Working Paper Series n° 646

November, 2010

"Diffusion de la connaissance: étude d'un modèle de croissance schumpetérien et applications"

Elie GRAY and André GRIMAUD

Institut d'Economie Industrielle (IDEI) – Manufacture des Tabacs
Aile Jean-Jacques Laffont – 21, allée de Brienne – 31000 TOULOUSE – FRANCE
Tél. + 33(0)5 61 12 85 89 – Fax + 33(0)5 61 12 86 37 – **www.idei.fr** – contact@cict.fr

Diffusion de la connaissance : étude d'un modèle de croissance schumpetérien et applications

Elie Gray *, André Grimaud †

Résumé

Cet article présente un modèle de croissance schumpetérien, qui généralise la théorie existante : nous utilisons la différenciation circulaire du modèle de Salop [1979] pour prendre en compte le fait que la connaissance se diffuse, avec plus ou moins d'ampleur, entre les secteurs de recherche. Nous expliquons comment se constituent les viviers dans lesquels chaque secteur puise la connaissance pour produire des innovations. La prise en compte explicite de la diffusion de la connaissance nous permet de donner un nouvel éclairage à plusieurs questions : comment expliquer la sur ou sous-optimalité de la croissance ? Brevet ou secret : comment protéger les monopoles ? Quelle est la nature des effets d'échelle ?

Knowledge Diffusion : A Schumpeterian Growth Model With Several Applications

This paper proposes a Schumpeterian growth model generalizing the existing theory : we exploit the formalization of a circular product differentiation model of Salop (1979) to take into account the fact that knowledge inherent in a given sector can diffuse variously among R&D sectors, ranging from local to global diffusion. We explain how this shapes the pools of knowledge in which each sector draws from to produced innovations. Introducing explicitly knowledge diffusion allows us to shed a new light on several questions : how to explain that growth can be over or sub-optimal ? Patent or secrecy : how should monopolies be protected ? Where does the property of scale effects exactly come from ?

Classification JEL : O31, O33, O41

* Toulouse Business School. *Correspondance :* Toulouse Business School - Groupe ESC Toulouse, 20 Boulevard Lascrosses - BP 7010 31068 Toulouse Cedex 7. *Courriel :* e.gray@esc-toulouse.fr

† Toulouse School of Economics (IDEI, LERNA) et Toulouse Business School. *Correspondance :* Toulouse School of Economics (LERNA), Manufacture des Tabacs, 21 allée de Brienne, 31000 Toulouse. *Courriel :* grimaud@cict.fr

Nous remercions Philippe Aghion, Hippolyte d'Albis, Jean-Pierre Amigues, Jean-Luc Gaffard, Stéphane Robin, Gilles Saint-Paul et Thomas Vendryes pour leurs commentaires et leurs suggestions.

INTRODUCTION

Il existe une littérature empirique abondante sur la question de l'influence qu'ont les activités de recherche les unes sur les autres. Par exemple, Hall, Mairesse & Mohnen [2010] soulignent que la Recherche et Développement (R&D) faite dans une entreprise, un secteur, ou un pays, peut induire des *spillovers* positifs sur d'autres entreprises, d'autres secteurs, d'autre pays ; de tels spillovers sont d'autant plus probables et d'autant plus importants que l'émetteur et le récepteur sont proches. Dans la théorie de la croissance endogène avec innovations, la croissance repose sur l'augmentation cumulative de la connaissance : la R&D crée des idées (nouvelle connaissance) en utilisant des idées (un *vivier* de connaissance disponible) [1]. Cette théorie considère seulement deux types de viviers : ou bien chaque secteur de R&D utilise uniquement la connaissance accumulée dans ce secteur (voir notamment Grossman & Helpman [1991]), ou bien chacun d'eux utilise toute la connaissance accumulée dans l'ensemble de l'économie (Romer [1990], Aghion & Howitt [1992]). Par ailleurs, cette littérature ne considère que des équilibres en marchés incomplets, puisque la connaissance n'a pas de prix.

Alors que la diffusion de la connaissance entre les différents secteurs de R&D apparaît comme un élément-clef dans le processus de croissance, ce phénomène n'est intégré que très partiellement dans les modèles existants. L'objectif de cet article est de présenter un modèle de croissance endogène dans lequel la connaissance nouvelle (les innovations) se diffuse, avec plus ou moins d'ampleur, entre les différents secteurs de R&D. Ceci permet, entre autre, de mettre à jour le mécanisme qui est à l'origine de la formation des viviers de connaissance dans lesquels les différents secteurs vont puiser leur principal *input*. La taille de ces viviers dépend en effet du degré de diffusion de la connaissance, qui sera mesuré par l'*intensité des spillovers de connaissance*. Les modèles de Grossman & Helpman [1991] («vivier sectoriel») et d'Aghion & Howitt [1992] (« vivier global») apparaissent alors comme deux cas limites de notre modèle. Cette modélisation permet notamment de donner un nouvel éclairage à de nombreuses questions. Nous examinons ici trois d'entre elles.

Dans la section 2, nous présentons un modèle général de croissance Schumpetériens « à la Aghion & Howitt [1992] », qui s'appuie sur le modèle de différenciation circulaire de Salop [1979]. Dans la section 3, nous revenons sur la question de la sur (ou sous) optimalité de la croissance dans l'économie décentralisée : y a-t-il trop (ou trop peu) de recherche à l'équilibre ? Dans la section 4, nous analysons la question de l'arbitrage entre brevet et secret : le choix qu'effectuent les entreprises dans l'économie décentralisée est-il socialement optimal ? Enfin, dans la section 5, nous explorons à nouveau la question des effets d'échelle : nous montrons que, contrairement à ce qui est fait dans la littérature standard, il est possible de les éliminer tout en conservant des spillovers de connaissance inter-sectoriels dans l'économie.

1. C'est l'idée de *«Standing on the Shoulders of Giants»* (Scotchmer [1991]).

MODÈLE ET OPTIMUM SOCIAL

Nous proposons un modèle de croissance à échelles de qualités, dans lequel les innovations se diffusent, avec plus ou moins d'ampleur, vers les différentes activités de R&D. Chaque innovation peut donc avoir une influence plus ou moins importante sur l'activité de R&D. Dans cette perspective, nous utilisons le modèle de Salop [1979], en considérant un continuum Ω, de mesure N, de secteurs de biens intermédiaires uniformément distribués sur un cercle. Chaque secteur ω, $\omega \in \Omega$, est caractérisé par la production d'un bien intermédiaire ω, produit en quantité x_ω, et par un niveau de connaissance propre χ_ω. Il possède, en outre, sa propre activité de R&D ; cette activité produit des innovations qui améliorent successivement la qualité du bien intermédiaire, ce qui accroît le niveau de connaissance inhérente à ce secteur. A chaque instant t, le stock total de connaissance disponible dans l'économie est $\mathcal{K}_t = \int_\Omega \chi_{\omega t}\, d\omega$.

Nous faisons trois hypothèses relatives à la création de la connaissance. *En premier lieu*, comme dans les modèles à échelles de qualités [1], la découverte des innovations est stochastique. Dans chaque secteur ω, elle suit un processus de Poisson d'intensité $\lambda l_{\omega t}$, où $\lambda > 0$ est un paramètre de productivité de l'activité de R&D, et où $l_{\omega t}$ est la quantité de travail allouée à la R&D dans ce secteur, à l'instant t.

La seconde hypothèse concerne la diffusion de la connaissance. Elle introduit le fait que les innovations sont différenciées relativement à leur influence sur l'activité de recherche. Cette hypothèse permet la coexistence de différentes intensités de spillovers de connaissance, alors que la théorie standard ne considère que deux cas limites : le cas de spillovers inter-sectoriels globaux (Romer [1990] ou Aghion & Howitt [1992]), et celui de spillovers intra-sectoriels (Grossman & Helpman [1991]). En outre, elle met à jour le mécanisme qui est à l'origine de la constitution des viviers de connaissance dans lesquels chaque activité de R&D puise pour innover et produire la connaissance nouvelle. On considère trois types de diffusion : chaque innovation peut être, soit spécifique au secteur de recherche qui est à son origine, comme dans Grossman & Helpman [1991], soit se diffuser localement et être utilisée par des secteurs de recherche relativement proches dans leurs caractéristiques, soit enfin se diffuser largement vers une grande partie des activités de recherche de l'économie (le cas limite correspondant à une diffusion à l'ensemble des activités de R&D, comme dans Romer [1990] ou Aghion & Howitt [1992]). Formellement, une innovation [2] dans un secteur h, $h \in \Omega$, peut être une *innovation spécifique au secteur*, une *innovation locale*, ou encore une *innovation large*, respectivement avec probabilités p_0, p_n et p_W, où $p_0 + p_n + p_W = 1$. Dans le premier cas, les spillovers sont uniquement intra-sectoriels ; dans le deuxième et le troisième cas, ils sont à la fois intra et inter-sectoriels (avec une intensité moins importante dans le cas d'innovations locales que dans le cas d'innovations larges). Notons respectivement par $\underline{\theta}$ et $\overline{\theta}$ ($1 < \underline{\theta} \leqslant \overline{\theta} \leqslant N$) les *spectres de diffusion* des innovations locales et larges. Donc, les deux voisinages possibles de diffusion de la connaissance inhérente au secteur intermédiaire h sont [3] $\underline{\Omega^h} \equiv [h - \underline{\theta}/2\, ;\, h + \underline{\theta}/2]$ et

1. Voir, par exemple, Grossman & Helpman [1991] ou Aghion & Howitt [1992].

2. Ici, l'indice h, $h \in \Omega$, est utilisé pour indiquer un secteur à partir duquel va se diffuser la connaissance χ_h ; l'indice ω, $\omega \in \Omega$, est utilisé pour indiquer le secteur qui va potentiellement utiliser cette connaissance.

3. Nous supposons que la connaissance inhérente à un secteur h donné, si elle n'est pas uniquement spécifique à ce secteur, se diffuse de façon symétrique à droite et à gauche vers

$\overline{\Omega^h} \equiv \left[h - \overline{\theta}/2\,;\, h + \overline{\theta}/2\right]$, où $\underline{\Omega^h} \subseteq \overline{\Omega^h} \subseteq \Omega$. Le spectre de diffusion d'une innovation est une variable aléatoire θ qui peut prendre trois valeurs : 0 (avec probabilité p_0), $\underline{\theta}$ (avec probabilité p_n), ou $\overline{\theta}$ (avec probabilité p_W). Le spectre moyen de diffusion des innovations, $\mathbb{E}\left[\theta\right] = p_n\underline{\theta} + p_W\overline{\theta}$, mesure l'intensité des *spillovers inter-sectoriels*. Si l'on tient compte des *spillovers intra-sectoriels*, l'*intensité des spillovers de connaissance* dans l'économie est $\mathbb{S}\left[\theta\right] = \mathbb{E}\left[\theta\right] + p_0$.

La prise en compte du fait que toutes les innovations ne se diffusent pas de façon identique est essentielle pour déterminer la composition de chaque vivier de connaissance. Pour un secteur donné ω, ce vivier, noté $\mathcal{P}_t^\omega$, est défini comme l'ensemble de la connaissance dont le spectre de diffusion inclut la localisation de ce secteur [1] : $\mathcal{P}_t^\omega = (1-p_n-p_W)\chi_{\omega t} + p_n \int_{\underline{\Omega^\omega}} \chi_{ht}\, dh + p_W \int_{\overline{\Omega^\omega}} \chi_{ht}\, dh\,, \forall\omega \in \Omega$.

La troisième hypothèse concerne l'augmentation de connaissance induite dans un secteur par chaque innovation. Comme dans la théorie standard, elle dépend linéairement du vivier de connaissance dont dispose l'activité de recherche. L'apport de notre modélisation à cette théorie est que nous explicitons comment se forme ce vivier. Formellement, s'il y a une innovation à l'instant t dans le secteur intermédiaire ω, l'augmentation du niveau de connaissance, $\Delta\chi_{\omega t}$, (*i.e.* l'amélioration de la qualité), est proportionnelle à la taille du vivier à cet instant : $\Delta\chi_{\omega t} = \sigma\mathcal{P}_t^\omega\,,\ \forall\omega \in \Omega$, où σ est un paramètre positif.

En utilisant ces trois hypothèses, on obtient la loi d'évolution de la connaissance moyenne dans chaque secteur : $\dot{\chi}_{\omega t} = \lambda\sigma l_{\omega t}\mathcal{P}_t^\omega\,,\ \forall\omega \in \Omega$. La formulation proposée ici permet donc de considérer une grande variété de modèles. D'une part, le spectre de diffusion est compris entre zero (diffusion intra-sectorielle) et N (diffusion inter-sectorielle globale). D'autre part, dans chaque modèle, peuvent coexister des innovations ayant des spectres de diffusion différents. Les modèles d'Aghion & Howitt et de Grossman & Helpman correspondent à deux cas particuliers limites du modèle proposé. Le premier est obtenu en supposant que toute innovation se répand à travers l'ensemble de l'économie ; le second, en supposant que chaque innovation est spécifique à l'activité de R&D dans laquelle elle a été produite.

En ce qui concerne le reste de l'économie, nous reprenons les hypothèses standards des modèles de croissance endogène. L'économie doit faire face à l'arbitrage suivant : allouer le travail disponible à la R&D, ou bien l'allouer à la production de bien final. Chaque ménage a une dotation initiale d'une unité de travail dont l'offre est inélastique. La quantité de travail, L, est supposée constante et elle est utilisée en quantité L_t^Y dans la production de bien final, Y_t, et en quantité $L_t^R = \int_\Omega l_{\omega t}\, d\omega$ dans les activités de R&D de l'économie. Sur le marché du travail, on a donc la contrainte $L = L_t^Y + L_t^R$. En plus du travail, la production de bien final requiert l'utilisation de tous les biens intermédiaires disponibles, à chacun desquels est associé son niveau de connaissance propre, selon la technologie de production : $Y_t = (L_t^Y)^{1-\alpha}\int_\Omega \chi_{\omega t}(x_{\omega t})^\alpha d\omega\,,\ 0 < \alpha < 1$. Le bien final est utilisé pour la consommation, c_t, du ménage représentatif, et dans la production des biens intermédiaires. La quantité $y_{\omega t}$ de bien final nécessaire à la production du bien intermédiaire ω est croissante avec son degré de complexité, c'est-à-dire avec sa qualité : $x_{\omega t} = y_{\omega t}/\chi_{\omega t}\,,\ \omega \in \Omega$. Sur le marché du bien final, on a donc la contrainte $Y_t = Lc_t + \int_\Omega y_{\omega t} d\omega$. Enfin, l'utilité intertemporelle du ménage représentatif est : $\mathcal{U} = \int_0^\infty \ln(c_t)e^{-\rho t}dt$, où

un continuum de secteurs, centré en h, de mesure totale θ, $\theta \in \{\underline{\theta}; \overline{\theta}\}$.

1. En d'autres termes, chaque activité de R&D ω, $\omega \in \Omega$, ne peut utiliser que la connaissance créée par les activités de R&D h, $h \in \Omega$, dont le spectre de diffusion inclut la localisation du secteur intermédiaire ω.

$\rho > 0$ est le taux de préférence pour le présent.

La caractérisation des sentiers de croissance socialement optimaux aboutit au résultat escompté : *le taux de croissance optimal de l'économie, g^{opt}, est une fonction croissante de l'intensité des spillovers inter-sectoriels ($\mathbb{E}[\theta]$) et intra-sectoriels (représentés ici par p_0).* On obtient :

$$g^{opt} = \frac{\lambda\sigma\mathbb{S}[\theta]\,L}{N} - \rho\,,\ \text{où}\ \mathbb{S}[\theta] = \mathbb{E}[\theta] + p_0 \qquad (1)$$

Dans les trois sections qui suivent, nous examinons trois exemples où la prise en compte de la diffusion de la connaissance permet de donner un nouvel éclairage à la littérature.

L'EFFORT DE RECHERCHE EST-IL TROP, OU PAS ASSEZ IMPORTANT ?

Dans un modèle de croissance endogène basée sur l'innovation, le taux de croissance de l'économie décentralisée est-il sous-optimal ou sur-optimal ? Cette question a été traitée dans plusieurs travaux (voir, par exemple, Benassy [1998] ou encore Jones & Williams [1998]). L'objectif de cette section est de lui apporter un éclairage nouveau. *Nous montrons en particulier que la réponse dépend de l'intensité des spillovers de connaissance.*

Nous étudions le même type d'économies décentralisées que Grossman & Helpman [1991] ou Aghion & Howitt [1992]. Il s'agit d'équilibres avec création destructrice, où les marchés sont incomplets (il n'y a pas de marché de la connaissance) et où la recherche est financée indirectement par les profits réalisés par les monopoles sur la vente des biens intermédiaires qui incorporent de la connaissance. Nous introduisons deux outils de politique économique : i) une subvention, ψ, à la demande de chaque bien intermédiaire, pour corriger la distorsion statique liée à la présence des monopoles ; et ii) un outil dédié à l'effort de recherche, noté φ, qui peut être positif (subvention) ou négatif (taxe), pour corriger la distorsion dynamique impliquée par les spillovers de connaissance. Nous caractérisons l'ensemble des équilibres de l'économie décentralisée (*i.e.* les profils temporels de prix et de quantités) en fonction de ces deux outils. En particulier, nous obtenons le taux de croissance d'équilibre de l'économie en fonction des outils de politique économique [1] ψ et φ :

$$g^{e}(\psi,\varphi) = \frac{\mathbb{S}[\theta]\,\sigma\left(\lambda\alpha L(1+\varphi) - (1-\psi)\rho N\right)}{N\left(\alpha(1+\varphi) + 1 - \psi\right)}\,,\ \text{où}\ \mathbb{S}[\theta] = \mathbb{E}[\theta] + p_0 \qquad (2)$$

En comparant le taux de croissance optimal (*cf.* (1)) à celui de l'équilibre (*cf.* (2)), on obtient le résultat suivant : *si l'intensité des spillovers de connaissance est importante, la croissance d'équilibre est sous-optimale ; si elle est*

1. Le taux de croissance de l'équilibre de « laisser faire » est obtenu pour $\psi = \varphi = 0$. En outre, nous caractérisons les outils de politique économique qui permettent de corriger les deux distorsions et d'implémenter l'optimum : $\psi^* = 1 - \alpha$ et $\varphi^* = \mathbb{S}[\theta]\,\sigma\,(\lambda L + \rho N)\,/\rho N - 2$. Puisque l'externalité induite par les spillovers de connaissance peut conduire à la sous-optimalité comme à la sur-optimalité, l'outil optimal qui régule cette distorsion dynamique, φ^*, sera bien une subvention ou une taxe, selon l'intensité des spillovers.

faible, cette croissance est sur-optimale. Plus formellement, il existe un seuil $\tilde{S}(\psi, \varphi)$ tel que $g^e(\psi, \varphi) \leq g^{opt}$ si $\mathbb{S}[\theta] \geq \tilde{S}(\psi, \varphi)$ et réciproquement. L'explication de ce résultat est directement liée à l'incomplétude des marchés. A l'optimum social, la répartition du travail dépend de l'intensité des spillovers : l'effort optimal de R&D croît avec cette intensité. Par contre, dans l'économie décentralisée, l'effort de R&D n'en dépend pas. En effet, cet effort est déterminé par les profits anticipés des monopoles. Or, ces derniers ne sont pas liés aux spillovers de connaissance, puisque la connaissance n'a pas de prix en raison de l'incomplétude des marchés.

BREVET OU SECRET ?

On observe que les innovateurs initialement en monopole ont, en général, le choix entre plusieurs méthodes de protection afin de conserver leurs profits : une protection juridique (brevet, notamment), ou une protection informelle (secret, avance technologique, par exemple). Dans le premier cas, le monopole perdra son pouvoir à l'expiration du brevet ; dans le second, parce qu'il aura été copié, ou parce qu'une nouvelle innovation aura été créée. Ce choix privé entre protection juridique et secret se fera en comparant sa capacité à garder le secret (qui dépend des possibilités de copie et d'innovation de ses concurrents potentiels) et le degré de protection que lui offre le brevet, par exemple.

L'accumulation de la connaissance, et par conséquent la croissance, dépendent de la constitution des viviers de connaissance dans lesquels les activités de R&D puisent pour produire des innovations. La taille de ces viviers est influencée par deux facteurs. D'une part, le degré de diffusion de la connaissance de chaque secteur vers les autres (*i.e.* l'intensité des spillovers de connaissance inter-sectoriels) ; d'autre part, l'accroissement de la connaissance inhérente à chaque secteur avant sa diffusion éventuelle (*i.e.* les spillovers de connaissance intra-sectoriels).

Le législateur choisit le degré de protection juridique avec un objectif de bien-être social. De ce point de vue, le brevet permet la diffusion de la connaissance, parce qu'il requiert la publication des connaissances nouvelles. Cependant, dans le cas d'une protection trop large, le brevet ralentit l'accroissement de connaissance dans chaque secteur. En effet, des critères de nouveauté trop exigeants pour l'obtention d'un nouveau brevet, ou encore la crainte d'un procès pour empiétement sur le brevet existant, freinent l'entrée des innovations dans le secteur. Le choix du secret, quant à lui, freine l'innovation car il empêche la diffusion de la connaissance. Il présente néanmoins l'avantage de ne pas bloquer l'arrivée des innovations dans les différents secteurs.

Nous obtenons deux résultats liés à l'importance de la diffusion de la connaissance et à l'incomplétude des marchés.

Le premier est obtenu en comparant le bien-être social dans les deux cas suivants : les monopoles choisissent la protection juridique, ou bien ils optent pour une protection informelle. *Si l'intensité des spillovers de connaissance est importante, le bien-être social est plus élevé quand le choix des monopoles se tourne vers une protection juridique, puisque celle-ci permet à la société de profiter de ces spillovers ; si elle est faible, une protection informelle est alors socialement préférable, du fait que celle-ci, bien quelle ne permette pas* *la diffusion de la connaissance, ne ralentit pas l'accroissement de la connaissance dans chaque secteur.* Formellement, il existe un seuil $S^*(\psi,\varphi)$ tel que, pour $\mathbb{S}[\theta] \geq S^*(\psi,\varphi)$ (*resp.* $\mathbb{S}[\theta] \leq S^*(\psi,\varphi)$), la protection juridique (*resp.* la protection informelle) est socialement préférable.

Le second résultat, qui découle du premier, est relatif à la comparaison entre choix public et choix privé. *Puisque l'innovateur ne tire pas directement profit de la connaissance mais de la vente du bien intermédiaire qui l'incorpore, son choix privé va dépendre uniquement de la durée de vie du monopole que lui offre la protection juridique par rapport au secret, et nullement de l'externalité positive liée à la diffusion de son innovation. Il est donc possible d'avoir quatre situations :*

1. Le choix privé du monopole est de garder le secret car la protection juridique proposée est jugée insuffisante, alors qu'il serait socialement souhaitable qu'il choisisse un moyen de protection juridique qui permettrait à la connaissance de se diffuser. Plus formellement, cet équilibre, où $\mathbb{S}[\theta] \geq S^*(\psi,\varphi)$, n'est pas optimal.
2. Le monopole opte pour la protection juridique alors que, du fait de la faible intensité des spillovers, le secret serait socialement préférable. Là encore, cet équilibre, où $\mathbb{S}[\theta] \leq S^*(\psi,\varphi)$, n'est pas optimal.
3. Le choix par le monopole d'une protection juridique est optimal si $\mathbb{S}[\theta] \geq S^*(\psi,\varphi)$ (forte diffusion de la connaissance).
4. Le choix du secret est optimal si $\mathbb{S}[\theta] \leq S^*(\psi,\varphi)$ (faible diffusion). Nous revisitons ici un résultat de Boldrin & Levine [2002] selon lequel, dans certains cas, il n'est pas pertinent d'instaurer des droits de propriété.

Ces résultats soulignent le rôle incitatif que pourraient jouer les pouvoir publics auprès des monopoles, en proposant des instruments de protection appropriés à chaque type d'innovation, dans le but d'augmenter le bien-être social.

LA QUESTION DES EFFETS D'ÉCHELLE REVISITÉE À LA LUMIÈRE DES SPILLOVERS DE CONNAISSANCE

Un inconvénient des modèles de base de la théorie de la croissance endogène (Romer [1990], Grossman & Helpman [1991] ou encore Aghion & Howitt [1992]) réside dans la présence d'effets d'échelle. Cette propriété, qui prédit que le taux de croissance de long terme de l'économie dépend positivement du niveau de la population, n'est pas confirmée par les observations [1]. De nombreux modèles se sont intéressés à la manière de remédier au problème d'adéquation empirique des modèles de croissance basés sur l'innovation [2]. Une première génération de modèles, dits de « croissance semi-endogène », élimine les effets d'échelle en introduisant un effet de duplication dans la recherche [3]. Ces modèles présentent cependant un inconvénient majeur : les taux de croissance de long terme de l'économie y sont insensibles aux politiques économiques.

1. Voir, par exemple, Jones [1995a].
2. Pour une présentation générale de cette question, voir Jones [1999] et [2005] ou Dinopoulos & Sener [2007], qui proposent une typologie des différents modèles.
3. Voir, par exemple, Jones [1995b], ou encore Segerstrom [1998].

Une seconde génération de modèles, dits de « croissance endogène sans effets d'échelle », rétablit les effets des politiques économiques, tout en ne présentant pas cette propriété [1]. Comme le soulignent Jones [1999] ou Dinopoulos & Sener [2007], ce résultat est obtenu à partir de deux modifications de la modélisation utilisée dans les modèles originels. En premier lieu, les auteurs introduisent le fait que l'augmentation de la population s'accompagne d'une augmentation proportionnelle du nombre de secteurs dans l'économie [2] : $N_t = \kappa L_t/\xi$, $\kappa > 0, \xi > 0$. En second lieu, ils utilisent une normalisation de la technologie de production des innovations (ou de façon équivalente, de la technologie de production de bien final) : le vivier de connaissance utilisé par chaque secteur est alors le stock total de connaissances accumulées normalisé par le nombre de secteurs. Il correspond donc au niveau moyen de connaissance à travers les secteurs [3]. En d'autres termes, cette normalisation revient à considérer qu'il n'y a pas de spillovers de connaissance inter-sectoriels. La propriété d'effets d'échelle est ainsi éliminée en supprimant la diffusion de la connaissance.

Dans cette section, afin de revisiter la question des effets d'échelle, nous intégrons au modèle présenté dans la deuxième section le fait que le nombre de secteurs augmente. Nous empruntons la formalisation généralement utilisée, qui a été présentée ci-dessus. En revanche, nous conservons la diffusion de la connaissance, élément central du modèle, et nous montrons que les effets d'échelle peuvent être éliminés sans pour autant éliminer les spillovers inter-sectoriels. En effet, nous obtenons le taux de croissance de l'économie suivant :

$$g^e(\psi,\varphi) = \frac{\mathbb{S}[\theta]\,\sigma\left(\frac{\xi\lambda\alpha(1+\varphi)}{\kappa} - (1-\psi)\rho\right)}{\alpha(1+\varphi)+1-\psi}, \text{où} \begin{cases} \mathbb{S}[\theta] = p_0 + p_n\underline{\theta} + p_W\overline{\theta}, \\ 1 < \underline{\theta} \leqslant \overline{\theta} \leqslant N, \\ p_0 + p_n + p_W = 1 \end{cases}$$

Ici, la propriété d'effets d'échelle est présente dans le cas où $\overline{\theta} = N$ et $p_W > 0$, *i.e.* dans le cas limite où les innovations larges sont globales. Les modèles de croissance à la Aghion & Howitt [1992] supposent implicitement que $p_W = 1$ et $\overline{\theta} = N$: toute innovation se diffuse à l'ensemble des activités de R&D. En d'autres termes, l'intensité des spillovers de connaissance y est globale ($\mathbb{S}[\theta] = N$). *In fine*, l'intensité des spillovers augmente au même rythme que le nombre de secteurs, et donc que la taille de la population. *Notre modélisation permet donc de mettre à jour le mécanisme qui est à l'origine des effets d'échelle dans ces modèles.* Afin de supprimer cette propriété, la théorie de la croissance endogène sans effets d'échelle s'est implicitement placée dans le cas où les spillovers de connaissance sont uniquement intra-sectoriels : $\mathbb{S}[\theta] = 1$ (*i.e.* $p_0 = 1$). Elle annihile de ce fait un caractère fondamental du processus d'accumulation de la connaissance : la diffusion de la connaissance. *Notre modélisation permet donc aussi de comprendre comment cette théorie a éliminé les effets d'échelle.* En outre, *nous proposons un modèle dans lequel il n'y a pas d'effets d'échelle, même quand il existe des spillovers inter-sectoriels très importants.* En effet, soit $\overline{\theta}$ est proche de N, en lui restant strictement

1. Voir, par exemple, Aghion & Howitt [1998], Dinopoulos & Thompson [1998], Young [1998], Howitt [1999], ou encore Peretto & Smulders [2002].

2. A cet effet, il suffit, par exemple, de supposer qu'à tout instant t, le nombre de nouveaux secteurs faisant leur apparition dépend linéairement de la taille de la population, L_t, et qu'une proportion ξ des secteurs devient obsolète et disparaît. Voir, par exemple, Aghion & Howitt [2009] (chapitre 4, section 4.4).

3. Avec les notations de notre modèle, cela revient à poser $\mathcal{P}_t^{\omega} = \frac{\mathcal{K}_t}{N}$.

inférieur, et les effets d'échelle disparaissent ; soit $\overline{\theta} = N$, mais, dans ce cas, il est raisonnable de penser que la fréquence d'arrivée des innovations globales est faible (c'est-à-dire que p_W est proche de 0) : en d'autres termes, il peut y avoir des effets d'échelle, mais ils sont peu importants.

CONCLUSION

L'apport principal du modèle proposé réside dans la formalisation explicite de la diffusion de la connaissance produite dans chaque secteur de R&D vers tous les autres. En utilisant un cercle de Salop, nous considérons tous les cas possibles de diffusion, de la diffusion strictement intra-sectorielle à la diffusion globale (qui atteint tous les secteurs). On explique comment se forment les viviers de connaissance dans lesquels chaque secteur de R&D puise afin de produire des innovations. L'accumulation de la connaissance, et donc la croissance, seront d'autant plus importantes que la diffusion est forte. Cette analyse généralise la littérature standard qui ne considère, en général, que deux cas extrêmes : la diffusion intra-sectorielle (Grossman & Helpman [1991]) et la diffusion globale (Aghion & Howitt [1992]). Cette méthodologie permet notamment de revisiter de nombreuses questions. Nous examinons ici trois d'entre elles.

La croissance est-elle sur ou sous-optimale ? Nous montrons qu'elle est sur-optimale (*resp.* sous-optimale) si la diffusion de la connaissance est faible (resp. forte). L'origine de ce résultat se trouve dans l'incomplétude des marchés (pas de marché de la connaissance) : pour l'innovateur, la valeur de son innovation découle du pouvoir de monopole qu'elle lui donne (vente du bien incorporant la connaissance nouvelle), et elle est différente de la valeur sociale de cette innovation.

Les innovateurs devraient-ils protéger leur pouvoir de monopole par le brevet ou par le secret ? Ce choix privé peut coïncider, ou non, avec l'optimum social. En particulier, le choix du brevet sera optimal lorsque les innovations du monopole sont à large spectre, parce que le brevet requiert la publication de la connaissance nouvelle, ce qui assure sa diffusion. Par ailleurs, le choix du secret sera optimal lorsqu'elle sont locales. En effet, le secret, contrairement au brevet, ne freine pas l'entrée d'innovations nouvelles, ce qui, dans le cas d'innovations à faible spectre, contrebalance la non diffusion de la connaissance. Ainsi, ne pas protéger juridiquement les innovations peut être optimal, comme le suggèrent Boldrin & Levine.

Quelle est la nature des effets d'échelle ? En utilisant notre méthodologie, nous expliquons, tout d'abord, que la présence de cette propriété (en inadéquation avec les faits empiriques) dans les modèles standards résulte de l'hypothèse implicite que la diffusion de la connaissance y est globale. De plus, nous montrons que, pour éliminer cette propriété non désirable, les modèles de croissance endogène sans effets d'échelle suppriment la diffusion inter-sectorielle. Enfin, nous proposons une modélisation dans laquelle il n'y a pas d'effets d'échelle, mais où la connaissance peut se diffuser.

Références

[1] Aghion P., Howitt P. [1992], « A Model of Growth through Creative Destruction », *Econometrica*, 60, p. 323-351.

[2] Aghion P., Howitt P. [1998], *Endogenous Growth Theory*, Cambridge MA, MIT Press.

[3] Aghion P., Howitt P. [2009], *The Economics of Growth*, Cambridge MA, MIT Press.

[4] Benassy J.-P. [1998], « Is there always too little research in endogenous growth with expanding product variety ? », *European Economic Review*, 42, p. 61-69.

[5] Boldrin M., Levine D. [2002], « The Case Against Intellectual Property » *American Economic Review*, 92 (2), p. 209-212.

[6] Dinopoulos E., Sener F. [2007], « New Directions in Schumpeterian Growth Theory », dans Hanusch H. et A. Pyka (eds.), *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, Edward Elgar.

[7] Dinopoulos E., Thompson P. [1998], « Schumpeterian Growth Without Scale Effects », *Journal of Economic Growth*, 3, p. 313-335.

[8] Grossman G., Helpman E. [1991], « Quality Ladders in the Theory of Growth », *Review of Economic Studies*, 58, p. 43-61.

[9] Hall B., Mairesse J., Mohnen P. [2010], « Measuring the returns to R&D» dans Hall B. et Rosenberg N. (eds.), *Handbook of the Economics of Innovation*, Elsevier.

[10] Howitt P. [1999], « Steady Endogenous Growth with Population and R&D Inputs Growing », *Journal of Political Economy*, 107, p. 715-730.

[11] Jones C. [1995a], « Time Series Tests of Endogenous Growth Models », *Quarterly Journal of Economics*, 110, p. 495-525.

[12] Jones C. [1995b], « R&D-Based Models of Economic Growth », *Journal of Political Economy*, 103, p. 759-784.

[13] Jones C. [1999], « Growth : With or Without Scale Effects ? », *American Economic Review, Papers and Proceedings*, 89, p. 139-144.

[14] Jones C. [2005], « Growth and Ideas », dans Aghion P. et Durlauf S. (eds.) *Handbook of Economic Growth*, Elsevier Volume 1B, p. 1063-1111.

[15] Jones C., Williams J. [1998], « Measuring the Social Return to R&D », *Quarterly Journal of Economics*, 113, p. 1119-1135.

[16] Peretto P., Smulders S. [2002], « Technological Distance, Growth and Scale Effects », *Economic Journal*, 112, p. 603-624.

[17] Romer P. [1990], « Endogenous Technological Change », *Journal of Political Economy*, 98 (5), p. 71-102.

[18] Salop S. [1979], « Monopolistic Competition with Outside Goods », *Bell Journal of Economics*, 10, p. 141-156.

[19] Scotchmer S. [1991], « Standing on the Shoulders of Giants : Cumulative Research and the Patent Law », *Journal of Economic Perspective*, 5 (1), p. 29-41.

[20] Segerstrom P. [1998], « Endogenous Growth Without Scale Effects », *American Economic Review*, 88, p. 1290-1310.

[21] Young A. [1998], « Growth Without Scale Effects », *Journal of Political Economy*, 106, p. 41-63.