle négatif sur le développement technologique et la croissance : l'incertitude, inhérente à l'innovation verticale, serait de plus en plus prégnante dans l'économie et la croissance de moins en moins régulière, les blocages technologiques (ou *lock-in*) deviendraient de véritables pièges pour le développement économique, puisque les solutions alternatives auraient été écartées au profit d'approfondissements technologiques dans un nombre restreint de directions technologiques. Il conviendrait d'utiliser parallèlement un autre instrument

de régulation de l'innovation pour pallier ce problème et orienter le progrès technique.

Proposition 4 *Une subvention à l'innovation verticale augmente simultanément les parts de travail consacré au deux types de recherche si l'intensité du phénomène d'obsolescence dépasse un seuil $\bar{\theta}$ défini comme la solution de l'équation suivante $\frac{dv(\theta)}{d\tau_v} = -\frac{\sigma-1}{\sigma} \frac{dy(\theta)}{d\tau_v}$.*

Le mécanisme décrit dans la proposition ci-dessus est important puisque les évolutions des parts de travail alloué aux différents types d'activités et de recherche conditionnent la trajectoire d'ajustement vers le sentier de long terme. Nous allons dans la sous-section suivante prendre en compte ces ajustements jusqu'au sentier de croissance équilibrée à travers des simulations numériques.

3.2 Prise en compte de l'ajustement vers le sentier de croissance équilibrée

Dans cette sous-section, nous allons procéder à des simulations numériques du modèle afin d'apprécier l'évolution de l'utilité intertemporelle du ménage représentatif, $U_t = \int_t^\infty e^{-\rho(s-t)} u_s ds$, en réponse aux différentes politiques de soutien à l'innovation. L'idée est que même si les rendements décroissants à l'oeuvre dans le processus d'innovation horizontale empêchent que cette forme d'innovation ait un effet durable sur la croissance, une subvention à la recherche d'innovation horizontale peut néanmoins avoir des effets transitoires positifs que la focalisation sur les seuls taux de croissance de long terme empêche d'apprécier (*cf.* sous-section précédente).

Les valeurs numériques retenues pour les simulations numériques illustrant cette section sont les suivantes :

μ	σ	λ_v	λ_h	n	ρ	L_0	$A_{\max 0}$
4	5	0.01	1	0.005	0.05	2	2

Le paramètre μ est pris égal à 4 de sorte que la productivité de pointe A_{\max} est cinq fois plus importante que la productivité moyenne ce qui traduit bien la forte asymétrie de la valeur et de la qualité des innovations. L'élasticité de substitution σ est prise égale à 5, ce qui donne au taux de mark-up de 1,2. La valeur retenue pour le taux de préférence pour le présent (ou taux d'escompte) ρ est 5% tandis que le taux de croissance de la population est 0.5% ce qui correspond à l'accroissement annuel de la population française sur les dernières décennies. Les valeurs retenues pour les paramètres λ_v et λ_h (0.01 et 1) doivent permettre d'obtenir des parts de travail alloué à la recherche relativement réalistes. Enfin la taille initiale de la population ainsi que le niveau de la productivité de pointe initiale ont assez peu d'importance sur les résultats de la simulation du modèle.

Plusieurs couples de valeurs pour les paramètres clés des fonctions de recherche, η et δ , ont été retenus. Rappelons que η est le paramètre qui pondère les externalités de connaissances intertemporelles dans la fonction de recherche d'innovation horizontale (*standing on giant's shoulders externality*) tandis que δ est l'intensité des rendements décroissants dans la recherche d'innovation verticale (*stepping on toes externality*). Pour que le phénomène de renversement du résultat théorique traditionnel soit à l'oeuvre (c'est à dire afin que la politique de subvention ciblée sur la seule innovation verticale ne soit plus optimale), il convient de retenir des rendements décroissants importants dans le secteur d'innovation verticale, c'est à dire une valeur relativement faible du

paramètre δ . Le seuil d'intensité du phénomène d'obsolescence à partir duquel la politique d'innovation optimale est une politique de subvention non ciblée diminue à mesure que le phénomène d'externalités intertemporelles de recherche s'affaiblit : plus le paramètre η est proche de 0 et plus il devient optimal de ne plus cibler la subvention à la R&D sur la seule innovation verticale même si le phénomène d'obsolescence technologique est relativement faible.

Les tableaux de résultat suivant présentent la variation de bien-être par rapport à la simulation de référence (lorsque τ_v et τ_h sont nuls) pour différent niveau du paramètre d'obsolescence lorsque $\delta = 1/3$ et pour trois valeurs du paramètre d'externalités intertemporelles η (0, 1/3 et 2/3).

$\delta = 1/3$ et $\eta = 0$					
Variation de bien-être $\frac{\Delta U}{U}$	$\theta = 0$	$\theta = 1.5$			
$\tau_v = 0 \rightarrow \tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	5.37%	2.79%			
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0 \rightarrow \tau_h = 0.1$	-5.17%	0.72%			
$\tau_v = 0 \rightarrow \tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0 \rightarrow \tau_h = 0.1$	-0.07%	3.51%			
$\delta = 1/3$ et $\eta = 1/3$					
$\frac{\Delta U}{U}$	$\theta = 0$	$\theta = 1.5$	$\theta = 3$		
$\tau_v = 0 \rightarrow \tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	5.33%	3.12%	2.73%		
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0 \rightarrow \tau_h = 0.1$	-5.11%	-0.58%	0.38%		
$\tau_v = 0 \rightarrow \tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0 \rightarrow \tau_h = 0.1$	-0.05%	2.76%	3.33%		
$\delta = 1/3$ et $\eta = 2/3$					
$\frac{\Delta U}{U}$	$\theta = 0$	$\theta = 1.5$	$\theta = 3$	$\theta = 9$	$\theta = 15$
$\tau_v = 0 \rightarrow \tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	5.17%	4.07%	4.00%	3.13%	2.95%
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0 \rightarrow \tau_h = 0.1$	-5.03%	-2.70%	-1.87%	-0.56%	-0.02%
$\tau_v = 0 \rightarrow \tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0 \rightarrow \tau_h = 0.1$	0.05%	1.45%	2.08%	2.81%	3.14%

Lorsque $\theta = 0$, notre modèle se comporte façon tout à fait comparable au modèle de croissance endogène sans effet d'échelle traditionnel (Howitt (1999) ou Jones (1999)). La prise en compte de la dynamique d'ajustement vers le nouveau sentier de croissance équilibrée n'inverse pas les résultats obtenus précédemment dans la section étudiant les effets sur les taux de croissance de long terme des subventions aux différents types de recherche.

A mesure que le phénomène d'obsolescence technologique est plus intense (augmentation de la valeur du paramètre θ), il apparaît que la variation relative de bien-être peut être supérieure lorsque la subvention à la recherche n'est pas ciblée. Plus la valeur du paramètre η est forte et plus ce retournement apparaît tardivement.

Des tableaux de résultats des simulations numériques sont présentés en annexe B, dans lesquels figurent les parts de travail, les taux de croissance et les valeurs du voisinage technologique.

Proposition 5 *Il existe un seuil $\bar{\theta} = \theta \left(\eta, \delta \dots \right)$ tel que si $\theta > \bar{\theta}$ alors, partant d'une situation sans*

subvention à la recherche et développement, la variation relative d'utilité temporelle est supérieure si la subvention à la recherche est appliquée indifféremment au deux types de recherche plutôt qu'à la seule recherche d'innovation verticale : $\frac{U(\tau_v=\bar{\tau};\tau_h=0)-U(\tau_v=0;\tau_h=0)}{U(\tau_v=0;\tau_h=0)} < \frac{U(\tau_v=\bar{\tau};\tau_h=\bar{\tau})-U(\tau_v=0;\tau_h=0)}{U(\tau_v=0;\tau_h=0)}$. Une subvention non ciblée à la recherche et développement est préférable à une subvention ciblée sur la seule recherche d'innovation verticale lorsque $\theta > \bar{\theta}$.

Ces simulations montrent que le choix du ciblage de la politique d'innovation sur la seule recherche verticale ne s'avère pas toujours être la mesure la plus efficace. Il convient auparavant d'avoir une certaine connaissance de l'intensité du phénomène d'obsolescence. Si l'intensité du phénomène d'obsolescence est élevée, c'est à dire si le système technique en place est en train d'être remplacé, il est moins utile de subventionner la recherche verticale cherchant à améliorer les technologies en place puisque celles-ci vont être progressivement remplacées par celles appartenant au nouveau système technique. Il est plus intéressant de stimuler de la même manière les deux types de recherche et donc de promouvoir également l'apparition des nouvelles technologies qui vont s'inscrire dans ce nouveau paradigme technologique. Cette dernière préconisation nous semble rassurante tant la partition entre recherche horizontale et verticale si elle est théoriquement pratique et commune ne semble pas forcément réaliste et utilisable pour les autorités en charge de la politique d'innovation.

Conclusion

Dans le cadre de la croissance endogène sans effet d'échelle à deux secteurs de recherche, le vecteur de la croissance de long terme est la recherche destinée à l'innovation verticale (l'amélioration de la productivité des biens intermédiaires plus que leur multiplication). Par rapport aux modèles canonique, nous avons introduit un phénomène d'obsolescence dépendant du rythme d'apparition des innovations verticale. Le fait que l'innovation verticale engendre l'obsolescence technologique ne renverse cependant pas le résultat énoncé ci-dessus. Si on se focalise sur la seule trajectoire de croissance équilibrée (le très long terme), il est préférable pour la croissance et le bien-être que les autorités décident de subventionner la recherche verticale plutôt que la recherche horizontale, les deux étant réalisés par des firmes privées recherchant le profit. La prise en compte de l'obsolescence, semble même apporter un argument supplémentaire pour la subvention ciblée sur l'innovation verticale puisque, si l'obsolescence est suffisamment forte, la recherche d'innovation horizontale est également stimulée.

Cependant lorsqu'on prend en compte l'ajustement jusqu'au sentier de croissance équilibrée, c'est à dire lorsque les évolutions de court terme entrent dans le calcul des variations de bien-être, il apparaît que la subvention non ciblée à la recherche est l'instrument le plus efficace si l'intensité du phénomène d'obsolescence est suffisamment forte et si la force des externalités intertemporelles de recherche est relativement faible. Ce dernier résultat semble presque rassurant pour les autorités en charge de la politique d'innovation car les préconisations de ciblage des aides sur la seule innovation verticale paraissent difficiles à mettre en oeuvre.

Annexes

Annexe A

A l'état stationnaire, le taux de croissance du nombre de variété est égal au taux de croissance de la population divisé par $1 - \eta$ ($\dot{h} = 0$), de sorte qu'on peut exprimer la variable stationnaire h de la façon suivante :

$$h = \frac{(1 - \eta) \lambda_h \Psi^\eta}{n} \left(1 - \frac{(\sigma - 1)}{\sigma} y - v \right)$$

L'équation d'obsolescence permet de définir la valeur d'état stationnaire du voisinage technologique ($\dot{\Psi} = 0$) en fonction des variables h , Ψ et v :

$$\Psi = \frac{1}{1 + \theta \frac{\mu \lambda_v v^\delta (1 - \eta)}{h^\delta \Psi^\delta (1 - \eta) n}}$$

L'égalisation des deux conditions de non arbitrage ($\dot{v} = 0$) permet d'exprimer la variable v en fonction des variables h et Ψ de la façon suivante :

$$v = \left(\frac{(1 + \mu(\sigma - 1))(1 - \tau_h) \lambda_v}{(1 - \tau_v) \lambda_h} \right)^{\frac{1}{1 - \delta}} h \Psi^{(1 - \eta)}$$

Dans la suite de l'annexe nous utiliserons la constante Ω suivante :

$$\Omega = \left(\frac{(1 - \tau_v) \lambda_h}{(1 + \mu(\sigma - 1))(1 - \tau_h) \lambda_v} \right)$$

$$v = \Omega^{-\frac{1}{1 - \delta}} h \Psi^{(1 - \eta)}$$

Le voisinage technologique d'état stationnaire peut ainsi être exprimé de la façon suivante :

$$\Psi^* = \frac{1}{1 + \theta \frac{\mu \lambda_v (1 - \eta) \Omega^{-\frac{\delta}{1 - \delta}}}{n}}$$

En utilisant l'expression de h et de v on peut exprimer une première équation $y(v)$:

$$y(v) = \frac{\sigma}{\sigma - 1} (1 - Av)$$

avec la constante A donnée par l'équation suivante :

$$A = \frac{1 + \left(\frac{1 - \eta}{n}\right) \Psi \Omega^{-\frac{1}{1 - \delta}} \lambda_h}{\left(\frac{1 - \eta}{n}\right) \Psi \Omega^{-\frac{1}{1 - \delta}} \lambda_h}$$

Enfin la condition de non arbitrage pour une innovation horizontale ($\dot{y} = 0$) va permettre d'exprimer une seconde équation $y(v)$:

$$y(v) = Bv$$

avec la constante B définie comme suit :

$$B = \frac{\sigma(1 - \tau_h)}{\lambda_h} \Omega^{\frac{1}{1 - \delta}} \left(\rho + \frac{\eta n}{(1 - \eta) \Psi} + (1 + \theta \mu (1 - \eta)) \lambda_v \Omega^{-\frac{\delta}{1 - \delta}} \right)$$

Finalement, on peut exprimer les variables stationnaires y^* et v^* uniquement en fonction des paramètres et constantes :

$$y^* = \frac{1}{A + \frac{\sigma-1}{\sigma}B}$$

$$v^* = \frac{B}{A + \frac{\sigma-1}{\sigma}B}$$

Annexe B : résultats des simulations numériques

		$\delta = 1/3$ et $\eta = 0$	
		$\theta = 0$	$\theta = 1.5$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.742$	$l_X = 0.76$
	$g_N = 0.50\%$	$l_{Rv} = 0.24$	$l_{Rv} = 0.17$
	$g_{Y/L} = 1.77\%$	$l_{Rh} = 0.017$	$l_{Rh} = 0.07$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.168$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.74\%$	$l_X = 0.714$	$l_X = 0.74$
	$g_N = 0.5\%$	$l_{Rv} = 0.27$	$l_{Rv} = 0.19$
	$g_{Y/L} = 1.86\%$	$l_{Rh} = 0.016$	$l_{Rh} = 0.07$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.161$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.57\%$	$l_X = 0.75$	$l_X = 0.759$
	$g_N = 0.50\%$	$l_{Rv} = 0.231$	$l_{Rv} = 0.163$
	$g_{Y/L} = 1.69\%$	$l_{Rh} = 0.019$	$l_{Rh} = 0.078$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.175$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.722$	$l_X = 0.74$
	$g_N = 0.50\%$	$l_{Rv} = 0.26$	$l_{Rv} = 0.183$
	$g_{Y/L} = 1.77\%$	$l_{Rh} = 0.018$	$l_{Rh} = 0.077$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.168$

		$\delta = 1/3$ et $\eta = 1/3$		
		$\theta = 0$	$\theta = 1.5$	$\theta = 3$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.745$	$l_X = 0.761$	$l_X = 0.77$
	$g_N = 0.75\%$	$l_{Rv} = 0.23$	$l_{Rv} = 0.164$	$l_{Rv} = 0.127$
	$g_{Y/L} = 1.84\%$	$l_{Rh} = 0.025$	$l_{Rh} = 0.075$	$l_{Rh} = 0.103$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.233$	$\Psi = 0.131$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.74\%$	$l_X = 0.717$	$l_X = 0.741$	$l_X = 0.755$
	$g_N = 0.75\%$	$l_{Rv} = 0.259$	$l_{Rv} = 0.183$	$l_{Rv} = 0.142$
	$g_{Y/L} = 1.93\%$	$l_{Rh} = 0.024$	$l_{Rh} = 0.075$	$l_{Rh} = 0.103$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.223$	$\Psi = 0.126$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.57\%$	$l_X = 0.751$	$l_X = 0.76$	$l_X = 0.765$
	$g_N = 0.75\%$	$l_{Rv} = 0.221$	$l_{Rv} = 0.158$	$l_{Rv} = 0.123$
	$g_{Y/L} = 1.75\%$	$l_{Rh} = 0.028$	$l_{Rh} = 0.082$	$l_{Rh} = 0.112$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.242$	$\Psi = 0.138$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.724$	$l_X = 0.741$	$l_X = 0.75$
	$g_N = 0.75\%$	$l_{Rv} = 0.249$	$l_{Rv} = 0.177$	$l_{Rv} = 0.138$
	$g_{Y/L} = 1.84\%$	$l_{Rh} = 0.027$	$l_{Rh} = 0.082$	$l_{Rh} = 0.112$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.233$	$\Psi = 0.132$

$\delta = 1/3$ et $\eta = 2/3$

		$\theta = 0$	$\theta = 1.5$	$\theta = 3$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.751$	$l_X = 0.764$	$l_X = 0.772$
	$g_N = 1.5\%$	$l_{Rv} = 0.205$	$l_{Rv} = 0.151$	$l_{Rv} = 0.119$
	$g_{Y/L} = 2.02\%$	$l_{Rh} = 0.044$	$l_{Rh} = 0.085$	$l_{Rh} = 0.109$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.377$	$\Psi = 0.233$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.74\%$	$l_X = 0.726$	$l_X = 0.746$	$l_X = 0.757$
	$g_N = 1.50\%$	$l_{Rv} = 0.232$	$l_{Rv} = 0.169$	$l_{Rv} = 0.133$
	$g_{Y/L} = 2.11\%$	$l_{Rh} = 0.042$	$l_{Rh} = 0.085$	$l_{Rh} = 0.11$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.365$	$\Psi = 0.223$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.565\%$	$l_X = 0.755$	$l_X = 0.762$	$l_X = 0.766$
	$g_N = 1.50\%$	$l_{Rv} = 0.196$	$l_{Rv} = 0.145$	$l_{Rv} = 0.115$
	$g_{Y/L} = 1.94\%$	$l_{Rh} = 0.049$	$l_{Rh} = 0.093$	$l_{Rh} = 0.119$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.39$	$\Psi = 0.242$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.731$	$l_X = 0.744$	$l_X = 0.752$
	$g_N = 1.5\%$	$l_{Rv} = 0.222$	$l_{Rv} = 0.163$	$l_{Rv} = 0.129$
	$g_{Y/L} = 2.02\%$	$l_{Rh} = 0.047$	$l_{Rh} = 0.093$	$l_{Rh} = 0.119$
		$\Psi = 1$	$\Psi = 0.377$	$\Psi = 0.233$

		$\theta = 9$	$\theta = 15$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.785$	$l_X = 0.789$
	$g_N = 1.5\%$	$l_{Rv} = 0.065$	$l_{Rv} = 0.044$
	$g_{Y/L} = 2.02\%$	$l_{Rh} = 0.151$	$l_{Rh} = 0.166$
		$\Psi = 0.092$	$\Psi = 0.057$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0$	$g_A = 1.565\%$	$l_X = 0.777$	$l_X = 0.784$
	$g_N = 1.50\%$	$l_{Rv} = 0.072$	$l_{Rv} = 0.049$
	$g_{Y/L} = 1.94\%$	$l_{Rh} = 0.151$	$l_{Rh} = 0.166$
		$\Psi = 0.087$	$\Psi = 0.054$
$\tau_v = 0$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.565\%$	$l_X = 0.774$	$l_X = 0.776$
	$g_N = 1.50\%$	$l_{Rv} = 0.063$	$l_{Rv} = 0.043$
	$g_{Y/L} = 1.94\%$	$l_{Rh} = 0.164$	$l_{Rh} = 0.18$
		$\Psi = 0.096$	$\Psi = 0.060$
$\tau_v = 0.1$ $\tau_h = 0.1$	$g_A = 1.65\%$	$l_X = 0.766$	$l_X = 0.771$
	$g_N = 1.5\%$	$l_{Rv} = 0.07$	$l_{Rv} = 0.048$
	$g_{Y/L} = 2.02\%$	$l_{Rh} = 0.164$	$l_{Rh} = 0.181$
		$\Psi = 0.092$	$\Psi = 0.057$

Références bibliographiques

- Aghion P. et Cohen D. (2004), *Education et croissance*, Rapport du CAE No.46.
- Aghion P. et Howitt P. (1992), "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica*, vol.60, No.2, pp.323-351.
- Aghion P. et Howitt P. (1998), *Endogenous Growth*, MIT Press.
- d'Autume A. (2003), "Economic Policy, Innovation and Growth", *Notas Economicas*, Coimbra.
- Beffa J.-L. (2005), *Pour une nouvelle politique industrielle*, Rapport au Président de la République, La Documentation française.
- 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 : Blanchard O. et Fisher S. eds. *NBER Macroeconomic Annual*, MIT Press.
- Dinopoulos E. et Thompson P. (1998), "Schumpeterian Growth Without Scale Effects", *Journal of Economic Growth*, vol.3, No.4, pp.313-335.
- Dinopoulos E. et Sener F. (2004), "New Directions in Schumpeterian Growth Theory", in : Hanusch et Pycka Eds. *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, Edward Elgar, Cheltenham.
- Dosi G. (1988), "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation", *Journal of Economic Literature*, vol.26, pp.1120-1171.
- Gille B. (1978), *Histoire des Techniques*, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard.
- Grossman G. et Helpman E. (1991), "Quality Ladder in the Theory of Growth", *Review of Economic Studies*, vol.58, pp.43-61.
- Guellec D. (1999), *Economie de l'innovation*, La Découverte.
- Howitt P. (1999), "Steady Endogenous Growth with population and R&D Inputs Growing", *Journal of Political Economy*, vol.107, No.4, pp.715-730.
- Jones C. (1995a), "Time Series Tests of Endogenous Growth Models", *Quarterly Journal of Economics*, vol.110, pp.495-525.
- Jones C. (1995b), "R&D-Based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, vol.103, No.4, pp.759-784.
- Jones C. (1999), "Growth : With or Without Scale Effects", *American Economic Review Papers and Proceedings*, vol.89, No.2, pp.139-144.
- Lai E. (1998), "Schumpeterian Growth with Gradual Product Obsolescence", *Journal of Economic Growth*, vol.3, pp.81-103.
- Li C. (2000), "Endogenous vs. semi-Endogenous Growth in a two-R&D-sector Model", *Economic Journal*, vol.110, pp.109-122.
- Li C. (2002), "Growth and Scale Effects : The Role of Knowledge Spillovers", *Economics Letters*, vol.74, pp.177-185.
- Peretto P. (1998), "Technological Change and Population Growth", *Journal of Economic Growth*, vol.3, pp.283-311.
- Romer P. (1990), "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, vol.98, pp.71-102.
- Rosenberg N. (1976), *Perspectives on Technology*, Cambridge University Press.
- Schmookler J. (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press.
- Segerstrom P. (2000), "The long-Run Growth Effects of R&D Subsidies", *Journal of Economic Growth*, vol.5, No.3, pp.277-305.
- Young A. (1998), "Growth without Scale Effects", *Journal of Political Economy*, vol.106, No.1, pp.41-63.