DOCUMENT DE RECHERCHE

EPEE

CENTRE D'ETUDE DES POLITIQUES ECONOMIQUES DE L'UNIVERSITÉ D'EVRY

Macroéconomie approfondie : croissance endogène

Jérôme GLACHANT

99 – 10

UNIVERSITE D'EVRY – VAL D'ESSONNE, 4 BD. FRANCOIS MITTERRAND, 91025 EVRY CEDEX

La Croissance Endogène

Jérôme Glachant*

Septembre 1999

1. Introduction

Ce chapitre a pour objet la présentation des modèles de croissance endogène. Ces derniers considèrent simultanément les deux sources de croissance, que sont, d'une part, l'accumulation des *facteurs de production*, et d'autre part, l'amélioration de la *technologie*, c'est-à-dire le progrès technique.

La différence entre ces deux sources réside dans la propriété de *rivalité.* Les firmes ne sont pas rivales pour l'usage de la technologie, en ce que son utilisation par l'une n'empêche pas l'autre d'y avoir accès. A l'inverse, la rivalité pour l'utilisation des facteurs (travail, capital,...) est totale. La non-rivalité liée à la technologie justifie qu'elle soit considérée comme un bien auquel chacun accède sans coût. En contrepartie, il n'existe aucune incitation pour les agents privés à "produire" de la technologie et son évolution peut être, comme dans le chapitre précédent, considérée comme exogène.

Replacé dans le cadre du modèle néoclassique, ce caractère exogène implique que les comportements des agents et les politiques économiques n'affectent pas durablement le taux de croissance du revenu. Cette caractéristique constitue une faiblesse de l'approche traditionnelle.

Comment endogénéiser la technologie au sein du modèle, afin qu'elle puise jouer un rôle dans la dynamique des économies ? Existent-ils des "incitations" qui provoquent le progrès techniques ? Si oui, quelles sont-elles ? L'Etat peut-il et doit-il agir sur la croissance de long-terme ? Telles sont les questions abordées dans ce chapitre.

Une réponse aux deux premières questions est de concevoir la production de "technologie" comme un *effet externe* aux agents privés. Le progrès technique

*EPEE, Université d'Evry-Val-d'Essonne, 4, Bd F. Mitterrand, 91025 Evry Cedex, *glachant@eco.univ-evry.fr.* Ce chapitre est destiné à un manuel de macroéconomie, dont l'édition est coordonnée par J.-O. Hairault, à paraître aux éditions La Découverte. Je remercie Jean-Olivier Hairault pour ses précieux commentaires.

serait le résultat involontaire de l'activité économique. Il proviendrait des comportements privées sans que ces derniers ne soient orientés vers ce but. Ce serait donc de manière "fortuite" que les agents, notamment les comportements d'investissement, agissent sur le taux de croissance de long-terme. Un attrait de cette approche est qu'elle parvient à endogénéiser la croissance dans un cadre assez élémentaire, notamment en sauvegardant la concurrence parfaite. Son défaut est qu'elle n'accorde aucune place aux "incitations". C'est dans cette voie qu'elle doit être complétée.

Dans la réalité, les firmes privées mobilisent des ressources considérables sous forme d'investissement en recherche et développement, dans le but de profiter des innovations technologiques. Ainsi au moins une partie du progrès technique résulte-t-il du comportement délibéré de l'innovateur, orienté vers un revenu futur. Cela n'est possible que si l'innovation est protégée, soit par le secret, soit par un système légal comme le brevet. Dans les deux cas, l'innovation accorde un pouvoir de marché à celui qui l'utilise, dont les rentes constituent directement ou indirectement le revenu de l'innovateur. La structure des marchés en termes de concurrence imparfaite est ainsi un élément déterminant dans l'évolution technologique.

L'externalité technologique, d'une part, et la concurrence imparfaite liée aux innovations technologiques, d'autre part, constituent donc les deux pierres sur lesquels s'appuient les modèles de croissance endogène. On retrouve ces deux éléments dans le chapitre.

Le caractère endogène de la croissance implique que la politique économique (au sens large) joue un rôle considérable dans ces modèles. En effet, l'existence d'externalités justifie que l'Etat mette en place des politiques économiques, qui ont pour objet d'orienter les agents privés vers des activités génératrices de croissance. Ces politiques reposent sur des instruments traditionnels : taxation, subvention, politiques d'infrastrucutres.... Par exemple, si le progrès technique est le résultat involontaire de l'investissement en capital physique alors il est légitime de soutenir l'investissement privé. S'il provient de l'éducation, l'Etat prend en charge une partie de son coût.

L'intervention de l'Etat peut également revêtir une forme plus originale. Ainsi il agit sur le degré de protection de l'innovation en fournissant un cadre légal comme le système des brevets. Pour mettre au point ce dernier, il est soumis à différentes exigences entre lesquelles il arbitre : l'excès de protection brise la concurrence et bloque les effets de diffusion technologique et, à l'inverse, une protection insuffisante n'incite pas à l'innovation. Les politiques publiques peuvent également faciliter les transferts de technologie d'un pays à un autre. On peut ainsi penser qu'une ouverture des frontières permet de bénéficier d'externalités transnationales. On constate ainsi que l'endogénéisation des technologies et de la croissance redonne aux politiques publiques une certaine légitimité.

Compte tenu de l'importance de la littérature sur les théories de la croissance endogène, l'objectif du présent chapitre n'est pas d'être exhaustif mais de décrire quelques mécanismes et phénomènes communs aux nouveaux modèles. Nous suivrons la progression suivante. La première section est consacrée au modèle de "learning-by-doing" dans lequel le progrès technique est un sous-produit de l'investissement en capital physique. La seconde section déplace le champ de l'externalité puisque celle-ci transite par le com :portement d'éducation des agents. Dans ces deux premières sections, l'hypothèse de concurrence parfaite est maintenue. C'est dans la troisième section que nous combinons externalités technologiques, innovations et concurrence imparfaite dans un modèle dit "d'expansion des variétés".

2. Investissement et externalités technologiques

Cette section présente le modèle de "learning-by-doing" qui constitue un prototype des modèles à progrès technique endogène. Dans ce modèle, chaque unité de produit *investi* dans le capital physique augmente l'avancement technologique au moyen d'un effet externe. Le comportement d'épargne des ménages a donc une influence déterminante sur la technologie, sans que cet effet ne soit internalisé par des mécanismes marchands. Une première sous-section est consacrée au bouclage du modèle par l'épargne. Dans une seconde sous-section, le modèle est évalué dans une perspective de comparaison des économies.

2.1. Le "learning-by-doing" et bouclage par l'épargne

2.1.1. Technologies privée et sociale

Le *learning-by-doing,* développé et utilisé par Kenneth Arrow [1962], puis par Romer [1986], pose qu'il existe une externalité liant le niveau d'efficacité technologique A à l'expérience de production accumulée par les agents, firmes ou travailleurs. En admettant que le stock de capital constitue une mesure de cette expérience, on a :

$$A(t) = \overline{k}(t), \tag{2.1}$$

avec $\overline{k}$ l'intensité capitalistique moyenne parmi les firmes, ou encore le stock de capital moyen par travailleur. La technologie accessible à la firme i s'écrit alors :

$$Y_i = F\left(K_i, \overline{k}L_i\right). \tag{2.2}$$

Cette technologie *privée* est paramétrée par $\overline{k}$, grandeur *sociale* dont le niveau est externe à la firme i. A l'équilibre avec externalités, le niveau $\overline{k}$ perçu par chacune des firmes, lorsqu'elles élaborent leur plan de production, est effectivement le niveau réalisé. Pour des firmes identiques, cela implique *ex post* $\overline{k} = K_i/L_i, \forall i$. En reportant cette égalité dans (2.2) et en tenant compte de la constance des rendements d'échelle, on en déduit la technologie *sociale* de la firme i :

$$Y_i = F(K_i, K_i) = F(1,1)K_i. \tag{2.3}$$

Comme précédemment, on note $f(k) \equiv F(k,1)$. Sachant que chaque firme a accès à cette même technologie, le produit de l'économie disposant d'un stock de capital K est $f(1)K$.

Rappelons deux des caractéristiques de cette technologie déjà rencontrée dans le chapitre [KS] :

– Les rendements privés, définis pour $\overline{k}$ donné à partir de (2.2), sont décroissants. A l'équilibre concurrentiel avec externalités, les facteurs de production sont rémunérés à la hauteur de leur productivité marginale *privée.* En utilisant (2.1) dans les conditions du premier ordre de la firme, on déduit que le salaire réel et le taux d'intérêt sont donnés par :

$$r(t) + \delta = f'(1) \text{ et } w(t) = \left[f(1) - 1f'(1)\right]k(t),$$

avec $\delta > 0$, le taux de dépréciation du capital physique. Le salaire réel croît avec l'intensité capitalistique et le partage de la valeur ajoutée entre revenu du travail et revenu du capital s'effectue à part constante.

– La technologie sociale, définie par (2.3), est linéaire dans le stock de capital. Cette propriété est fondamentale car elle rend possible une croissance auto-entretenue, *endogène*, des grandeurs par tête.

2.1.2. Le sentier concurrentiel de croissance endogène

La croissance est alimentée par l'épargne des ménages qui agissent sur un horizon infini. Ces derniers réagissent au taux d'intérêt $f'(1) - \delta$, qui reste constant lorsque le stock de capital augmente. Si ce taux est supérieur au taux de préférence pour le présent, alors le report de consommation vers le futur ne s'essouffle pas et le montant d'épargne, et donc de capital, s'accroît sans borne, provoquant la croissance endogène.

La dynamique des grandeurs par tête le long du sentier concurrentiel se déduit du système différentiel :

$$\begin{cases} \dot{k} = (f(1) - \delta - n)k - c, \\ \dot{c} = c\sigma^{-1}\left[f'(1) - \delta - \rho\right], \end{cases} \tag{2.4}$$

et des conditions $k(0) = k_0$ et $\lim_{t\to\infty} \exp\left[-(f'(1) - \delta)t + nt\right]k(t) = 0$. ρ, σ et n sont respectivement le taux de préférence pour le présent, l'inverse de l'élasticité intertemporelle de substitution et le taux de croissance démographique.

On note $\chi \equiv c/k$ et on déduit de (2.4) que χ est régi par :

$$\frac{\dot{\chi}}{\chi} = \frac{\dot{c}}{c} - \frac{\dot{k}}{k} = \chi + \sigma^{-1}(f'(1) - \delta - \rho) - (f(1) - \delta - n). \tag{2.5}$$

La valeur stationnaire de c/k est :

$$\chi^* = \left(\frac{c}{k}\right)^* = (f(1) - \delta - n) - \sigma^{-1}(f'(1) - \delta - \rho). \tag{2.6}$$

L'équation (2.5) s'écrit $\dot{\chi} = \chi(\chi - \chi^*)$. χ^* est donc instable car, pour $\chi < \chi^*, \dot{\chi}$ est négatif, alors que pour $\chi > \chi^*, \dot{\chi}$ est positif. Pour éviter que la condition de transversalité soit violée, le ratio c/k s'ajuste *dès l'instant 0* au niveau χ^* et reste constant ensuite. On déduit alors de la seconde équation de (2.4) le *taux de croissance endogène* des grandeurs par tête :

$$g^* = \sigma^{-1}\left(f'(1) - \delta - \rho\right). \tag{2.7}$$

Cette équation achève la description du sentier concurrentiel. La dynamique est simple en ce que le sentier concurrentiel est directement atteint, sans transition. Cette propriété est spécifique à ce modèle à unique bien capital et est issue de la linéarité de la fonction de production (2.3).

2.1.3. Niveau et taux de croissance des grandeurs par tête

Le sentier concurrentiel de croissance endogène du modèle présente une propriété remarquable : le taux de croissance des grandeurs par tête est endogène alors que, dans le même temps, le niveau de ces grandeurs dépend, *à tout instant,* du stock initial de capital. Cela s'illustre sur la consommation par tête qui s'écrit : $c(t) = k_0\, \chi^* \exp(g^* t)$. (χ^*, g^*) dépend des "fondamentaux" de l'économie, à savoir les préférences intertemporelles et la technologie.

Ainsi, ρ, le taux de préférence pour le présent, et σ, l'inverse de l'élasticité de substitution intertemporelle, ont une influence négative sur le taux de croissance endogène g^*, mais positive sur le niveau de consommation *via* χ^*. Ces paramètres "règlent" l'arbitrage intertemporel effectué par l'économie entre les niveaux contemporains et futurs de consommation et de produit. Un taux de croissance élevé impose un niveau de consommation contemporain faible. Comparé au modèle de croissance exogène, la nouveauté tient en ce que cet arbitrage se pose à l'économie même dans le long terme.

Dans ces conditions, les comportements des agents et, éventuellement, les politiques économiques mises en oeuvre, ont une influence sur le long-terme. L'exercice 1 étudie les politiques fiscales dans le cadre du learning-by-doing.

La dépendance des niveaux au stock initial de capital signifie qu'un écart creusé entre deux économies ne peut jamais être rattrapé, ou encore qu'un choc subi par une économie n'est jamais absorbé. Dans une perspective d'étude des cycles, cette propriété donne un fondement théorique à l'hypothèse de racine unitaire dans la partie autorégressive des séries macroéconomiques. Ce point est développé dans le chapitre [FL]. Dans une perspective de comparaison des dynamiques de croissance entre économies, la dépendance à la condition initiale implique la possibilité de divergence des niveaux des économies soumises à des chocs spécifiques.

2.1.4. Sous-optimalité de la croissance concurrentielle

L'existence d'une externalité implique que les prix concurrentiels sont *distordus,* c'est-à-dire ne reflètent pas les valeurs "sociales" des biens. Ainsi, les travailleurs reçoivent un salaire non nul alors que l'équation (2.3) montre que leur contribution *sociale* à la production est nulle. En sens inverse, le taux d'intérêt privé $f'(1)-\delta$ sous-évalue le taux de rendement social de l'investissement $f(1)-\delta$. L'épargne n'est pas rémunérée à son juste niveau car les marchés ne tiennent pas compte du rôle de l'investissement dans l'évolution de la technologie. En conséquence, l'épargne dégagée est insuffisante et la croissance trop faible. La littérature a mis en avant ce résultat de sous-optimalité du sentier concurrentiel afin de légitimer la mise en place de politique économique promouvant la croissance. Ce point est étudié dans les sections 3, 4 ainsi que dans l'exercice 1.

2.2. Externalités et interdépendances entre nations

Comment le modèle rend-il compte de la diversité des dynamiques de croissance ? Si le monde est composé d'une collection d'économies autarciques en croissance endogène, les produits nationaux vont évoluer sur des sentiers parallèles, au cas où les préférences et les politiques économiques sont identiques, voire divergents, en cas d'hétérogénéité des consommateurs et/ou des politiques économiques. Ainsi même si les pays partagent les mêmes caractéristiques, la convergence ne concerne que les taux de croissance, celle des *niveaux* de revenu est bloquée. Pourtant, les études empiriques (*Cf.* le survol effectué par Temple [1999]) montrent qu'un mouvement d'uniformisation, au moins locale, est à l'œuvre. Par conséquent, un monde composé d'économies isolées croissant de manière endogène est difficile à soutenir. Il existe des fortes interdépendances entre les économies qui sont à l'origine de la convergence. L'objet de cette sous-section est de présenter l'externalité technologique comme une de ces interdépendances.

2.2.1. La frontière technologique mondiale

Supposer l'externalité technologique *locale,* c'est-à-dire ne dépassant pas les frontières des économies, revient à exclure la diffusion internationale du progrès technique. Cette hypothèse n'est pas plus satisfaisante que de considérer, comme nous l'avons fait dans le chapitre précédent, que le progrès technique est exogène et se diffuse instantanément.

Une vision plus satisfaisante est de concevoir la *frontière technologique* comme résultant d'externalités trans-nationales. Envisageons ainsi que le niveau d'efficacité technologique A est mondial et dépend de la distribution du stock de capital $\{k_i\}$ parmi les économies $i = 1, ..., n$. Cette externalité globale crée une interdépendance technologique entre les pays. La propriété de croissance endogène au niveau mondial est sauvegardée si A est une fonction homogène de degré 1 des arguments k_i. La forme précise de cette fonction peut ensuite donner lieu à une grande diversité de dynamique de la distribution.

Robert Tamura [1991] considère que A est la moyenne arithmétique ou géométrique des niveaux de capital parmi les économies. Il montre alors que la dynamique est caractérisée par de la croissance endogène et de la convergence des niveaux. Pour comprendre cette coexistence, on écrit la fonction de production du pays i sous la forme :

$$y_i = F\left(k_i, \overline{k}\right) = F\left(1, \frac{\overline{k}}{k_i}\right) k_i,$$

avec $\overline{k}$ le niveau moyen de capital parmi les économies. Dans ce cas, le taux de rendement privé de l'investissement et donc le taux d'intérêt, sont des fonctions croissantes du ratio $\overline{k}/k_i$, c'est-à-dire de l'écart qui sépare le pays i du niveau moyen. De ce fait, les ménages des pays initialement les moins dotés sont davantage incités à épargner de sorte que les écarts entre économies se réduisent. Le caractère global de l'externalité implique ainsi la convergence des niveaux.

Une alternative proposée initialement par Nelson and Phelps [1966], et repris plus récemment par Benhabib and Spiegel [1994], est de poser que le niveau d'avancement technologique dépend de l'expérience accumulée par le pays "leader". On a ainsi :

$$A = \max_{i=1,...n} \{k_i\}.$$

Ceci conduit également à un phénomène de *rattrapage technologique* ("technological catch-up").

2.2.2. La diffusion du progrès technique

Dans le paragraphe précédent, le niveau A est indépendant du pays de sorte que le progrès technique endogène se diffuse instantanément parmi les nations. Une généralisation est de supposer que chaque pays est caractérisé par une "distance" qui l'éloigne de la frontière technologique mondiale.

Basu and Weil [1998] suggèrent qu'une innovation technologique générée par un pays leader est adoptée par un pays "follower" que lorsque ce dernier est caractérisé par un niveau d'intensité capitalistique similaire à celui du pays "leader" au moment de l'innovation. La technologie serait ainsi *spécifique* ou *appropriée* à chaque niveau du ratio d'intensité capitalistique. Dans ce cas, la dynamique de rattrapage est plus complexe. Basu and Weil [1998] montrent ainsi que des *clubs de convergence* peuvent se former.

Eeckhout and Jovanovic [1998] utilisent la parabole du "vol d'oies sauvages" pour décrire la dynamique de la diffusion technologique parmi les firmes ou les nations. Ces auteurs posent que la technologie à laquelle accède chaque économie dépend du *rang* qu'elle occupe dans la distribution mondiale du capital. Si cette dépendance est positive, une dynamique de divergence se met en place. A l'inverse, si la dépendance est négative, on peut envisager une convergence. Ces auteurs montrent que la présence de ce type d'externalités conduit à l'existence d'inégalité entre les pays.

Enfin, Parente and Prescott [1994] considèrent que les barrières à la diffusion technologique ont joué un rôle considérable dans l'évolution historique de la distribution des richesses parmi les nations. Ces barrières proviennent des résistances de différents groupes sociaux au progrès technique. L'étalonnage du modèle sur les données conduit à assimiler les épisodes de convergence entre les pays à la levée progressive de ces barrières.

2.2.3. Les critiques

Concernant l'aspect international des externalités et leur impact sur la convergence des niveaux de revenu, deux catégories de critique sont à dégager.

En premier lieu, les interdépendances ne sont pas seulement technologiques. Il faut également considérer les flux de biens et de facteurs. Ces derniers peuvent d'ailleurs servir de support aux transferts de technologie (imitation, "reverse-engineering"...). Sur la nature des supports, les études empiriques (*Cf.* le survol effectué par Branstetter [1998]), aboutissent à des résultats contradictoires. De plus, l'interdépendance par les marchés conduit à une égalisation des prix des biens et des facteurs qui modifie la dynamique de convergence des quantités, et donc des revenus. Il n'est pas évident que l'égalisation des prix aille dans le sens d'une uniformisation des revenus. A ce sujet, on peut consulter l'article de Slaughter [1997].

En second lieu, la dynamique de création et de diffusion du progrès technique ne repose pas seulement sur le capital par travailleur. Même s'il est toujours possible d'interpréter k comme un capital composite incluant le capital humain, une approche plus complète consiste à incorporer explicitement le capital humain. Les travaux empiriques de Benhabib and Spiegel [1994] montrent que la qualité de la main d'oeuvre conditionne la capacité d'une économie à innover et à adopter des technologies étrangères.

3. Capital humain et croissance endogène

Cette section présente un modèle de croissance endogène avec capital humain dans l'esprit de ceux développés par Hirofumi Uzawa [1965] et Lucas [1988]. Nous reprenons la structure présentée dans la section 3 du chapitre [JG1] en la complétant par une externalité technologique qui lie le niveau de progrès technique A au niveau moyen de capital humain des travailleurs. C'est donc le comportement de ces derniers en matière d'éducation et de formation qui conditionne le niveau technologique et donc la croissance.

L'économie étudiée s'interprète comme l'économie mondiale ou bien comme celle d'un "leader" qui, dans une logique *à la* Nelson and Phelps [1966], crée à lui seul la technologie mondiale. L'accent est mis sur les propriétés de la dynamique d'ajustement et sur l'inefficacité du sentier concurrentiel.

3.1. La croissance concurrentielle endogène

3.1.1. Externalités et création de la connaissance

Dans le modèle de la section 3 du chapitre [JG1], le capital humain permet d'"incorporer" aux travailleurs le progrès technique A, dont l'évolution est exogène. Dans cette section, l'accumulation de capital humain participe non seulement à la *diffusion* du progrès technique mais aussi à la *création* de ce dernier, au moyen d'une externalité technologique. On pose :

$$A(t) = \overline{h}(t), \tag{3.1}$$

avec $\overline{h}$ un indicateur du niveau moyen de capital humain dans l'économie.

3.1.2. Le sentier concurrentiel en présence d'externalités

En décidant de leur niveau d'éducation, les ménages déterminent, sans en internaliser l'effet, la dynamique de A. Parce qu'elle lui est externe, le ménage représentatif considère-t-il la trajectoire de A comme *donnée* au même titre que celles des prix. Par ailleurs, la présence de l'externalité ne modifie pas le comportement de la firme. On peut donc reprendre les éléments de la sous-section 3.2 du chapitre [JG1]. A une trajectoire $A(\cdot)$ donnée *ex ante* et à des conditions initiales

(K_0, h_0) est associé un sentier $(K(t), h(t), C(t), q(t))$ défini par les équations (3.7) et (3.8) du chapitre [JG1].

Il s'agit du *sentier concurrentiel* de l'économie avec externalités si la trajectoire $A(\cdot)$, telle qu'elle se déduit *ex post* de l'évolution de h par l'équation (3.1), *valide* la trajectoire $A(\cdot)$ *ex ante* de manière à assurer la cohérence du modèle.

Ainsi, s'il existe, le sentier concurrentiel vérifie les équations (3.7) et (3.8) du chapitre [JG1], dans lesquelles A est remplacée par h. On peut raisonner directement sur la dynamique intensive en remplaçant $\widehat{h} = h/A$ par 1. De plus, sachant que $\dot{\widehat{h}} = 0$, il se déduit le taux de croissance de A ; soit :

$$g(t) = j(v(t)) - \delta_h, \ \forall t \geq 0.$$

En tenant compte de cette dernière expression, la dynamique intensive prend la forme :

$$\begin{cases} \dot{\widehat{k}} = F[\widehat{k}, 1 - v] - (j(v) - \delta_h + \delta + n)\widehat{k} - \widehat{c} \\ \dot{\widehat{c}} = \widehat{c}\,[\sigma^{-1}(r - \rho) - (j(v) - \delta_h)] \\ \dot{q} = (r - n + \delta_h)q - w(1 - v), \end{cases} \tag{3.2}$$

avec $r = F_1(\widehat{k}, 1 - v) - \delta, \ w = F_2(\widehat{k}, 1 - v)$ et $w = qj'(v)$.

Les niveaux par tête (k, c) se déduisent de (3.2) sachant que $\widehat{k} = K/Nh$, $\widehat{c} = C/Nh$ et que h obéit à :

$$\dot{h}(t) = g(t)h(t) = (j(v(t)) - \delta_h)h(t), \ \forall t \geq 0 \text{ et } h(0) = h_0. \tag{3.3}$$

Comparé au modèle avec A exogène, la dynamique a changé de nature. Il ne s'agit plus d'une dynamique d'adaptation à une source exogène mais d'une dynamique de croissance autoentretenue, endogène. En effet, au dénominateur des variables intensives figure le niveau de capital humain h dont l'évolution est donnée par (3.3), et non plus A dont l'évolution était exogène.

3.1.3. La croissance régulière endogène

Le régime de croissance *régulière* endogène se caractérise par l'invariance des ratios capital physique/capital humain, consommation/produit..., c'est-à-dire de la structure de l'économie et donc des variables intensives. On cherche ainsi l'état stationnaire de la dynamique (3.2). Le long du sentier régulier, les stocks de capital physique et de capital humain par tête croissent à un même taux de croissance *endogène* constant $g^* = j(v^*) - \delta_h$.

Le taux de croissance endogène de long terme g^* se déduit donc du niveau v^* d'investissement en éducation. Ce dernier est déterminé dans une logique d'arbitrage intertemporelle. En effet, en reportant les conditions $\dot{\widehat{c}} = \dot{q} = 0$ au sein du système (3.2), on constate que v^* égalise les *taux de rendements* des différents investissements accessibles au ménage ; soit :

$$\rho + \sigma(j(v^*) - \delta_h) - n = r^* - n = (1 - v^*)j'(v^*) - \delta_h. \qquad (3.4)$$

Le côté gauche de cette équation est la relation de bouclage par l'épargne. Une valeur élevée de v^* signifie une croissance soutenue, qui doit être alimentée par une épargne importante, provenant à son tour d'une rémunération élevée de cette épargne à un taux net $r^* - n$. La courbe $(\mathcal{C}_1)$ du graphique 3.1 décrit cette relation croissante entre r et v.

Au côté droit de (3.4) figure le taux de rendement privé de l'investissement en capital humain. Ce rendement est privé car le ménage n'internalise pas l'effet de son investissement sur le niveau de A. Pour calculer ce rendement, considérons un ménage doté d'un stock de capital humain h disposant d'une fraction de temps infinitésimale dv. S'il investit en capital financier ou physique, il consacre le temps dv à travailler, reçoit un revenu du travail $whdv$, investit ce revenu et perçoit un revenu d'intérêt net $(r - n)whdv$. S'il investit en formation, il accroît son stock de capital humain d'un montant $j'(v)hdv$, perçoit un revenu d'investissement $w(1 - v)hj'(v)dv$ auquel il convient de soustraire la valeur du stock déprécié. A la marge, l'égalité (3.4) indique que ces deux investissements sont également profitables.

Sous l'hypothèse de concavité de $j(\cdot)$, le taux de rendement privé de l'investissement en capital humain est une fonction décroissante de v. La courbe $(\mathcal{C}_2)$ du graphique 3.1 en rend compte.

L'intersection de $(\mathcal{C}_1)$ et $(\mathcal{C}_2)$ détermine v^* et donc g^*. Le rythme de croissance ne dépend que des paramètres relatifs au préférence du consommateur et à la technologie d'accumulation du capital humain. Une variation de ρ ou σ fait glisser $(\mathcal{C}_1)$ vers le nord-ouest provoquant une baisse du taux de croissance de long-terme et une augmentation du taux d'intérêt. A l'opposé, tout facteur favorable au rendement du capital humain augmente g^* et abaisse le taux d'intérêt. Un soutien public à l'éducation peut s'interpréter de la sorte : à niveau d'effort privé donné, il accroît le rendement de l'éducation, et donc la croissance de long-terme.

Les paramètres relatifs à la technologie de production du bien physique n'exerce qu'une influence sur le niveau régulier. Cette séparation des paramètres dans la détermination du taux de croissance est due à une hypothèse particulière d'asymétrie entre les deux biens capitaux. En effet, contrairement au capital physique, la formation de capital humain ne nécessite que du capital humain, ce qui en fait le "moteur" ultime de la croissance.

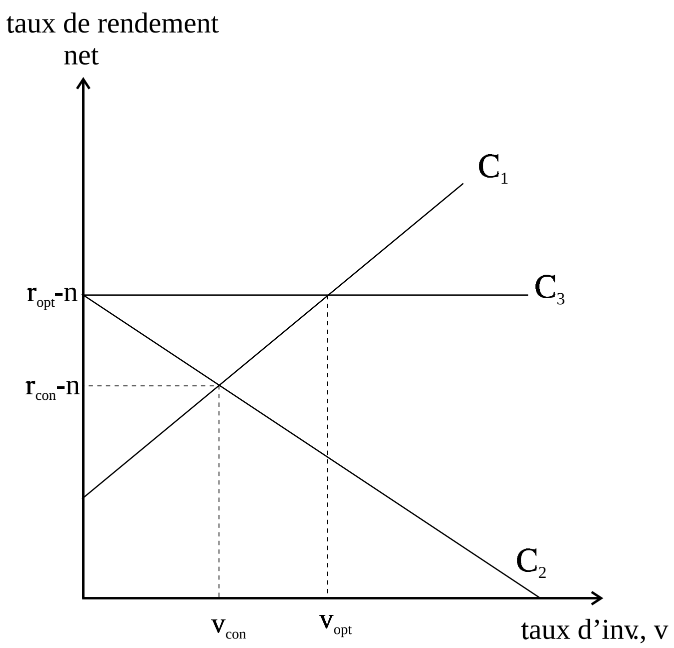

FIG. 3.1: Sentiers de croissance endogène

3.2. Les propriétés dynamiques

3.2.1. La dynamique d'ajustement

La dynamique d'ajustement vers le sentier régulier est décrit par le système différentiel (3.2). Ce système étant de dimension 3, une étude par le diagramme des phases est impossible dans le cas général. Toutefois, dans le cas particulier pour lequel $F(\cdot)$ est de forme Cobb-Douglas et $j(\cdot)$ linéaire, le chapitre 4 de Barro and Sala-i Martin [1995] propose une analyse de ce type.

Une étude locale s'entreprend en linéarisant la dynamique (3.2) autour du sentier de croissance régulière. On montre alors que la matrice de transition A admet une unique valeur propre négative. Sachant que deux variables (c et q) sont non-prédéterminées, cela signifie que le sentier concurrentiel est unique dans un voisinage du sentier régulier et converge vers ce dernier.

3.2.2. La propriété d'hystérèse

Une différence importante avec le cas de la croissance exogène provient de l'existence d'*hystérèse* ou de *persistance infinie* des chocs. Supposons ainsi qu'à l'instant 0 un choc négatif (tremblement de terre, guerre...) affecte le stock de capital physique alors que l'économie est sur un sentier régulier. Suite à ce choc, la structure intensive $(\widehat{k}, \widehat{c}, q)$ est affectée et l'économie entre en transition. Pour présenter cette dernière, on utilise la paramétrisation de référence du chapitre [JG1].

$$r = \delta = \delta_h = 0.05,\ n = 0.01,\ g = 0.02,\ \alpha = 1/3,\ \sigma = 1.5, j(v) = Bv. \tag{3.5}$$

Après linéarisation de la dynamique (3.2), l'unique valeur propre négative β vaut -0.1524. Sa valeur absolue mesure la vitesse d'ajustement vers la structure stationnaire.

Nous avons représenté la situation dans le graphique 3.2 en supposant que le choc a détruit 50% du capital physique. Le graphique offre une comparaison avec le régime de croissance exogène de la section 3.2 du chapitre [JG1].

Durant la transition, l'effort d'éducation (*Cf.* première partie du graphique) s'ajuste de la manière suivante :

$$\Delta v(t) = \frac{v(t) - v^*}{1 - v^*} \approx \Delta v(0) \exp(-|\beta| t),\ \forall t \geq 0. \tag{3.6}$$

Au moment où le choc intervient, v "saute" d'un montant $\Delta v(0)$ négatif et s'ajuste ensuite progressivement. Le saut initial négatif s'explique par le fait que la destruction de capital physique accroît le taux de rendement de l'épargne et implique un réaménagement du "portefeuille" du ménage au détriment du capital humain.

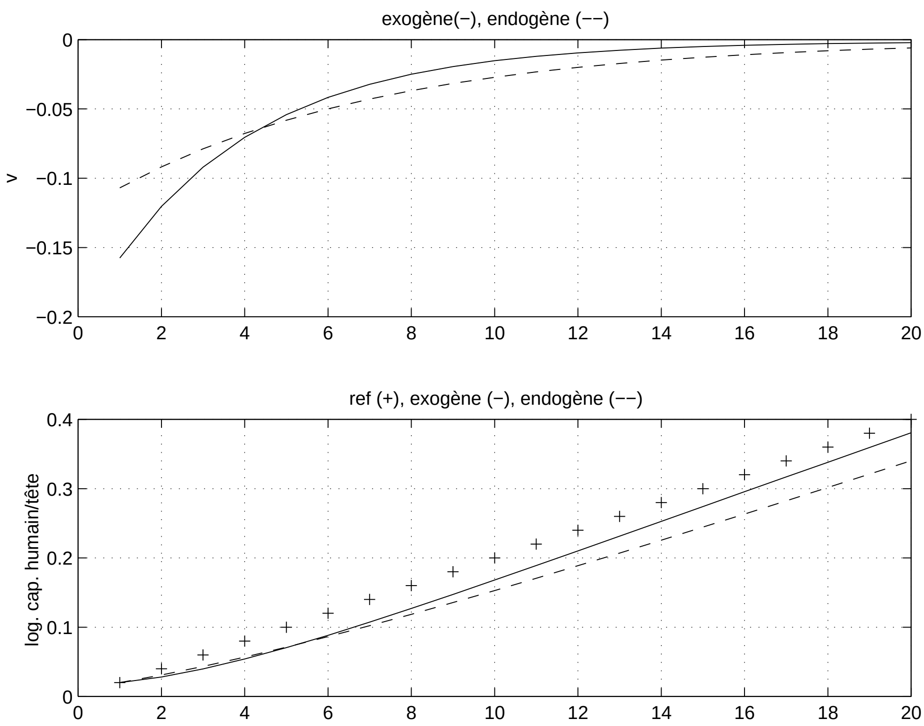

FIG. 3.2: Transition du modèle de croissance endogène

On constate dans la seconde partie du graphique que la baisse de l'investissement formation amène le niveau de capital humain en dessous de son niveau de référence. Afin de quantifier cette baisse, on écrit (3.3) sous la forme $(\dot{\log h})(t) = j(v(t)) - \delta_h$. Après linéarisation autour du sentier de référence défini par $h^*(\cdot)$, on a :

$$(\dot{\Delta h})(t) = (\log h \dot{-} \log h^*)(t) \approx j'(v^*)(1 - v^*)\Delta v(t).$$

En tenant compte de (3.4) et (3.6), il se déduit l'écart entre les niveaux de capital humain :

$$\log h(t) - \log h^*(t) \approx (r^* - n + \delta_h) \int_0^t \Delta v(\tau) d\tau = (r^* - n + \delta_h)\Delta v(0) \frac{1 - \exp(-|\beta| t)}{|\beta|}.$$

Il subsiste donc à long-terme un écart entre $h(t)$ et $h^*(t)$, qui signifie que l'économie ne revient *jamais* à son niveau initial. La baisse *transitoire* de l'effort d'éducation affecte de manière *permanente* le niveau de capital humain. On retrouve l'effet de persistance infinie ou d'hystérèse. Cet effet est spécifique au modèle de croissance endogène, comme le prouve la seconde partie du graphique 3.2.

L'effet d'hystérèse se diffuse ensuite sur le niveau du produit et du capital physique. Ainsi, en régime de croissance endogène, le choc n'est jamais complétement corrigé : le revenu ne revient pas complétement sur le sentier de référence.

3.3. Sous-optimalité du sentier concurrentiel et politique d'éducation

Le progrès technique est endogène parce qu'il dépend du comportement des ménages en matière d'accumulation de capital humain. Pourtant, cet effet est externe et n'est donc pas intégré dans le "rendement" que l'individu prête à son capital humain. En conséquence, le plan de formation élaboré par l'agent ignore le caractère endogène du progrès technique. A un niveau social, ceci conduit à investissement en capital humain inadapté et donc, dans le long-terme à une croissance inefficace. Dans ce contexte, une politique publique de soutien à l'éducation peut inciter l'agent à porter son effort d'investissement à un niveau adapté, qui tient compte de l'effet externe. On retrouve une idée forte des modèles de croissance endogène : même si la croissance trouve son origine dans les décisions individuelles, la puissance publique se doit de mettre en place une politique volontariste tournée vers l'amélioration des techniques et la croissance

3.3.1. Evaluation des rendements de l'éducation

L'inefficacité du sentier concurrentiel peut se caractériser en recherchant la solution d'un programme centralisé dans lequel un planificateur maximise le bien-être intertemporel du ménage représentatif sous des contraintes de ressources. De manière alternative, Jones and Williams [1998] proposent de comparer les taux de rendements *privés* des différents investissements (en capital physique et en capital humain) à ces mêmes taux mais *sociaux*, c'est-à-dire incorporant les effets externes. On peut ainsi calculer les taux de rendement privés et sociaux de l'éducation, qui est un concept largement utilisé par les économistes de l'éducation (Cf. l'ouvrage de Psacharopoulos and Woodhall [1985]).

3.3.2. Taux de rendement privé

Le taux de rendement privé de l'investissement (TRPI) en capital humain se calcule sur la base du programme d'investissement du ménage. Pour simplifier la présentation, on suppose que $j(.)$ est linéaire , soit $j(v) = Bv$. Pour le ménage, le capital humain est un actif comme un autre dont le prix, en termes du bien physique, est q. En l'absence d'un marché pour l'actif capital humain, le prix q se calcule à partir du coût d'opportunité marginal : pour un ménage caractérisé par un capital humain h, acquérir une unité supplémentaire de capital humain implique de renoncer à $w/B = q$ unités de biens de consommation. La possession d'une unité de l'actif engendre un revenu du travail supplémentaire $w(1 - v)$ et une plus-value d'un montant $\dot{q}$. De plus, une fraction δ_h de l'actif est dépréciée. Le long du sentier concurrentiel, le TRPI rend compte de ces composantes :

$$\text{TRPI} = \frac{w(1-v)}{q} + \frac{\dot{q}}{q} - \delta_h = (1-v)B + \frac{\dot{w}}{w} - \delta_h. \tag{3.7}$$

En régime de croissance régulière, la plus-value est nulle et on retrouve l'expression apparaissant à droite de (3.4). A l'équilibre du "portefeuille" d'actifs du ménage, le taux de rendement privé de l'éducation est égal au taux de rendement de son épargne financière net de la croissance démographique, soit $r - n$.

3.3.3. Taux de rendement social

Le taux privé reflète-t-il la rentabilité *sociale* de la formation ? Pour calculer cette dernière, imaginons que l'économie évolue le long du sentier concurrentiel. Un planificateur décide de transférer, à la marge, *une* unité de consommation du présent vers le futur en laissant le sentier par ailleurs inchangé. Pour effectuer cette opération, deux actifs sont disponibles : le capital humain et le capital physique. Le taux de rendement social de l'investissement (TRSI) mesure le gain intertemporel du transfert en indiquant le nombre d'unités de consommation qu'il génère.

Si le transfert de l'unité de consommation s'effectue au moyen de l'investissement en capital physique, le gain net de la croissance démographique est égale à $F_1(\widehat{k}, 1 - v) - \delta$. Sur le sentier concurrentiel, ce taux est égal au taux d'intérêt r, qui constitue le taux de rendement *privé* du capital physique. L'égalité entre rendements privé et social signifie que le signal prix fournit la bonne information aux agents. Du côté de l'investissement physique, il n'y a pas de distorsions et donc d'inefficacité.

Si le transfert de l'unité de consommation s'effectue au moyen de l'investissement en capital humain, le planificateur réduit le temps consacré à la production physique d'une quantité $dv = 1/hF_2(\widehat{k}, 1-v)$,réinvestit ce temps dans l'éducation et génère un gain de capital humain $dh = Bh \times \Big(1/hF_2(\widehat{k}, 1-v)\Big)$. A la marge, une unité de capital humain "vaut" (pour "s'obtient à partir de") $q_s = F_2(\widehat{k}, 1-v)/B$ unité de consommation. q_s est la *valeur sociale* du capital humain. Le long du sentier concurrentiel, q_s est égale à la valeur privée $q = w/B$.

Le capital humain additionnel augmente la production physique des travailleurs d'un montant $dy = (1-v)F_2(\widehat{k}, 1-v) \times dh = (1-v)B$. Par ailleurs, *via* l'externalité, il augmente le stock A d'un montant $dA = dh$, et donc la productivité de l'éducation. A effort d'éducation inchangé, cela libère un temps supplémentaire $(Bv/(Bh)) \times dh$ qui contribue indirectement à accroître le produit physique d'un montant Bv. Enfin, dans cette opération une fraction δ_h du capital s'est dépréciée et une plus-value "sociale" d'un montant $\dot{q}_s\ /q_s$ a été dégagée. En rassemblant ces différentes composantes, il se déduit le taux de rendement social de l'investissement en capital humain ; soit :

$$\text{TRSI} = (1-v)B + Bv - \delta_h + \frac{\dot{q}_s}{q_s} = B - \delta_h + \frac{\dot{q}_s}{q_s}. \tag{3.8}$$

En comparant cette expression à 3.7, on en conclut que le rendement privé de l'éducation sous estime le rendement social d'une quantité Bv. Dans la configuration paramétrique (3.5), l'écart entre les deux taux est de 7% à l'état stationnaire.

Cette distorsion a pour conséquence que les ménages ne fournissent pas l'effort de formation adaptée. En effet, ces derniers choisissent leur niveau de formation de manière à égaliser le taux de rendement *privé* de l'éducation au taux d'intérêt. Or, l'optimalité requiert l'égalisation entre le taux de rendement social de l'éducation et taux d'intérêt. Le sentier concurrentiel n'est donc pas optimal du fait d'un investissement en capital humain insuffisant, ce qui induit une croissance insuffisante à long terme.

Cette situation de sous-optimalité à long-terme se caractérise dans le graphique 3.1. Le niveau d'investissement décentralisé se situe à l'intersection des courbes $(\mathcal{C}_1)$ et $(\mathcal{C}_2)$. Pour une fonction $j(.)$ linéaire, le taux de rendement de l'éducation de long-terme est constant au niveau au niveau $B - \delta_h$, et représenté par la courbe horizontale $(\mathcal{C}_3)$. L'investissement optimal est à l'intersection des courbes $(\mathcal{C}_1)$ et $(\mathcal{C}_3)$ et se trouve au dessus de l'investissement décentralisé. Par conséquent, le taux de croissance décentralisé est, à long-terme, au dessous de son niveau optimal.

3.3.4. Politique d'éducation

L'écart entre le taux de rendement privé et le taux de rendement social légitime l'intervention publique dans le domaine de l'éducation. En admettant que l'Etat laisse à l'agent la liberté de choisir son niveau de formation, son action consiste à amener le taux de rendement privé vers sa contrepartie sociale. S'il y parvient, le choix de formation des agents conduit l'économie vers une croissance optimale. Bien plus qu'une politique d'éducation, l'Etat mène ainsi une politique agissant sur la croissance.

Pour soutenir le rendement privé de l'éducation, l'Etat dispose de plusieurs instruments. Il peut subventionner l'activité de formation en distribuant des bourses. Dans un modèle plus complet, on peut penser qu'une partie de la fraction v représente le temps du professeur. Une politique d'éducation peut alors consister à prendre en charge tout ou partie de cette fraction, c'est-à-dire à mettre en place un système public d'éducation.

4. Recherche-développement et croissance

Dans cette dernière section, on reprend le modèle élaboré par Romer [1990], dont le principe a été présenté dans le chapitre [KS]. Il s'agit de traiter des relations entre innovation technologique, concurrence imparfaite et croissance.

Dans le modèle, le progrès technique s'assimile à une augmentation du nombre de variétés de biens intermédiaires. La variété est source de richesse en ce qu'elle améliore la productivité des inputs physiques. L'intérêt du modèle est que la création de variétés est une action délibérée, volontaire de la part d'une catégorie d'agents : les innovateurs. Ces derniers sont incités à l'innovation, parce que les droits de propriété sont bien définis : un brevet protège l'innovateur et lui permet de s'approprier une partie du surplus résultant de l'innovation sous forme de "royalties". Dans le même temps, le brevet confère un pouvoir de monopole à celui qui le détient et ce sont les rentes de monopole qui sont indirectement reversés à l'innovateur.

La structure du marché des biens intermédiaires est donc fondamentale car elle détermine la rémunération de l'innovateur, et donc l'intensité du progrès technique. Un excès de concurrence réduit la rente et donc le rythme d'innovation, d'évolution de la frontière technologique. A l'inverse, un pouvoir de marché excessif conduit à une frénésie d'innovation injustifiée. Le rôle de la Puissance Publique, qui s'exerce notamment par l'existence du système des brevets, est de tenter de faire correspondre le niveau des rentes capturées par l'innovateur et le surplus social que l'innovation génère.

Ce surplus n'est pas seulement constitué des gains de productivité permises par l'innovation dans le secteur de production traditionnel. Il provient également de son caractère de bien public. En effet, les chercheurs, à l'origine des innovations, puisent dans les anciennes idées pour en mettre au point des nouvelles sans contrepartie pécuniaire. Il existe ainsi une externalité technologique au sein du secteur de R&D, qui lie la productivité des chercheurs au stock d'innovations. Cette utilisation "sociale" de l'innovation, contrairement à son utilisation "privée", n'est soumise à aucune restriction.

Le modèle est décrit en se concentrant sur les différents secteurs de l'économie. On s'intéresse ensuite à la sous-optimalité de l'équilibre décentralisé avant de suggérer des politiques économiques.

4.1. La production de la valeur ajoutée physique

On se concentre sur la production de la valeur ajoutée physique et sur la manière dont elle est partagée entre travailleurs et détenteurs de brevet.

4.1.1. Technologie de production et allocation centralisée

Un montant Y de bien final est produit à partir de L_Y travailleurs et d'une collection $x(.)$ de biens intermédiaires spécialisés indicés par $i \in [0, A]$. On a :

$$Y = L_Y \int_0^A f\left(\frac{x(i)}{L_Y}\right) di,$$

avec $f(\cdot)$ croissante et strictement concave. A titre de référence, on peut retenir la forme puissance $f(k) = k^\alpha, \alpha < 1$ (utilisée par Romer [1990] ou Barro and Sala-i Martin [1995]). ou encore la forme quadratique :

$$f(k) = \begin{cases} -\frac{b}{2}k^2 + ak, \ \forall k \in [0, a/b] \\ a^2/2b, \ \forall k \geq a/b, a > 1, b > 0. \end{cases}$$

Les rendements d'échelle sont constants dans les quantités physiques $(L_Y, x(\cdot))$ et deviennent croissants si on assimile la variété A à un input. Par ailleurs, les biens i interviennent de manière additive dans la production. En conséquence, l'introduction d'un nouvelle variété—une innovation technologique—n'a pas d'effet direct sur la demande des autres variétés.

Chaque unité de biens spécialisés est produite à partir d'une unité de bien final et on s'intéresse à une situation de symétrie, c'est-à-dire $x(i) = x, \ \forall i \in [0, A]$. Y s'exprime en fonction des quantités physiques $X \equiv Ax$, L_Y et du capital technologique A :

$$Y = L_Y A f\left(\frac{X}{AL_Y}\right) = L_Y A f(k), \quad k \equiv X/(AL_Y). \tag{4.1}$$

Afin de clarifier l'exposé, il n'y a pas de capital physique. Les biens intermédiaires sont détruits dans la production et $Y - X$ est la *valeur ajoutée physique* de l'économie destinée à être consommée :

$$C = Y - X = [f(k) - k]AL_Y \equiv \Omega(k)AL_Y.$$

k^* est l'intensité qui maximise le niveau de la valeur ajoutée. Ce niveau optimal satisfait $f'(k^*) = 1$, et on a alors : $Y - X = [f(k^*) - k^*]AL_Y \equiv \Omega^* AL_Y$.

4.1.2. L'allocation décentralisée

Comment se détermine l'intensité k dans une économie décentralisée ?

La firme productrice de bien final est preneuse de prix sur tous les marchés. Compte tenu du salaire w, du prix p des biens spécialisés disponibles, elle choisit le niveau de ces inputs $x(\cdot)$ et L_Y de manière à égaliser productivités marginales et coûts réels des facteurs. En prenant le bien final comme numéraire, on obtient le système de demande :

$$\begin{cases} p &= f'(k) \\ w &= A\left[f(k) - kf'(k)\right]. \end{cases} \tag{4.2}$$

Chaque variété de biens spécialisés est produite par une unique firme en position de monopole. Ce pouvoir de marché résulte de l'existence d'un système de brevets, garanti par l'Etat et, qui protège les créateurs de nouvelles variétés. Dans cette version élémentaire, les interactions stratégiques entre les firmes du secteur intermédiaire sont très réduites car les demandes des différentes variétés ne sont pas interdépendantes.

Pour chaque bien spécialisé, l'élasticité prix de la demande se calcule à partir de (4.2), soit :

$$\epsilon(k) = -\frac{\partial x}{\partial p}\frac{p}{x} = -\frac{f'(k)}{kf''(k)}.$$

Chaque firme de bien spécialisé tarifie sa production en appliquant un taux de marge $m = (1 - \epsilon^{-1})^{-1}$ au coût marginal de production. Ce dernier étant unitaire, le prix p du bien intermédiaire vérifie : $p = m$.

A partir de cette dernière relation, on calcule l'intensité $\widetilde{k}$ caractérisant l'équilibre décentralisé. On a :

$$p = m = f'(\widetilde{k}) = 1 - \widetilde{k}f''(\widetilde{k}). \tag{4.3}$$

On obtient alors la valeur ajoutée décentralisée : $Y - X = \Omega(\widetilde{k})AL_Y \equiv \widetilde{\Omega}AL_Y$. L'hypothèse de libre-entrée dans le secteur intermédiaire implique que la rente de monopole (c'est-à-dire les profits) est utilisée pour rémunérer le détenteur de brevet, sous forme de "royalties" d'un montant $\widetilde{r}_A$, d'où :

$$\widetilde{r}_A = (m - 1)x = (f'(\widetilde{k}) - 1)\widetilde{k}L_Y = -\widetilde{k}^2 f''(\widetilde{k})L_Y. \tag{4.4}$$

4.1.3. Un bilan

A nombre de variétés, A, et L_Y donnés, nous avons déterminé l'intensité k, la valeur ajoutée décentralisée $Y - X$, ainsi que la manière dont celle-ci est partagée pour rémunérer les travailleurs ($\widetilde{w} = A\left[f(\widetilde{k}) - \widetilde{k}f'(\widetilde{k})\right]$) et les détenteurs de brevets ($\widetilde{r}_A$). Le tableau suivant rend compte de ces valeurs pour les deux formes de fonction $f(.)$.

Type de fonction $f(k)$	k^α	$\begin{cases} -\frac{b}{2}k^2 + ak, & k \in [0, a/b] \\ a^2/2b, & \text{sinon}, a < 1, b > 0 \end{cases}$
niveau optimal, k^*	$\alpha^{1/(1-\alpha)}$	$(a-1)/b$
VA optimale, $\Omega^* AL_Y$	$\alpha^{\alpha/(1-\alpha)}(1-\alpha)AL_Y$	$((a-1)^2/2b)AL_Y$
niveau décentralisé, $\widetilde{k}$	$\alpha^{2\alpha/(1-\alpha)}$	$(a-1)/2b$
VA décentralisé, $\widetilde{\Omega}AL_Y$	$\alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}}(1-\alpha^2)AL_Y$	$(3(a-1)^2/8b)AL_Y$
salaire, $\widetilde{w}$	$\alpha^{2\alpha/(1-\alpha)}(1-\alpha)A$	$((a-1)^2/8b)AL_Y$
"royalties", $\widetilde{r}_A$	$\alpha^{(\alpha+1)/(1-\alpha)}(1-\alpha)L_Y$	$((a-1)^2/4b)AL_Y$
part des salaires	$1/(1+\alpha)$	$1/3$
taux de marge, m	α^{-1}	$(a+1)/2$

Ces résultats appellent plusieurs commentaires :

- Le niveau décentralisé $\widetilde{k}$ est en dessous du niveau optimal k^*. En effet, l'existence de monopoles, tarifant au delà du coût marginal de production, implique une production insuffisante des biens intermédiaires. En conséquence, il existe une perte de valeur ajoutée ($\Omega^* - \widetilde{\Omega} > 0$) résultant d'une combinaison d'inputs inadaptée.
- La rémunération des brevets, $\widetilde{r}_A$, croît avec l'échelle de production dont L_Y est un indicateur. Cette propriété est la manifestation des rendements d'échelle croissants présents dans la technologie (4.1). Une économie "de grande taille" autorise une rémunération plus importante de l'innovation.
- La forme de $f(.)$ a des conséquences sur la manière dont se partage la valeur ajoutée. De ce point de vue, il est important de noter que A et L_Y sont des arguments symétriques de la technologie (4.1). Cette caractéristique plaide en faveur d'un partage à part égal de la valeur ajoutée entre travailleurs et propriétaires de brevet. Pourtant, la fonction puissance implique une part des salaires supérieure à 50%. Pour le cas quadratique, elle vaut seulement 33%.

4.2. La création de nouvelles variétés

D'un point de vue technologique, comment sont créées les nouvelles variétés ? D'un point de vue économique, quels mécanismes de marché soutiennent cette création ?

La création de nouvelles variétés est le résultat des investissements effectués dans l'activité de recherche et développement (R&D). A un niveau social, le stock de variétés se conçoit comme un stock d'"idées" utilisées pour produire et dans lequel chacun puise pour innover. A un niveau privé, chaque variété donne lieu à un brevet qui est vendu et permet à l'innovateur de s'approprier une partie du revenu généré par l'innovation.

A un niveau social, l'évolution de A est donnée par :

$$\dot{A} = G(R, A), \tag{4.5}$$

avec R la quantité de ressources mobilisée dans la R&D et $G(.)$ une fonction croissante dans son premier argument.

Dans la formulation (4.5), il est nécessaire de distinguer ce qui relève des décisions individuelles des firmes de R&D, de ce qui provient d'externalités. On examine ensuite dans quelles circonstances la croissance des grandeurs par tête est possible.

4.2.1. Inputs privés et externalités de connaissance

La production d'idées est le sièges de trois types d'externalités :

- Une influence positive de A sur l'efficacité de la ressource privée R ($\partial G/\partial A > 0$) manifeste un effet externe de type "nain sur les épaules" ("standing on shoulders") : les biens inventés dans le passé accroissent le stock d'idées de l'économie et favorisent ainsi l'innovation. A l'inverse, une influence négative ($\partial G/\partial A < 0$) est la manifestation d'un effet d'"épuisement" ("fishing out") : le stock d'idées potentielles est limité et les premières découvertes sont les plus faciles à effectuer.
- La ressource privée mobilisée en quantité R est diverse : capital physique, capital humain, travail non qualifié... Même si sa contribution privée est positive, elle peut donner lieu à des externalités négatives. C'est le cas si différentes firmes mobilisent des ressources sur le même domaine donnant lieu à une duplication stérile des activités de R&D.
- Selon l'idée de Schumpeter, les nouveaux biens chassent les anciens dans un perpétuel mouvement de "destruction créatrice". Cette externalité se décrit dans un modèle où les innovations portent sur la qualité des biens. Cela est moins évident ici. On suit Jones and Williams [1998] en notant que la destruction créatrice implique que le nombre de variétés créées diffère de l'accroissement $\dot{A}$ dans (4.5). On peut ainsi supposer que la création d'un nouveau bien rend obsolète une fraction $\psi \in]0, 1[$ de biens anciens.

Pour se fixer les idées, on retient la forme suivante donnée par Jones and Williams [1998] :

$$\dot{A}/(1-\psi) = \widetilde{\mu} R \equiv \mu R^{\lambda} A^{\phi}. \tag{4.6}$$

Les firmes individuelles considèrent la productivité $\widetilde{\mu}$ de l'input privé utilisé en quantité R comme donnée. La forme linéaire de la technologie privée implique que les rendements d'échelle privés sont constants. A un niveau social, $\widetilde{\mu}$ dépend de R et A. $0 \leq \lambda < 1$ témoigne de l'externalité de duplication alors que le signe de ϕ indique la présence d'un effet d'"épuisement" ou de "nain sur les épaules". Dans la suite du chapitre, on laisse de côté l'effet de création destructrice en posant $\psi = 0$.

4.2.2. Les régimes de croissance

La forme réduite (4.1) indique que la création de nouveaux biens alimente la croissance du produit, en agissant comme un progrès technique "augmentant" le facteur travail. La forme de la loi d'évolution (4.6) conditionne la réalisation d'un sentier de croissance endogène ou autoentretenue. Plus précisément, la réalisation d'une croissance régulière à long terme nécessite que A s'accroisse lui-même à taux constant. Plusieurs voies s'ouvrent alors selon que la ressource R est du bien final ou (et) du travail, et selon qu'il existe ou non une croissance démographique.

Dans le cas d'absence de croissance démographique, on examine deux situations :

1. R est du bien final. D'après (4.1), une croissance au taux g de A implique une croissance au même taux du produit en bien final. Ceci est cohérent avec un ratio R/Y constant uniquement si $\phi + \lambda = 1$. Même en l'absence d'externalités de connaissance ($\phi = 0$), la croissance perpétuelle est possible pour $\lambda = 1$. Cette situation est étudiée dans l'exercice 2.
2. R représente un nombre de travailleurs-chercheurs, soit $R = L_A$. En l'absence de croissance démographique, R est borné et la croissance endogène est possible que si $\phi = 1$, c'est-à-dire si les rendements sont constants en A. Contrairement au premier cas, cela signifie que seule une externalité de connaissance puissante peut provoquer la croissance endogène. Cette situation paramétrique singulière est celle retenue par Romer [1990].

Les choses sont plus complexes en cas de croissance démographique à un taux n. A titre de référence, supposons que R représente un nombre de travailleurs. Pour $\phi = 1$ et $\lambda \neq 0$, la dynamique est incohérente en ce que A croît à un taux croissant si le ratio de chercheur dans la population active est maintenu constant. Dans les mêmes circonstances, pour $\phi < 1$, A et le produit par travailleur croissent au taux $\lambda n/(1-\phi)$.

Ce régime de croissance est qualifié de *semi-endogène* par Jones [1995]. Dans ce cas, les grandeurs par tête croissent à un taux constant dépendant directement du taux de croissance démographique. En l'absence de cette dernière, la croissance disparaît. Ce régime est étudié dans l'exercice 2.

4.2.3. Les brevets comme actif de l'économie

En l'absence de capital physique, la variété est l'unique actif productif de l'économie. En effet, à un niveau social, l'investissement en RD se conçoit comme un transfert de ressources vers le futur au moyen de l'augmentation de A. A un niveau privé, un brevet est associé à chaque variété et il constitue un actif dont dispose les ménages pour transférer de la consommation vers le futur. A supporte ainsi l'épargne, soit de manière directe—le ménage achète un brevet à la firme de RD et perçoit les revenus correspondants en ayant la possibilité de revendre le brevet—, soit de manière indirecte—par l'acquisition d'actions émises par les firmes intermédiaires. Ces deux formes sont équivalentes et on retient ici l'hypothèse de détention directe des brevets par les ménages.

Le brevet est supposé de maturité infinie et génère un revenu r_A donné par (4.4) à chaque instant. Dans un modèle plus général, on peut envisager que l'Etat utilise la durée de protection comme un instrument de politique économique. L'avantage de supposer une maturité infinie est que les brevets issus d'innovation à différentes dates sont parfaits substituts dans le portefeuille du consommateur et le prix d'un brevet est noté p_A. Le taux de rendement du brevet, $\widetilde{r}$, est la somme du revenu rapporté à la valeur et du taux de plus-value :

$$\widetilde{r} = \frac{r_A}{p_A} + \frac{\dot{p}_A}{p_A}. \tag{4.7}$$

Par ailleurs, les firmes de R&D agissent sur des marchés concurrentiels. Compte tenu de la constance des rendements privés de la technologie (4.6), on a : $p_A = p_R/\widetilde{\mu}$ avec p_R le prix de la ressource du secteur de R&D.

4.3. Le bouclage du modèle et la croissance endogène décentralisée

Afin de boucler le modèle, on se place dans le cas suggéré par Romer [1990] : R représente le nombre de travailleurs retenus dans les firmes de R&D ; soit $R = L_A$. On développe le cas d'une croissance endogène intervenant en l'absence de croissance démographique. On pose ainsi $\phi = \lambda = 1$, de sorte que :

$$\dot{A} = \mu L_A A. \tag{4.8}$$

La taille de la population est L et la contrainte de ressource s'écrit : $L_Y + L_A = L$.

4.3.1. Dynamique de l'épargne et taux de rendement

L'économie est peuplée d'un consommateur représentatif bénéficiant d'un horizon infini. La condition de Keynes-Ramsey s'écrit :

$$\frac{\dot{C}\ (t)}{C(t)} = \sigma^{-1}(\widetilde{r} - \rho),$$

avec $\widetilde{r}$ le taux de rendements des brevets, unique actif dont il dispose. La richesse du consommateur est la valeur $p_A(t)A(t)$ de son portefeuille et la saturation de sa contrainte budgétaire intertemporelle impose que :

$$\lim_{t\to\infty} \exp\left[-\int_0^t \widetilde{r}(s)ds\right] p_A(t)A(t) = 0. \tag{4.9}$$

Le travail étant le seul input de la R&D, le prix du brevet est : $p_A = \widetilde{w}/\widetilde{\mu} = \widetilde{w}/(\mu A)$. Or, le salaire est égal à la productivité marginale des travailleurs dans le secteur de production du bien final, on a donc :

$$p_A = \frac{\widetilde{w}}{\mu A} = \mu^{-1}\left[f(\widetilde{k}) - \widetilde{k}f'(\widetilde{k})\right].$$

Sachant que $\widetilde{k}$ est constante, le prix du brevet est constant et le taux de rendement de cet actif est :

$$\widetilde{r} = \frac{r_A}{p_A} = \mu\frac{(f'(\widetilde{k}) - 1)\widetilde{k}}{f(\widetilde{k}) - \widetilde{k}f'(\widetilde{k})}L_Y \equiv \mu\pi L_Y. \tag{4.10}$$

Cette équation appelle plusieurs commentaires :

- $\widetilde{r}$ croît avec L_Y : il s'agit d'une conséquence de la présence de rendements croissants. Sachant que $L_Y = L - L_A$, il s'ensuit que le taux de rendement des brevets est une fonction décroissante de la quantité de ressources mobilisées dans le secteur de R&D et donc du taux de croissance g_A de A :

$$\widetilde{r} = \mu\pi L - \pi g_A. \tag{4.11}$$

- Le taux de rendement dépend, au travers de la constante π, de la manière dont la valeur ajoutée physique est partagée entre travailleurs et détenteurs de brevet. Un partage à part égal implique $\pi = 1$. Cette dépendance s'explique par la présence de concurrence imparfaite : les rentes de monopole rémunérant l'innovateur sont *in fine* prélevées sur les travailleurs.

4.3.2. La croissance endogène décentralisée

Pour achever de décrire la dynamique concurrentielle, les contraintes de ressources $C = \widetilde{\Omega} A L_Y$ et $L_A + L_Y = L$ sont introduites dans les lois d'évolution de A et de C. On a alors le système différentiel :

$$\begin{aligned} \dot{A} &= \mu A \left[L - \frac{C}{\widetilde{\Omega} A} \right] \\ \dot{C} &= C \sigma^{-1} \left[\frac{\pi \mu}{\widetilde{\Omega}} \frac{C}{A} - \rho \right], \end{aligned}$$

assorti de $A(0) = A_0$ et de la condition de "transversalité" (4.9).

On note $\chi \equiv C/A$ et on constate que χ est régi par :

$$\frac{\dot{\chi}}{\chi} = \frac{\dot{C}}{C} - \frac{\dot{A}}{A} = \left[\sigma^{-1} \frac{\pi \mu}{\widetilde{\Omega}} + \frac{\mu}{\widetilde{\Omega}} \right] \chi - \left(\mu L + \sigma^{-1} \rho \right).$$

On retrouve le même type de comportement dynamique que dans la sous-section 2.1.2. χ est indéterminé et "saute" sur la valeur stationnaire :

$$\widetilde{\chi} = \frac{\widetilde{\Omega}}{\mu} \frac{1}{1 + \sigma^{-1} \pi} (\mu L + \sigma^{-1} \rho).$$

En reportant $\widetilde{\chi}$ dans le système différentiel, il apparaît que l'économie évolue dès l'instant 0 sur un sentier le long duquel C et A croissent à un taux endogène :

$$\widetilde{g} = \frac{\pi \mu L - \rho}{\sigma + \pi}. \tag{4.12}$$

4.3.3. Propriétés de la croissance décentralisée

La dynamique se compare à celle du modèle de "learning-by-doing" de la sous-section 2.1 (*Cf.* les équations (2.6) et (2.7)). Deux propriétés retiennent ici l'attention.

En premier lieu, c'est la productivité μ du secteur de R&D qui influence directement le taux de croissance, et non la productivité dans le secteur de production final comme dans le modèle de "learning-by-doing". Cette propriété provient de ce que le secteur de R&D agit comme le "moteur" de la croissance. Toutefois, la forme de la fonction $f(.)$ a une influence sur le taux de croissance au travers de π, qui exprime le partage de la valeur ajoutée.

En second lieu, un effet de "taille" est présent dans le modèle : le taux de croissance est une fonction linéaire de la taille de l'économie, exprimé par le niveau de population active L. Cette propriété résulte de la croissance des rendements dans les secteurs de R&D et de production du bien final : à nombre initial d'idées A données, deux fois plus de chercheurs produisent deux fois plus d'idées, ce qui multiplie par deux la production de bien final et donc le taux de croissance.

La présence d'un tel effet d'échelle est contestable d'un point de vue empirique. Il existe des externalités de congestion qui posent des limites à la croissance des rendements d'échelle. Jones [1999] discutent des approches théoriques concernant l'effet d'échelle. La présence de cet effet peut s'interpréter comme une limite de notre approche : il serait surprenant que les externalités de connaissances et les idées ne circulent pas parmi les économies. Dans ce cas, le stock A est plutôt mondial que national et on retrouve une partie de la discussion de la sous-section 2.2. L'effet d'échelle ne s'appliquerait alors qu'à un niveau mondial.

4.4. Croissance optimale et politique économique

4.4.1. Deux types de distorsions

Deux types de distorsions sont à l'œuvre à l'équilibre décentralisé décrit ci-dessus.

La première vient de la concurrence imparfaite présente dans le secteur intermédiaire. Cette concurrence imparfaite est "nécessaire" car elle autorise, par les rentes qu'elle crée, la rémunération de l'innovation. Cette distorsion provoque une inefficacité *statique* issue d'une production insuffisante de biens intermédiaires ($\widetilde{k} < k^*$ implique $\widetilde{\Omega} < \Omega^*$). Elle a également des conséquences sur la manière dont la valeur ajoutée se partage entre travailleurs et détenteurs de brevet. La valeur de π en rend compte.

La seconde distorsion résulte de l'externalité de connaissance qui affecte la technologie (4.6). Alors que l'innovation est source de surplus social dans le secteur de R&D (en améliorant l'efficacité des chercheurs), ce surplus n'est pas approprié par les innovateurs. Le taux de rendement $\widetilde{r}$ ne tient pas compte de cette dimension. On est ainsi en présence d'un effet externe standard.

Ces deux distorsions ont des conséquences quant à l'optimalité du sentier décentralisé. Pour les saisir, on peut comparer le sentier décentralisé au sentier optimal.

4.4.2. La croissance optimale

Le sentier optimal se calcule en imaginant qu'un planificateur régit l'allocation des ressources en maximisant l'utilité intertemporelle du consommateur sous les contraintes de ressources.

Le planificateur choisit l'intensité optimale k^* afin de maximiser la valeur ajoutée disponible pour la consommation, soit $C = \Omega^* A L_Y$. Sachant $L_Y + L_A \leq L$

et la loi d'évolution (4.8), on obtient :

$$\dot{A} = \mu L A - \frac{\mu}{\Omega^*} C. \tag{4.13}$$

μ/Ω^* s'interprète comme la valeur sociale de la consommation en termes de A, alors que $\mu L \equiv r^*$ mesure le taux de rendement social de l'actif.

L'optimalité requiert alors la condition d'arbitrage suivante, pendant centralisé de la condition de Keynes-Ramsey :

$$r^* = \mu L = \rho + \sigma \frac{\dot{C}}{C}. \tag{4.14}$$

On déduit de (4.13) et de (4.14) l'évolution de $\chi = C/A$:

$$\frac{\dot{\chi}}{\chi} = \frac{\dot{C}}{C} - \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\mu}{\Omega^*}\chi - \sigma^{-1}\rho + (\sigma^{-1} - 1)\mu L,$$

dont l'état stationnaire est donné par :

$$\chi^* = \frac{\Omega^*}{\mu}\left[\sigma^{-1}\rho - (\sigma^{-1} - 1)\mu L\right]. \tag{4.15}$$

L'instabilité de χ^* implique que l'économie "saute" instantanément sur le sentier de croissance régulière optimale le long duquel elle croît au taux g^* défini par :

$$g^* = \sigma^{-1}\left[\mu L - \rho\right]. \tag{4.16}$$

4.4.3. Comparaison entre les sentiers décentralisé et optimal

La comparaison est menée dans le graphique 4.1. La situation est présentée dans le plan (taux de croissance, taux de rendement). La droite (D'') se déduit de la condition de Keynes-Ramsey $r = \rho + \sigma g$. Le taux de rendement social r^* est constant au niveau μL et est représenté par la droite horizontale (D'). g^*, le taux de croissance optimal est à l'intersection de ces 2 droites. Par ailleurs, la droite (D) reliant l'ordonnée $\pi \mu L$ à l'abscisse μL représente (4.11). L'intersection des droites (D) et (D'') donne le couple $(\tilde{g}, \tilde{r})$. On distingue alors deux cas selon que π est supérieur ou inférieur à l'unité.

- Si $\pi \leq 1$, on a nécessairement $\tilde{g} < g^*$et $\tilde{r} < r^*$: l'investissement décentralisé en R&D, et donc le taux de croissance, sont insuffisants. Ceci est dû à l'écart entre les taux de rendement privé et social. D'un côté, $\pi \leq 1$ signifie que la concurrence imparfaite conduit à une rémunération insuffisante des brevets. De l'autre, la présence de l'externalité de connaissance joue dans le même sens. Cette situation correspond à celle de la fonction puissance $f(k) = k^\alpha$.

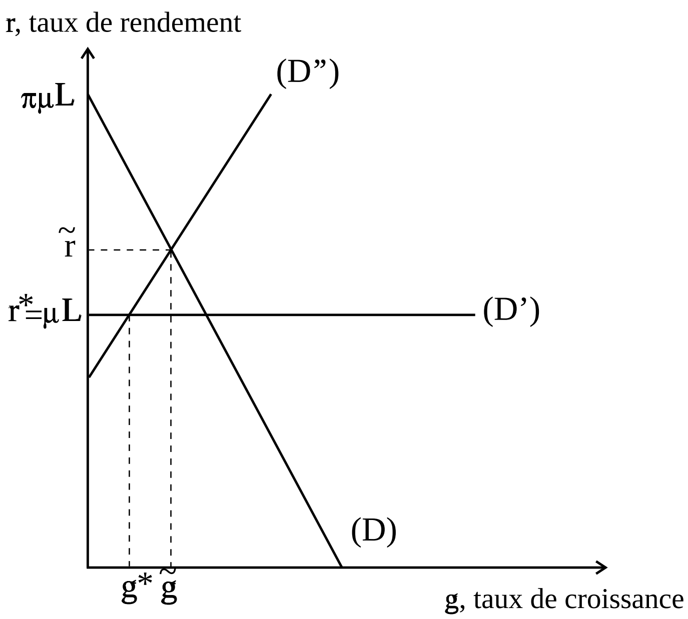

FIG. 4.1: Comparaison des sentiers décentralisé et optimal, $\pi > 1$

– Si $\pi > 1$, la situation est plus riche car les distorsions jouent dans un sens opposé sur l'écart $r^* - \widetilde{r}$. En effet, la concurrence imparfaite crée de fortes rentes de monopoles, d'où une éventuelle surrémunération de l'innovateur ($\pi > 1$). L'externalité de connaissance contrarie cet effet, de sorte que l'effet total dépend de la configuration paramétrique. Une situation de croissance décentralisée excessive ne peut être exclue, notamment dans le cas où la fonction $f(.)$ est quadratique (*Cf.* le graphique 4.1).

4.4.4. La politique économique

Une politique économique efficace s'attaque simultanément aux deux distorsions. D'un côté, le gouvernement stimule l'offre de biens spécialisés afin d'approcher $\widetilde{k}$ de k^*. De l'autre, il réduit l'écart entre $\widetilde{r}$ et r^*afin d'inciter les agents à investir en R&D à un niveau approprié.

Pour agir sur l'offre de biens spécialisés, le gouvernement subventionne la vente de ces biens à un taux constant τ de sorte que le profit devient $(1+\tau)px - x$. Compte tenu de la demande de biens intermédiaires, le niveau décentralisé $\widetilde{k}$ vérifie alors :

$$p = m/(1+\tau) = f'(\widetilde{k}) = (1+\tau)^{-1} - \widetilde{k}f''(\widetilde{k}).$$

L'inefficience statique disparaît ($\widetilde{k} = k^*$) si τ prend la valeur :

$$\tau^* = -\frac{k^* f''(k^*)}{1 + k^* f''(k^*)},$$

avec k^* le ratio optimal. Pour $f(k) = k^\alpha$, on a $\tau^* = (1-\alpha)/\alpha$ alors que cette même valeur est $(a-1)/a$ dans le cas de la fonction quadratique.

Cette subvention a des conséquences sur les niveaux de rémunération $(\widetilde{w}, \widetilde{r}_A)$, et donc sur la constante π intervenant dans la détermination du taux de rendement privé $\widetilde{r}$. Dans le cas de la fonction puissance, l'augmentation de r_A consécutive à la subvention conduit à $\pi = 1$, impliquant un partage à part égal de la valeur ajoutée. Les résultats sont plus complexes dans le cas quadratique.

Pour agir sur l'externalité de connaissance, le gouvernement subventionne l'activité de R&D. Pour une subvention à un taux τ_{RD} de chaque brevet vendu, le prix du brevet est $p_A = \widetilde{w} / \left(\widetilde{\mu}(1+\tau_{RD})\right)$ et le taux de rendement devient :

$$\widetilde{r} = (1+\tau_{RD})\pi\mu L_Y.$$

Plaçons nous dans le cas de la fonction puissance. Les biens intermédiaires sont subventionnées au taux τ^*, ce qui supprime l'inefficacité statique et qui amène π à 1. Le taux de subvention τ_{RD} égalisant le taux de rendement privé $\widetilde{r}$ au taux de rendement social $r^* = \mu L$ est L_A^*/L_Y^*. Cette politique de soutien à la R&D

permet à l'économie de s'engager sur le sentier optimal : elle est dite de premier rang. Si la fonction $f(.)$est quadratique, le taux de subvention optimal est plus difficile à calculer car il doit tenir compte de la valeur de la constante π,dépendante elle-même du taux de subvention des biens intermédiaires.

On voit ainsi que la politique économique nécessite l'utilisation de plusieurs instruments dont les niveaux sont interdépendants. Pour que la politique économique soit pleinement efficace, le gouvernement doit connaître très finement les caractéristiques de l'économie.

5. Conclusion

Les modèles présentés ont illustré comment il est possible de rendre endogène la technologie et en ont montré les conséquences notamment en matière d'intervention publique. Dans ce chapitre, nous avons choisi de présenter le noyau dur de ces nouveaux modèles, en laissant de côté de nombreux thèmes . En effet, le développement de la littérature s'est surtout effectué de manière horizontale, en intégrant une problématique de croissance et de progrès technique à des domaines quelquefois éloignés du champ de la macroéconomie. Parmi les points non abordés dans le présent chapitre, on peut citer :

- Inégalité et croissance.
- Développement financier et croissance
- Ouverture des économies, diffusion du progrès technique et croissance
- Chômage, progrès technique et croissance
- Démographie, fertilité endogène, migration et croissance.

On trouvera dans la bibliographie indicative les références nécessaires.

Résumé

Ce chapitre présente les modèles de croissance endogène. Il s'agit de considérer le progrès technique comme un résultat de l'activité économique, et, par cela, de parvenir à une endogénéisation complète du taux de croissance.

Dans les deux premières sections, l'endogénéisation du progrès technique s'effectue au moyen d'un effet externe. Il n'existe aucune incitation pour les agents privés en vue de produire des nouvelles technologies. Ces dernières sont des sous-produits involontaires de l'activité d'investissement en capital physique ou humain. Dans ces conditions, une politique publique visant à renforcer l'incitation à l'investissement se justifie et affecte le taux de croissance de long-terme.

Dans la troisième section, nous étudions un modèle dans lequel les agents sont incités à l'innovation technologique par un système de brevet. Cette dernière octroie un pouvoir de marché, qui génère une rente de monopole, constituant le revenu de l'innovateur. La présence simultanée de concurrence imparfaite et d'externalités technologiques légitime la conduite de politiques économiques.

Questions

Questions ponctuelles

1. Qu'est-ce-qu'une externalité technologique globale ? locale ?
2. Analyser dans le modèle de la section 2 l'effet d'une subvention à l'investissement en capital physique ?
3. Que se passe-t-il dans le modèle de la section 2 si la part du capital physique dans la fonction de production $f(.)$ devient nulle ?
4. Définir les taux de rendement privé et social d'un investissement.
5. Dans le modèle de la section 3, les nouveaux biens intermédiaires sont-ils substituts ou compléments des anciens biens ?

Questions générales

1. Peut-on endogénéiser la croissance sans recourir au concept d'externalité ?
2. Dans le modèle de la section 3, que se passe-t-il en cas d'échange international des biens intermédiaires ?

Mots clé :

Croissance endogène, hystérèse, politique économique, recherche et développement, taux de rendement de l'éducation, capital humain, effet d'échelle, externalités, brevet, innovation, diffusion du progrès technique, catch-up.

Indications bibliographiques

- Pour ce qui est des ouvrages, on recommande ceux de Barro and Sala-i Martin [1995], Aghion and Howitt [1998] et Jones [1997], le dernier des 3 étant le moins technique.
- Pour ce qui est des survols de la littérature empirique, on pourra consulter le symposium publié en 1994 dans le *Journal of Economic Perspectives*, mais

aussi Durlauf and Quah [1998] et Temple [1999]. Le survol de Keely and Quah [1998] concerne les relations entre technologie et croissance.

– Il existe un site web extrêmement bien documenté sur les théories de la croissance : http ://www.nuff.ox.ac.uk/Economics/Growth/.

Exercices

Exercice 1

Cet exercice traîte des politiques de taxation dans des modèles de croissance endogène avec externalités de "learning-by-doing".

On considère une économie peuplée d'un ménage représentatif accumulant de la richesse financière, contrepartie du stock de capital physique des firmes et offrant une unité de travail. Le gouvernement dispose potentiellement de différents instruments fiscaux. Il peut ainsi taxer la consommation à un taux τ_c, les revenus du travail à un taux τ_w et les revenus du capital à un taux τ_r. Une valeur négative de ces taux équivaut à une subvention. Le cas pour lequel $\tau_w = \tau_r = \tau_y$ est équivalent à un impôt sur le revenu au taux τ_y. Enfin, un éventuel transfert forfaitaire du gouvernement vers le ménage est noté T.

1) Ecrire l'équation d'accumulation de la richesse financière B du ménage. Résoudre le programme du consommateur. Parmi les schémas de taxation suivants :

– une taxation des revenus du travail seulement

– une taxation des revenus du capital

– une taxation à taux *constant dans le temps* de la consommation,

quels sont ceux qui sont équivalents à un transfert forfaitaire, c'est-à-dire non distorsifs ?

2) Comment le gouvernement peut-il stimuler l'épargne de manière permanente ? de manière transitoire ?

3) On se place dans le cas du "learning-by-doing" de sorte que la fonction de production privée des firmes est donnée par (2.2). On suppose que la politique fiscale menée par le gouvernement est invariante dans le temps. Montrer que le taux de croissance endogène de l'économie est :

$$g = \sigma^{-1}\left[(1-\tau_r)(f'(1)-\delta)-\rho\right],$$

avec σ et ρ, respectivement l'inverse de l'élasticité intertemporelle de substitution et le taux de préférence pour le présent. Commenter les effets des politiques fiscales sur le taux de croissance.

4) Quel est le taux de rendement *social* du capital, et donc de l'épargne ? A quel taux τ^* faut-il subventionner l'épargne (les revenus du capital) pour faire correspondre le taux de rémunération de l'épargne avec le taux de rendement social ? En déduire que, lorsque τ_r est fixé à τ^*, la croissance est optimale.

5) On suppose que la subvention au taux τ^* est financée par la taxation des revenus du travail. Montrer alors que le gouvernement prélève l'intégralité de ces revenus (on a $\tau_w = 1$, à chaque instant). Expliquer.

Exercice 2

On reprend le modèle d'expansion des variétés développé dans la section 3. La technologie privée d'accumulation des variétés s'écrit :

$$\dot{A} = \widetilde{\mu} R,$$

où $\widetilde{\mu}$ est la productivité de la ressource privée R.

1) Dans une première situation, on étudie le régime de "lab equipment" pour la fonction de production des variétés. Soit $\widetilde{\mu} = \mu$, avec μ une constante, $R = Y_A$, avec Y_A du bien final et il n'y pas de croissance démographique.

1a) La croissance endogène est-elle possible ?

1b) Déterminer le taux de rendement privé du brevet. En déduire le taux de croissance de l'économie décentralisé.

1c) Déterminer le taux de croissance optimal. Le comparer au taux de croissance décentralisé. Suggérer des politiques économiques.

2) Dans cette seconde partie, on étudie ce que Jones [1995] qualifie de régime de croissance "semi-endogène". Pour cela, on pose $\widetilde{\mu} = \mu A^{\phi}$, avec μ une constante et $\phi \in]0, 1[$, $R = L_A$, et on considère une croissance démographique au taux $n > 0$.

2a) A long-terme, quel est le taux de croissance de i) A, le nombre de variétés, et ii) la consommation par tête ?

2b) Calculer le taux de rendement privé des brevets. En déduire la dynamique de l'économie.

2c) Déterminer le ratio L_A/L le long du sentier régulier décentralisé.

2d) Ecrire le programme de croissance optimale et la dynamique de la consommation découlant de ce programme. Déterminer le ratio L_A/L le long du sentier régulier optimal. Le comparer au ratio décentralisé. Qu'en déduisez-vous ?

Solution de l'exercice 1

1) L'équation d'accumulation s'écrit :

$$\dot{B} = r(1 - \tau_r)B + w(1 - \tau_w) - (1 + \tau_c)C + T. \tag{5.1}$$

La contrainte budgétaire intertemporelle prend ainsi la forme :

$$\int_0^\infty \exp[-R_n(0,t)](1+\tau_c(t))C(t)dt \leq$$
$$\int_0^\infty \exp[-R_n(0,t)]\left((1-\tau_w(t))w(t)+T(t)\right)dt$$

avec $R_n(0,t)=\int_0^t(1-\tau_r(s))r(s)ds$,le facteur d'intérêt net.

La quantité à droite de l'inégalité représente la richesse totale de l'individu. La taxation du revenu du travail a pour seul effet de diminuer cette richesse, exactement comme le transfert forfaitaire. Ces deux modes de prélèvement sont ainsi équivalents. La taxation des revenus du travail est donc non-distorsive.

Si la consommation est taxée à un taux constant dans le temps τ_c, alors le terme $1+\tau_c$ se factorise dans la c. b. i., et tout se passe comme si la consommation n'est plus taxée et la richesse totale diminuée d'un facteur $1/(1+\tau_c)$. Cette taxation est ainsi non-distorsive. En revanche, si la taxation ne s'effectue plus à taux invariant dans le temps, alors elle redevient distorsive (*Cf.* la question **2).**

Les conditions du premier ordre du programme du consommateur s'écrivent :

$$C^{-\sigma}=(1+\tau_c)\lambda$$
$$\dot{\lambda}=(\rho-r(1-\tau_r))\lambda,$$

avec λ, la variable de co-état associée à (5.1), σ, l'inverse de l'élasticité intertemporelle de substitution et ρ le taux de préférence pour le présent. La condition de Keynes-Ramsey se réécrit donc :

$$\frac{\dot{C}}{C}=\sigma^{-1}\left(r(1-\tau_r)-\frac{\dot{\tau_c}}{1+\tau_c}-\rho\right). \tag{5.2}$$

On constate ainsi que la taxation des revenus du capital, parce qu'elle agit sur les prix intertemporels, modifie le comportement d'épargne de l'individu. Elle est donc distorsive.

2) La condition (5.2) décrit l'impact de la taxation sur le comportement d'épargne. Pour stimuler de manière permanente l'épargne, le gouvernement peut la subventionner en fixant $\tau_r<0$. De ce fait, le consommateur est incité à reporter de la consommation dans le futur, en augmentant ainsi sa richesse financière. Pour stimuler transitoirement l'épargne, le gouvernement annonce une diminution de la taxe sur la consommation τ_c.

3) Dans le cas du "learning-by -doing", le taux d'intérêt r est égal au taux de rendement net du capital $f'(1)-\delta$. La politique fiscale étant constante, la condition (5.2) s'écrit : $\dot{C}\ /C=\sigma^{-1}\left(r(1-\tau_r)-\rho\right)$. Les revenus collectés par l'Etat sont redistribués de manière forfaitaire aux consommateurs. L'équation d'accumulation du capital s'écrit donc : $\dot{K}=(f(1)-\delta)K-C$. En combinant ces équations, on en déduit que l'économie saute dès l'instant 0 sur un sentier de croissance le long duquel $\dot{C}\ /C = \dot{K}\ /K = \sigma^{-1}\left((f'(1)-\delta)(1-\tau_r)-\rho\right)$. Ainsi, seule la taxation (ou la subvention) des revenus du capital a un effet sur le taux de croissance de long-terme. La subvention stimule l'épargne, l'investissement et donc le taux de croissance.

4) La loi d'évolution du capital s'écrit : $\dot{K}= (f(1)-\delta)K - C$. Cela signifie que le report d'une unité de consommation vers le futur sous forme d'investissement crée à la marge une richesse nette $f(1)-\delta$. Cette quantité est donc le taux de rendement social de l'épargne. Le taux de rendement privé qui ne tient pas compte de l'externalité est $(1-\tau_r)(f'(1)-\delta)$. Pour faire correspondre ces deux taux, le gouvernement subventionne l'épargne à un taux $\tau_r^* = (f'(1)-f(1))/(f'(1)-\delta)$.

Dans ce cas, l'économie croît au taux $g^* = \sigma^{-1}(f(1)-\delta-\rho)$. Le sentier de croissance est ainsi la solution du programme centralisé : $\max \int_0^\infty \exp(-\rho t)(1-\sigma^{-1})C^{1-\sigma}dt$ s. c. $\dot{K}= (f(1)-\delta)K - C$. Il s'agit donc bien du sentier optimal.

5) Pour financer l'épargne au taux τ^*,le gouvernement dépense $\tau^*(f'(1)-\delta)K = (f'(1)-f(1))K$. Ce montant correspond très exactement au total du revenu salarial. Si ce revenu est le seul à être taxé, on donc a $\tau_w = 1$.

Ce résultat est dû au fait que la fonction de production sociale est $f(1)K$. La contribution du travail à la formation du produit est donc nulle. Il est donc naturel que le revenu du travail soit utilisé pour subventionner le capital, qui contribue à lui seul à la formation du produit.

Ce résultat extrême n'est pas satisfaisant. Il montre en quoi le modèle de "learning-by-doing" est trop élémentaire dans sa technologie.

Solution de l'exercice 2

1a) On a $\dot{A}= \mu Y_A$, alors que $Y = Y_A + C = \widetilde{\Omega} AL$, avec L la force de travail. Il s'en déduit la loi d'évolution :

$$\dot{A}= \mu\left(\widetilde{\Omega}AL - C\right).$$

Les rendements sont donc constants par rapport à A, ce qui implique la croissance endogène, cela en l'absence d'externalités dans le secteur de R&D.

1b) Le prix concurrentiel du brevet est μ^{-1}, le bien final étant utilisé comme numéraire. En conséquence, le taux de rendement privé du brevet est donné par :

$$\widetilde{r} = \mu(f'(\widetilde{k})-1)\widetilde{k}L.$$

La fixation de ce taux ne dépend pas du niveau des salaires.

La condition de Keynes-Ramsey s'écrit donc : $\dot{C}\ /C = \sigma^{-1}\left[\mu(f'(\widetilde{k})-1)\widetilde{k}L-\rho\right]$. L'économie "saute" sur le sentier de croissance régulière et le taux de croissance endogène est donné par :

$$\widetilde{g} = \sigma^{-1}\left[\mu(f'(\widetilde{k})-1)\widetilde{k}L-\rho\right].$$

1c) Le long du sentier optimal, le planificateur choisit le niveau de bien intermédiaire qui maximise la valeur ajoutée disponible pour la consommation et l'investissement en R&D. On a ainsi $Y_A + C = \Omega^* AL$, avec $\Omega^* = f(k^*) - k^*$, où k^* est tel que $f'(k^*) = 1$. Il résout ensuite le programme intertemporel : $\max \int_0^\infty e^{-\rho t}(1-\sigma)^{-1}C^{1-\sigma}dt$ sous la contrainte $\dot{A} = \mu\left(\Omega^* AL - C\right)$. On en déduit la condition du premier ordre : $\dot{C}/C = \sigma^{-1}(\mu\Omega^* L - \rho)$. Il s'en déduit le taux de croissance optimal :

$$g^* = \sigma^{-1}\left[\mu\Omega^* L - \rho\right].$$

Ce taux se compare à $\widetilde{g}$. Sachant que $f(.)$ est concave, on sait que $(f'(\widetilde{k})-1)\widetilde{k} < \Omega^*$. Il s'en déduit que le taux de croissance optimal est toujours supérieur au taux de croissance d'équilibre.

Pour approcher l'économie décentralisée de la trajectoire optimale, le gouvernement subventionne au taux τ^* la production de biens intermédiaires, afin de faire correspondre k^* et $\widetilde{k}$. Dans le même temps, cela modifie le niveau de profit, et donc la rémunération des brevets. De ce fait, une intervention supplémentaire dans le secteur de RD peut s'avérer nécessaire, même en l'absence d'externalité.

2a) Dans le cas $\dot{A} = \mu A^\phi L_A, \phi < 1$, on a $\dot{A}/A = \mu A^{\phi-1}L_A$. Une croissance a taux constant des différentes grandeurs n'est possible que si $A^{\phi-1}L_A$ est constant. On doit donc avoir : $(\phi-1)g+n = 0$, avec g le taux de croissance de A et n le taux de croissance démographique. On en déduit ainsi que $g = n/(1-\phi)$. Sachant que $C = \widetilde{\Omega} AL_Y$, le taux de croissance de la consommation totale vaut à long-terme : $\dot{C}/C = g + n$. La consommation *par tête* ne croît qu'en présence de croissance démographique. C'est pourquoi on parle de croissance *semi-endogène.*

2b) Compte tenu de la technologie du secteur de R&D, le prix concurrentiel du brevet est $p_A = \widetilde{w}/(\mu A^\phi)$ avec $\widetilde{w} = A\left[f(\widetilde{k}) - \widetilde{k}f'(\widetilde{k})\right]$, le salaire. On a donc $p_A = A^{1-\phi}\left[f(\widetilde{k}) - \widetilde{k}f'(\widetilde{k})\right]/\mu$. Comparé au modèle présenté, l'expression du profit n'est pas modifiée. Sachant que $\widetilde{k}$ est constant, le prix du brevet augmente quand A croît. Il est nécessaire de tenir compte de cette plus-value dans la détermination du taux de rendement privé du brevet. En utilisant l'équation (4.7), on a ainsi :

$$\widetilde{r} = \mu\frac{(f'(\widetilde{k})-1)\widetilde{k}}{f(\widetilde{k}) - \widetilde{k}f'(\widetilde{k})}L_Y A^{\phi-1} + \frac{\dot{p_A}}{p_A}.$$

Le taux de plus-value $\dot{p_A}/p_A$ étant égal à $(1-\phi)\mu A^{\phi-1}L_A$, on en déduit que :

$$\widetilde{r} = \mu A^{\phi-1}\left[\pi L_Y + (1-\phi)L_A\right] = \mu A^{\phi-1}\left[(\pi+\phi-1)L_Y + L\right],$$

avec π définie dans l'équation (4.10). A long-terme, le taux de rendement est constant car $LA^{\phi-1}$ l'est.

La dynamique se caractérise comme suit. En intégrant la contrainte de ressources à l'équation d'accumulation des variétés, on a :

$$\dot{A} = \mu A^{\phi} L - \frac{\mu}{\tilde{\Omega}} A^{\phi-1} C.$$

Par ailleurs, dans le cas d'une croissance démographique au taux n, la condition de Keynes-Ramsey s'écrit : $\dot{C}/C = \sigma^{-1}(\tilde{r} - \rho) + n$. En reportant l'expression du taux de rendement dans cette équation, on en déduit :

$$\frac{\dot{C}}{C} = \sigma^{-1}\left[\mu A^{\phi-1}\left((\pi + \phi - 1)\frac{C}{\tilde{\Omega} A} + L\right) - \rho\right] + n.$$

On dispose ainsi d'un système différentiel décrivant l'évolution de A et C. On peut à partir de ce dernier caractériser entièrement la dynamique. On constate notamment que la transition vers le sentier de croissance régulière n'est pas instantanée. On se contente dans ce qui suit de caractériser le long-terme.

2c) A long-terme, la consommation par tête croît au taux $g = n/(1-\phi)$, qui est également celui des variétés A. En utilisant la condition de Keynes-Ramsey, on a donc : $n/(1-\phi) = \sigma^{-1}(\tilde{r} - \rho) = \mu A^{\phi} L(L_A/L)$. En utilisant l'expression du taux de rendement, on obtient, après quelques calculs, la proportion de travailleurs retenus dans les activités de R&D :

$$\frac{L_A}{L} = \frac{n(\pi + \phi)}{n(\pi + \phi + \sigma - 1) + \rho(1-\phi)}.$$

2c) Le long du sentier optimal, la loi d'évolution de A s'écrit :

$$\dot{A} = \mu A^{\phi} L - \frac{\mu}{\Omega^*} A^{\phi-1} C.$$

Le programme du planificateur consiste à maximiser l'utilité intertemporelle :

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} L(1-\sigma)^{-1}\left[\frac{C}{L}\right]^{1-\sigma} dt,$$

sous la loi d'évolution de A. Il se déduit la loi d'évolution :

$$\frac{\dot{C}}{C} = \sigma^{-1}\left[\mu A^{\phi-1}\left(L - (1-\phi)\frac{C}{\Omega^* A}\right) - \rho\right] + n.$$

On retrouve le même comportement de long-terme que dans le cas décentralisé : la croissance semi-endogène s'effectue au taux $g = n/(1-\phi)$. Comme dans la question précédente, on peut déterminer la proportion de travailleurs dans le secteur de R&D . On obtient :

$$\frac{L_A}{L} = \frac{n\phi}{n(\phi + \sigma - 1) + \rho(1-\phi)}.$$

En comparant cette expression à sa contrepartie décentralisée, on constate que l'économie décentralisée ne consacre pas suffisamment de ressources à la R&D. Cela tient à la présence de l'externalité. Dans ces conditions, une politique de subvention de la R&D se justifie.

Références

Aghion, P., and P. Howitt (1998) : *Endogenous Growth Theory.* The MIT Press.

Arrow, K. J. (1962) : "The Economic Implication of Learning by Doing," *Review of Economic Studies*, 29, 155–173.

Barro, R., and X. Sala-i Martin (1995) : *Economic Growth.* McGraw Hill, New York.

Basu, S., and D. Weil (1998) : "Appropriate Technology and Growth," *Quarterly Journal of Economics.*

Benhabib, J., and M. Spiegel (1994) : "The Role of Human Capital in Economic Development : Evidence from Aggregate Cross-Country Data," *Journal of Monetary Economics*, (34), 143–173.

Branstetter, L. (1998) : "Looking for International Knowledge Spillovers : a Review of the Literature with Suggestions for New Approaches," *Annales d'Economie et de Statistiques*, 49, 517–541.

Durlauf, S., and D. Quah (1998) : "The New Empirics of Economic Growth," Discussion Paper 384, CEP, Prpar pour le *Handbook of Macroeconomics.*

Eeckhout, J., and B. Jovanovic (1998) : "Inequality," Working paper, Univ. Pompeu Fabra.

Jones, C. I. (1995) : "R&D-Based Models of Economic Growth," *Journal of Political Economy*, 103, 759–784.

——— (1997) : *Introduction to Economic Growth.* Norton.

——— (1999) : "Growth : With or Without Scale Effects ?," *The American Economic Review*, 89(2), 139–144.

Jones, C. I., and J. C. Williams (1998) : "Measuring the Social Return to R&D," *The Quarterly Journal of Economics*, pp. 1119–1135.

Keely, L. C., and D. T. Quah (1998) : "Technology in growth," Discussion Paper 391, CEP.

Lucas, R. (1988) : "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, 22,1, 3–12.

Nelson, R., and E. Phelps (1966) : “Investment in Humans, Technological Diffusion and Economic Growth,” *American Economic Review*, (56), 69–79.

Parente, S., and E. Prescott (1994) : “Barriers to Technology Adoption and Development,” *Journal of Political Economy*, 102(2), 298–321.

Psacharopoulos, G., and M. Woodhall (1985) : *Education for Development : an Analysis of Investment Choice*. World Bank, Oxford U. Press, New York, Traduction Franaise chez Economica, Paris.

Romer, P. (1986) : “Increasing Returns and Long-Run Growth,” *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037.

——— (1990) : “Endogenous Technological Change,” *Journal of Political Economy*, 98(5), 71–102.

Slaughter, M. (1997) : “Per Capita Income Convergence and the Role of International Trade,” *American Economic Review*, pp. 194–199.

Tamura, R. (1991) : “Income Convergence in an Endogenous growth Model,” *Journal of Political Economy*, 99(3), 522–540.

Temple, J. (1999) : “The New Growth Evidence,” *Journal of Economic Literature*, 37(1), 112–156.

Uzawa, H. (1965) : “Optimal Technical Change in an Aggregative Model of Economic Growth,” *International Economic Review*, 6, 18–31.

Documents de recherche EPEE

2002

2001

01 - 11	**On the Woodford Reinterpretation of the Reichlin OLG Model : a Reconsideration** *Guido CAZZAVILLAN & Francesco MAGRIS*
01 - 12	**Mathematics for Economics** *Stefano BOSI*
01 - 13	**Real Business Cycles and the Animal Spirits Hypothesis in a Cash-in-Advance Economy** *Jean-Paul BARINCI & Arnaud CHERON*
01 - 14	**Privatization, International Asset Trade and Financial Markets** *Guillaume GIRMENS*
01 - 15	**Externalités liées dans leur réduction et recyclage** *Carole CHEVALLIER & Jean DE BEIR*
01 - 16	**Attitude towards Information and Non-Expected Utility Preferences : a Characterization by Choice Functions** *Marc-Arthur DIAYE & Jean-Max KOSKIEVIC*
01 - 17	**Fiscalité de l'épargne en Europe : une comparaison multi-produits** *Thierry LAURENT & Yannick L'HORTY*
01 - 18	**Why is French Equilibrium Unemployment so High : an Estimation of the WS-PS Model** *Yannick L'HORTY & Christophe RAULT*
01 - 19	**La critique du « système agricole » par Smith** *Daniel DIATKINE*
01 - 20	**Modèle à Anticipations Rationnelles de la COnjoncture Simulée : MARCOS** *Pascal JACQUINOT & Ferhat MIHOUBI*
01 - 21	**Qu'a-t-on appris sur le lien salaire-emploi ? De l'équilibre de sous emploi au chômage d'équilibre : la recherche des fondements microéconomiques de la rigidité des salaires** *Thierry LAURENT & Hélène ZAJDELA*
01 - 22	**Formation des salaires, ajustements de l'emploi et politique économique** *Thierry LAURENT*

2000

00 - 01	**Wealth Distribution and the Big Push** *Zoubir BENHAMOUCHE*
00 - 02	**Conspicuous Consumption** *Stefano BOSI*
00 - 03	**Cible d'inflation ou de niveau de prix : quelle option retenir pour la banque centrale dans un environnement « nouveau keynésien » ?** *Ludovic AUBERT*
00 - 04	**Soutien aux bas revenus, réforme du RMI et incitations à l'emploi : une mise en perspective** *Thierry LAURENT & Yannick L'HORTY*
00 - 05	**Growth and Inflation in a Monetary « Selling-Cost » Model**

Stefano BOSI & Michel GUILLARD

00 - 06 **Monetary Union : a Welfare Based Approach**
Martine CARRE & Fabrice COLLARD

00 - 07 **Nouvelle synthèse et politique monétaire**
Michel GUILLARD

00 - 08 **Neoclassical Convergence versus Technological Catch-Up : a Contribution for Reaching a Consensus**
Alain DESDOIGTS

00 - 09 **L'impact des signaux de politique monétaire sur la volatilité intrajournalière du taux de change deutschemark - dollar**
Aurélie BOUBEL, Sébastien LAURENT & Christelle LECOURT

00 - 10 **A Note on Growth Cycles**
Stefano BOSI, Matthieu CAILLAT & Matthieu LEPELLEY

00 - 11 **Growth Cycles**
Stefano BOSI

00 - 12 **Règles monétaires et prévisions d'inflation en économie ouverte**
Michel BOUTILLIER, Michel GUILLARD & Auguste MPACKO PRISO

00 - 13 **Long-Run Volatility Dependencies in Intraday Data and Mixture of Normal Distributions**
Aurélie BOUBEL & Sébastien LAURENT

1999

99 - 01 **Liquidity Constraint, Increasing Returns and Endogenous Fluctuations**
Stefano BOSI & Francesco MAGRIS

99 - 02 **Le temps partiel dans la perspective des 35 heures**
Yannick L'HORTY & Bénédicte GALTIER

99 - 03 **Les causes du chômage en France : Une ré-estimation du modèle WS - PS**
Yannick L'HORTY & Christophe RAULT

99 - 04 **Transaction Costs and Fluctuations in Endogenous Growth**
Stefano BOSI

99 - 05 **La monnaie dans les modèles de choix intertemporels : quelques résultats d'équivalences fonctionnelles**
Michel GUILLARD

99 - 06 **Cash-in-Advance, Capital, and Indeterminacy**
Gaetano BLOISE, Stefano BOSI & Francesco MAGRIS

99 - 07 **Sunspots, Money and Capital**
Gaetano BLOISE, Stefano BOSI & Francesco MAGRIS

99 - 08 **Inter-Juridictional Tax Competition in a Federal System of Overlapping Revenue Maximizing Governments**
Laurent FLOCHEL & Thierry MADIES

99 - 09 **Economic Integration and Long-Run Persistence of the GNP Distribution**
Jérôme GLACHANT & Charles VELLUTINI

99 - 10 **Macroéconomie approfondie : croissance endogène**
Jérôme GLACHANT

99 - 11 **Growth, Inflation and Indeterminacy in a Monetary « Selling-Cost » Model**
Stefano BOSI & Michel GUILLARD

99 - 12 **Règles monétaires, « ciblage » des prévisions et (in)stabilité de l'équilibre macroéconomique**
Michel GUILLARD

99 - 13 **Educating Children : a Look at Household Behaviour in Côte d'Ivoire**
Philippe DE VREYER, Sylvie LAMBERT & Thierry MAGNAC

99 - 14 **The Permanent Effects of Labour Market Entry in Times of High Aggregate Unemployment**
Philippe DE VREYER, Richard LAYTE, Azhar HUSSAIN & Maarten WOLBERS

99 - 15 **Allocating and Funding Universal Service Obligations in a Competitive Network Market**
Philippe CHONE, Laurent FLOCHEL & Anne PERROT

99 - 16 **Intégration économique et convergence des revenus dans le modèle néo-classique**
Jérôme GLACHANT & Charles VELLUTINI

99 - 17 **Convergence des productivités européennes : réconcilier deux approches de la convergence**
Stéphane ADJEMIAN

99 - 18 **Endogenous Business Cycles : Capital-Labor Substitution and Liquidity Constraint**
Stefano BOSI & Francesco MAGRIS

99 - 19 **Structure productive et procyclicité de la productivité**
Zoubir BENHAMOUCHE

99 - 20 **Intraday Exchange Rate Dynamics and Monetary Policy**
Aurélie BOUBEL & Richard TOPOL

1998

98 - 01 **Croissance, inflation et bulles**
Michel GUILLARD

98 - 02 **Patterns of Economic Development and the Formation of Clubs**
Alain DESDOIGTS

98 - 03 **Is There Enough RD Spending ? A Reexamination of Romer's (1990) Model**
Jérôme GLACHANT

98 - 04 **Spécialisation internationale et intégration régionale. L'Argentine et le Mercosur**
Carlos WINOGRAD

98 - 05 **Emploi, salaire et coordination des activités**
Thierry LAURENT & Hélène ZAJDELA

98 - 06 **Interconnexion de réseaux et charge d'accès : une analyse stratégique**
Laurent FLOCHEL

98 - 07 **Coût unitaires et estimation d'un système de demande de travail : théorie et application au cas de Taiwan**
Philippe DE VREYER

98 - 08 **Private Information :**
an Argument for a Fixed Exchange Rate System
Ludovic AUBERT & Daniel LASKAR

98 - 09 **Le chômage d'équilibre. De quoi parlons nous ?**
Yannick L'HORTY & Florence THIBAULT

98 - 10 **Deux études sur le RMI**
Yannick L'HORTY & Antoine PARENT

98 - 11 **Substituabilité des hommes aux heures et ralentissement de la productivité ?**
Yannick L'HORTY & Chistophe RAULT

98 - 12 **De l'équilibre de sous emploi au chômage d'équilibre :**
la recherche des fondements microéconomiques de la rigidité des salaires
Thierry LAURENT & Hélène ZAJDELA