

Michał Burzyński

Université catholique de Louvain à Louvain-la-Neuve

Université des Sciences Economiques et de Gestion de Poznań

Krzysztof Malaga

Université des Sciences Economiques et de Gestion de Poznań

Auteur correspondant : Krzysztof Malaga, krzysztof.malaga@ue.poznan.pl

**LE MODELE DE CROISSANCE NEO-
-SCHUMPETERIEN AVEC LE MARCHÉ
DES CAPITAUX**

Résumé: Le but de cet article¹ consiste à répondre aux quatre questions : est-ce qu'il existe un équilibre dynamique entre la sphère nominale (marché des capitaux) et la sphère réelle (production, innovations, progrès technologique) de l'économie ? Comment l'échéance et la liquidité du marché des capitaux influencent-elles la croissance économique à long terme ? Quel est l'impact de l'aversion au risque des investisseurs sur le processus de l'innovation ? Comment la volatilité sur le marché des capitaux influence la croissance économique à long terme ?

Pour répondre à ces questions on a construit le modèle de croissance avec marché des capitaux qui est l'extension du modèle d'Aghion et Howitt [2009], appartenant aux modèles néo-schumpeteriens. C'est un modèle de croissance endogène dans lequel le taux de croissance dépend du progrès technologique, qui est la conséquence des innovations mises en oeuvre dans l'économie d'une manière aléatoire. A partir de ce modèle, avec l'application des méthodes de calibration des paramètres, on a fait les simulations Monte Carlo de la dynamique de l'économie décrite par le modèle au niveau microéconomique et macroéconomique.

¹ La première version de cet article a été discuté au cours du 57-ème Congrès de l'AIELE, *Refondation financière, sorties de la crise et nouvelles stratégies de croissance économique*, Université de Zagreb, Opatija, 23–25.05.2011. La deuxième version a été publié en polonais [Burzyński et Malaga 2011].

Mots Clé : croissance économique, modèles néo-schumpeteriens, destruction créative, innovations, progrès technologique, diffusion de la technologie, marché des capitaux, marchés des biens intermédiaires et finaux, secteur de R&D, gouvernement.

JEL Classification : G4, E6.

THE NEO-SCHUMPETERIAN GROWTH MODEL WITH THE CAPITAL MARKET

Abstract: The purpose of this article is to answer the four questions: what is the dynamic equilibrium between the nominal sphere (capital market) and the real sphere (production, innovation, technological progress) of the economy? How do the maturity and liquidity of the capital market influence long-term growth? What is the impact of the relative risk aversion of investors on the process of innovation? How does long-term volatility in the capital market influences economic growth?

To answer these questions we have built the model of growth of the the capital market. It extends the Aghion and Howitt model [2009], which belongs to the group of neo-Schumpeterian models. It is an endogenous growth model in which the rate of growth depends on technological progress that results from innovations implemented in the economy in a random manner. Based on that model, after calibration of its parameters, we have presented the results of the application of the Monte Carlo method to the simulation of an economy's dynamics on both microeconomic and macroeconomic levels.

Keywords: economic growth, neo-Schumpeterian models, creative destruction, innovation, technological development, diffusion of technology, capital markets, markets for intermediate and final goods, R&D sector, government.

Introduction

Un des problèmes clé dans la théorie contemporaine de la croissance économique est la recherche de la réponse à la question sur les conditions d'existence de l'équilibre dynamique entre les sphères réelle et nominale de l'économie. Par la sphère réelle de l'économie on comprend tous les processus dont l'essence et les effets concernent les aspects matériels. Tandis que par la sphère nominale de l'économie on comprend les processus, qui sont liés à l'existence des marchés financiers et des capitaux – Malaga [2011].

L'impact du marché des capitaux sur la croissance économique à long terme est envisagé dans le cadres de trois domaines thématiques: impact de l'échéance et de liquidité du marché des capitaux sur la croissance économique, implication de la volatilité pour le marché des capitaux, croissance économique et les coûts d'acquisition du capital financier par les entreprises et le rôle de l'intégration internationale des marchés des capitaux dans la croissance et le développement économique ainsi que pour la stabilité financière à l'échelle mondiale.

Les conclusions qui suivent de nombreuses recherches empiriques en ce domaine et qui sont réalisées avec l'application des différents modèles et méthodes économétriques ne sont pas claires. Par exemple, Beck, Levine et Loayza [2000] et Beck et Levine [2004], à la base de la recherche sur les différents pays et périodes, ont déclaré que le marché des capitaux à l'état de maturité stimule l'accumulation du capital physique et les investissements dans le secteur R&D. Ils constatent aussi qu'il existe une corrélation positive entre les variables qui décrivent le marché des capitaux en maturité et le PIB par tête. D'autre part, Arestis et Demetriades [1997, 2001] affirment qu'à cause d'une grande complexité des processus analysés il est impossible à formuler les conclusions générales sur les relations entre les marchés des capitaux et le PIB par tête. Enfin, Stiglitz [2000], préconise que la libéralisation des marchés financiers, de plus en plus grande, génère l'instabilité dans l'économie mondiale, ce qui n'est pas propice pour la croissance économique à long terme.

Ces opinions sur les relations entre la sphère réelle et la sphère nominale de l'économie qui sont tellement divers nous ont incités à la recherche des instruments d'analyse qui soient appropriés pour prendre en compte les caractéristiques importantes des processus économiques contemporains et pour trouver les résultats intéressants et non négligeables.

À notre avis on peut les trouver parmi les modèles de croissance connus comme les modèles de croissance endogène dits néo-schumpeteriens. La plupart de ces modèles est l'extension du modèle de référence d'Aghion et Howitt [1992], qui a initié cette classe des modèles.

Dans cet article nous avons décrit et mis en oeuvre le modèle de croissance économique avec marché des capitaux qui est l'extention du modèle d'Aghion et Howitt [2009]².

² Plus précisément dans la construction du modèle nous avons utilisé les résultats présentés dans les travaux: Aghion, Howitt et Mayer-Foulkes [2004], Aghion et Banerjee [2005] et Aghion et Howitt [2009].

1. La structure du modèle

2.1 Les hypothèses de base

Dans l'économie il y a deux types des agents économiques: entrepreneurs (en même temps consommateurs) qui sont responsables de l'organisation de la sphère de production et gouvernement qui est responsable de l'émission des obligations libres du risque. La dynamique de l'économie dépend surtout des décisions prises par les entrepreneurs.

Dans l'économie il y a un secteur qui produit les biens finaux et un autre secteur qui produit les biens intermédiaires. Dans chacun de ces secteurs il y a l'ensemble dénombrable des entreprises. Nous ne faisons pas la distinction entre le consommateur et l'entrepreneur, parce qu'à l'extrême, le consommateur qui est le travailleur est considéré par nous comme le sous-traitant d'une entreprise. Dans d'autres cas, le consommateur est traité comme le possesseur unique ou partiel d'une entreprise.

2.2. La production finale

Pour produire l'unité du bien final il faut user l'unité du bien intermédiaire et une quantité du stock de la main d'oeuvre. La production est réalisée pour un niveau de la technologie donné. Au niveau microéconomique, le processus de production des biens finaux qui sont homogènes, est décrit par la fonction de production néoclassique³ :

$$Y_t = \left(L_1 A_{t,i} \right)^{1-\alpha} x_{t,i}^\alpha. \quad (1)$$

Nous admettons que le stock de la main d'oeuvre est normalisé et égale à 1. Tandis que le coefficient d'élasticité de la production finale par rapport à l'input de la production intermédiaire $\alpha \in (0,1)$.

Les entreprises du secteur de production finale fonctionnent dans les conditions de la concurrence pure et parfaite, avec le prix du bien final qui est fixé par le marché avec les gains égaux à zero. Alors ce secteur est seulement envisagé au niveau macroéconomique et sa dynamique n'a pas d'impact sur d'autres secteurs de l'économie.

³ La fonction de production est néoclassique si elle est croissante, concave, différentiable, aux rendements d'échelle constants et remplit les conditions d'Inada.

2.3. La production intermédiaire

Contrairement au secteur de production finale, les entreprises du secteur des biens intermédiaires sont intéressées par la maximisation du gain d'activité économique, sous l'accès limité à l'information concernant toute l'économie. Autrement dit, les entreprises maximisent les flux des gains obtenus au cours de périodes du choix des décisions dans les circonstances où elles ne connaissent pas des activités de leurs concurrents. Nous admettons donc que les décisions concernant l'usage des facteurs de production soit dans la production soit dans l'activité de R&D, ne concernent qu'une période.

Les entreprises ont deux sources des revenus: la production comme l'activité principale et le placement des investissements. La production est réalisée dans les conditions de la concurrence imparfaite sur le marché des produits intermédiaires. Le prix du bien intermédiaire p_t est donc égal à sa productivité marginale⁴:

$$p_t = \frac{dY_t}{dx_t} = \alpha (L_1 \bar{A}_t)^{1-\alpha} x_t^{\alpha-1}. \quad (2)$$

Proposition 1

- L'équation du prix du bien intermédiaire (2) décrit la fonction inverse par rapport à la fonction de la demande sur les produits intermédiaires $p_t = g(x_t)$ du côté des producteurs du produit final.
- Le prix du bien intermédiaire augmente (*ceteris paribus*) avec l'augmentation du niveau de la technologie de production.
- Le prix du bien intermédiaire baisse (*ceteris paribus*) avec l'augmentation de l'offre du produit intermédiaire et du niveau de la technologie de production.

Démonstration

- De l'équation (1) suit que la fonction de la demande est la fonction de prix du bien intermédiaire:

$$x_t = L_1 \bar{A}_t \left(\frac{p_t}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} = L_1 \bar{A}_t \left(\frac{\alpha}{p_t} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = f(p_t). \quad (3)$$

Parce qu'elle est strictement croissante et continue sur l'intervale $(0, +\infty)$, alors il existe une fonction inversée par rapport à elle. Puisque

⁴ La fonction (2) est la fonction inverse par rapport rapport à la fonction de la demande sur les produits intermédiaires.

$\frac{dx_t}{dp_t} = \left(\frac{1}{\alpha - 1} \right) L_1 \bar{A}_t \alpha^{\frac{1}{1-\alpha}} p_t^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} < 0$, pour $\alpha \in (0;1)$, alors $x_t = f(p_t)$ décrit la fonction de la demande du bien intermédiaire. En conséquence, il existe la fonction: $p_t = g(x_t)$, qui est la fonction inverse par rapport à la fonction de la demande du bien intermédiaire.

b) De l'équation (2) suit que: $\frac{dp_t}{dA_t} = \frac{\alpha(1-\alpha)}{\bar{A}_t^\alpha} \left(\frac{L_1}{x_t} \right)^{1-\alpha} > 0$, ce que signifie que l'accroissement du niveau moyen de la technologie conduit à l'augmentation des prix sur le marché des biens intermédiaire, parce que leur productivité augmente.

c) c) De l'équation (3) et en sachant que $x_t = f(p_t)$ est la fonction différentielle dans chaque point $p_t \in (0, +\infty)$ et du théorème sur la fonction inverse il suit qu'il existe une dérivée de la fonction $p_t = g(x_t)$, telle que: $\frac{dp_t}{dx_t} = \left(\frac{dx_t}{dp_t} \right)^{-1} < 0$.

Chaque entreprise dans le secteur des biens intermédiaires maximise le gain de son activité sous l'hypothèse que son accès aux informations sur les activités des concurrents est limité. Le gain de l'entreprise i dépend de prix du bien intermédiaire et du coût unitaire de sa production. Il est réduit par le taux d'impôts sur le revenu τ .

$$\Pi_{t,i} = (p_t - c_{t,i}) x_{t,i} (1 - \tau). \quad (4)$$

Dans la suite nous allons raisonner en termes de l'entreprise représentative du bien intermédiaire⁵. Le coût unitaire de production du bien intermédiaire par rapport à son prix dépend du niveau de la technologie dans l'entreprise par rapport au niveau moyen de la technologie de production en économie. Alors pour le niveau de technologie plus haut dans l'entreprise nous aurons le coût de production de biens intermédiaires plus bas et les gains attendus plus hauts:

$$\frac{c_t}{p_t} = \frac{\bar{A}_t}{A_t}. \quad (5)$$

et:

$$c_t > p_t \quad \text{si} \quad A_t < \bar{A}_t, \quad (6)$$

⁵ En conséquence dans la suite nous allons omettre l'indice de l'entreprise i .

$$c_t > p_t \quad \text{si} \quad A_t < \bar{A}_t. \quad (7)$$

C'est-à-dire que l'entreprise génère les bénéfices si le niveau de la technologie dans l'entreprise est plus haut que le niveau moyen dans l'économie. En plus, la mise en oeuvre de l'innovation par une entreprise conduit cette entreprise à la position du leader technologique et augmente le niveau moyen de la technologie en économie. En ce qui concerne les autres entreprises, sous l'hypothèse que leur technologie reste inchangée, elles perdent leur rentabilité, ce qui conduit au déplacement des concurrents sur le marché.

L'entreprise ne dispose pas des informations, en provenance du marché, qui concernent le prix p_t et le coût unitaire de production c_t . Elle prévoit le prix p_t par rapport à l'état de sa technologie de production A_t . Parce que le bien final joue le rôle d'input dans la production du bien intermédiaire, dans la relation 1 : 1, alors le coût unitaire de production $c_t = 1$. Ce qui est équivalent au cas où le niveau de technologie sur le marché est égal à la relation entre A_t et la productivité marginale x_t . Dans ce cas-là l'entreprise doit résoudre le problème de maximisation du gain:

$$\frac{d\Pi_t}{dx_t} = 0, \quad (8)$$

sous contrainte:

$$c_t = 1, p_t = \alpha A_t^{1-\alpha} x_t^{\alpha-1}, \quad (9)$$

dont la solution est:

$$x_t^* = A_t \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}. \quad (10)$$

Proposition 2

Si la production de chaque entreprise est décrite par la fonction de production (10), alors la somme de production finale agrégée dans l'économie est égale à:

$$Y_t = (L_1 \bar{A}_t)^{1-\alpha} x_t^\alpha. \quad (11)$$

Démonstration

Prenons la somme de la production des toutes n entreprises dans le secteur de la production finale. Alors nous recevrons:

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n Y_{t,i} &= \sum_{i=1}^n (L_1 A_{t,i})^{1-\alpha} (x_{t,i}^*)^\alpha = \sum_{i=1}^n (L_1 A_{t,i})^{1-\alpha} \left(\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{t,i} \right)^\alpha = \\
&= \sum_{i=1}^n A_{t,i} \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} n \bar{A}_t = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} n (\bar{A}_t)^{1-\alpha} (\bar{A}_t)^\alpha = \\
&= (L_1 \bar{A}_t)^{1-\alpha} \sum_{i=1}^n \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} (\bar{A}_t)^\alpha = (L_1 \bar{A}_t)^{1-\alpha} \sum_{i=1}^n \left(\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \bar{A}_t \right)^\alpha = \\
&= (L_1 \bar{A}_t)^{1-\alpha} \sum_{i=1}^n x_{t,i}^\alpha = (L_1 \bar{A}_t)^{1-\alpha} x_t^\alpha, \tag{12}
\end{aligned}$$

où⁶
$$x_t = \left(\sum_{i=1}^n x_{t,i}^\alpha \right)^{1/\alpha}.$$

1.4. La technologie de production

La variable principale qui caractérise chaque entreprise est le niveau de la technologie qui reste à sa disposition. La valeur A_t décide de l'avantage concurrentiel dans la production. D'autre part, la dominance permet d'obtenir les gains extraordinaires. Dans une période entreprise cherche à augmenter le plus possible le niveau de sa technologie de production, ce qui a un impact direct sur le résultat financier de son activité. Dans le modèle il y a deux possibilités d'augmenter le niveau de technologie: par la mise en oeuvre de l'innovation individuelle ou bien par imitation des concurrents.

L'augmentation rapide du niveau de technologie est la conséquence de la mise en oeuvre efficace de l'innovation. Pour augmenter la probabilité d'introduction d'une nouvelle technologie de production, entreprise dépense les moyens financiers dans le secteur R&D, qui génère les flux aléatoires des innovations. Néanmoins, la mise en oeuvre efficace de l'innovation exige des dépenses extraordinaires, liées avec la mise en oeuvre d'une nouvelle technologie qui a été élaborée. Les sources du financement courant des travaux dans le secteur R&D constituent la part des bénéfices non répartis par les entreprises, pour lesquelles le coût du capital est égal à zero. Les dépenses extraordinaires, qui sont imprévisibles, doivent être couvertes par le marché des capitaux sur lequel le coût du capital est lié à la prime de risque de l'investissement.

⁶ Le nombre des entreprises on normalise à 1. Elles sont indexées sur l'intervalle [0;1].

La deuxième possibilité consiste en l'application des stocks du secteur de R&D pour imiter la technologie possédée par les concurrents. Ce processus est modélisé par la diffusion de la technologie, qui dépend de la relation entre les inputs dans le secteur R&D et les dépenses extraordinaires pour la mise en oeuvre de l'innovation. Un élément important qui stimule la vitesse d'acquisition de la nouvelle technologie est le retard technologique relatif de l'entreprise. Le paramètre de diffusion de la technologie est défini comme:

$$\sigma_t = \frac{R_t}{B_t}(1 - a_t). \quad (13)$$

où: $a_t = \frac{A_t}{A_t^*}$ signifie le niveau relative de la technologie dans une entreprise par rapport au niveau maximal de la technologie en économie (*technological gap*).

Le niveau de la technologie au moment du temps t est décrit comme :

$$A_t = \begin{cases} (1 + \sigma_t) A_{t-1} \\ A_t^* = \gamma_t A_{t-1}^* \end{cases} \quad \text{si} \quad \Pr \left\{ A_t = \sigma_t (A_{t-1}^* - A_{t-1}) \right\} = 1 - \mu_t, \quad (14)$$

$$\Pr \left\{ A_t = A_t^* \right\} = \mu_t,$$

où : μ_t – la probabilité de la mise en oeuvre efficace de l'innovation, et γ_t – l'indice de la croissance frontalière du niveau de la technologie, en cas de mise en oeuvre efficace de l'innovation.

Parce que les changements de la technologie à l'avenir sont imprévisibles, alors on a fait l'hypothèse que le taux d'accroissement du niveau de la technologie $\gamma_t - 1$ est décrit par la variable aléatoire, qui a la loi exponentielle, avec le paramètre ρ . Conformément aux propriétés de cette loi nous avons:

$$E(\gamma_t) = 1/\rho + 1. \quad (15)$$

Le choix de la loi exponentielle pour la variable aléatoire $\gamma_t - 1$ est justifié par ça, que la probabilité de la mise en oeuvre de l'innovation baisse avec sa grandeur mesurée par la valeur de la variable $\gamma_t - 1$. Alors, plus probables sont les changements proches de zero, et moins probables sont ces, qui sont plus grandes.

Proposition 3

Pour définir l'évolution de la technologie, les entreprises sont toujours plus intéressées par la mise en oeuvre de l'innovation que par la diffusion de la technologie.

Démonstration

Le bénéfice plus grand de la mise en oeuvre de l'innovation signifie que l'accroissement de la technologie dans le cas de l'innovation est plus grand que dans le cas de la diffusion de la technologie :

$$\begin{aligned}
 (1 + \sigma_t) A_{t-1} &< \gamma A_{t-1}^*, \\
 (1 + \sigma_t) a_{t-1} &< \gamma, \\
 (1 + b(1 - a))a &< \gamma \quad \text{pour} \quad b = R_t / B_t, \\
 b(1 - a) &< \frac{\gamma}{a} - 1, \\
 b &< \frac{\gamma - a}{a(1 - a)}, \\
 \frac{R_t}{B_t} \leq 4(\gamma - a) &\Rightarrow \frac{R_t}{B_t} < \frac{\gamma - a}{a(1 - a)}. \tag{16}
 \end{aligned}$$

Conformément aux règles de calibration, que nous avons choisies dans ce modèle, les conditions (16) sont remplies. Néanmoins, il faut souligner que la valeur des investissements R_p pour laquelle l'activité de l'innovation est encore rentable, est plus grande pour les pays dans lesquels le niveau d'avancement de la technologie est le plus bas (faible valeur de a) et pour les pays qui sont très proches de la frontière technologique (a est proche à 1). Alors pour une certaine valeur frontière de R_p , dans les pays dont le niveau de développement est moyen, la mise en oeuvre des innovations est moins rentable que la diffusion de la technologie. La situation inverse existe dans les pays les plus faibles et les plus forts du point de vue du niveau de la technologie.

1.5. Le secteur de R&D

Les centres de recherche, qui créent le secteur de R&D, jouent le rôle très important dans l'économie parce que grâce à eux il est possible d'augmenter l'efficacité des inputs qui sont limités. Ce secteur génère les flux des innovations d'une manière aléatoire. Il reçoit à l'entrée le stock du capital du côté des entreprises. Alors il est responsable de l'incertitude qui existe dans l'activité de toutes entreprises et du gouvernement.

Il faut souligner que les investissements dans le secteur R&D ont le caractère des inputs qui sont portés par les entreprises dans chaque période. Les entreprises orientées vers la suprématie technologique augmentent leurs possibilités pour la mise en oeuvre les innovations d'une manière

efficace. Elles sont obligées de destiner une partie de leurs moyens financiers au secteur R&D, en attendant l'augmentation des gains à l'avenir. En conséquence il y a une baisse d'engagement de ces moyens dans la sphère de production, qui réduit le volume actuel des biens intermédiaires et sur le marché des capitaux.

Dans le modèle on a admis que le niveau de la technologie augmente au cours du temps et qu'avec l'augmentation du niveau de la technologie les processus de production deviennent de plus en plus efficaces. Le secteur R&D réagit dans ce processus de la même manière. Le maintien de l'efficacité de ce secteur avec le progrès technologique en hausse devient de plus en plus difficile.

Si le niveau de la technologie en économie augmente vers A_t^* , alors il est de plus en plus difficile à générer l'innovation quand les dépenses sur le secteur R&D restent au niveau inchangé. C'est pourquoi nous admettons que la probabilité de la mise en oeuvre efficace de l'innovation est égale à:

$$\mu_t = \lambda \left(R_t \frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^\xi. \quad (17)$$

Le paramètre ξ signifie l'élasticité de génération des innovations par rapport aux dépenses courantes dans le secteur R&D, corrigées par l'impact du progrès technologique. Le paramètre λ signifie le facteur de graduation. Alors pour maintenir ou augmenter la probabilité d'existence de l'innovation, les entreprises sont obligées à augmenter leurs dépenses dans le secteur de R&D, d'une période à l'autre.

La variable qui décrit l'engagement des entreprises dans les travaux R&D est le niveau de dépenses courantes R_t dans le secteur de R&D. Ces dépenses sont cette partie des gains retenus par les entreprises Π_t^o , qui décide de la valeur et de l'état financier de l'entreprise. Chaque entreprise prend la décision concernant la grandeur des dépenses financières dans le secteur de R&D d'une manière individuelle mais elle attend la maximisation des bénéfices liés avec les travaux de R&D:

$$\max_{R_t} \left\{ \mu_t \Pi_t^{**} - R_t \right\}. \quad (18)$$

Proposition 4

La condition nécessaire et suffisante pour que les bénéfices net de la mise en oeuvre de l'innovation soient positives: $\mu_t \Pi_t^{**} - R_t > 0$ prend le forme:

$$R_t < \left(\lambda \Pi_t^{**} \right)^{\frac{1}{1-\xi}} \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\frac{\xi}{1-\xi}}. \quad (19)$$

Démonstration

Remarquons, que:

$$\mu_t \Pi_t^{**} - R_t > 0 \Leftrightarrow \lambda \left(R_t \frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\xi} \Pi_t^{**} - R_t > 0 \Leftrightarrow \lambda R_t^{\xi-1} \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\xi} \Pi_t^{**} > 1.$$

D'où:

$$R_t^{\xi-1} > \left(\lambda \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\xi} \Pi_t^{**} \right)^{-1} \Leftrightarrow \frac{1}{R_t^{1-\xi}} > \frac{1}{\lambda \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\xi} \Pi_t^{**}} \Leftrightarrow R_t < \left(\lambda \Pi_t^{**} \right)^{\frac{1}{1-\xi}} \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\frac{\xi}{1-\xi}}.$$

Le gain extraordinaire et espéré de la production des biens intermédiaires, après la mise en oeuvre de l'innovation, est égal à la différence entre les gains possibles à obtenir avec la plus nouvelle technologie et la technologie actuelle:

$$\begin{aligned} \Pi_t^* &= (1-\tau) \left[\Pi(A_{t+1}^*) - \Pi(A_{t+1}) \right] = (1-\tau) \left[p_t x_t \overline{A_t} \left(\frac{1}{A_{t+1}} - \frac{1}{A_{t+1}^*} \right) \right] \\ \Pi_t^* &= (1-\tau) \left[p_t x_t \overline{A_t} \left(\frac{1}{(1+\sigma)A_{t-1}} - \frac{\rho}{A_t^*(1+\rho)} \right) \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

Proposition 5

$$\forall t \quad \Pi_t^* > 0. \quad (21)$$

Démonstration

De la proposition 4 suit immédiatement que:

$$\Pi(A_{t+1}^*) > \Pi(A_{t+1}), \text{ donc } \frac{1}{\Pi(A_{t+1})} - \frac{1}{\Pi(A_{t+1}^*)} > 0, \text{ et: } \Pi_t^* > 0. \quad (22)$$

L'opérateur de la valeur espérée $E(\cdot)$ souligne, que le niveau maximal de la technologie à l'avenir est la variable aléatoire. Il est naturel que les entreprises et le gouvernement attendent que la technologie maximale augmente exactement de $E(\gamma)$:

$$E\left(A_{t+1}^*\right)=E\left(\gamma_{t+1} A_t^*\right)=A_t^* E\left(\gamma_{t+1}\right)=A_t^*\left(1+\frac{1}{\rho}\right). \quad (23)$$

Les bénéfices attendus sont égaux aux gains attendus Π_t^* , réduits de dépenses extraordinaires, qui sont la conséquence de l'implementation de la technologie, qui a été élaborée. Ces coûts sont décrits par le symbole B_t . Ils sont interprétés comme la somme que l'entreprise veut emprunter sur le marché des capitaux (par exemple par l'émission des obligations corporatives). Enfin nous avons, que:

$$\Pi_t^{**} = \Pi_t^* - B_t (1 + r_p) + G_t^*, \quad (24)$$

où : r_p – le risque d'insolvabilité de l'entreprise, G_t^* – la dotation sans retour de l'état pour l'innovateur efficace⁷.

Proposition 6

$$\forall t \quad \Pi_t^{**} > 0. \quad (25)$$

Démonstration

Admettons que $B_t = k^* \Pi_t^*$ décrit la dépense extraordinaire nécessaire pour la mise en oeuvre l'innovation, et $s_t = \frac{G_t^*}{\Pi_t^*}$ designe la relation entre les dotations gouvernementales et les gains brutes. Dans ce cas-là nous avons:

$$\begin{aligned} \Pi_t^{**} > 0 &\Leftrightarrow \Pi_t^* - B_t (1 + r_p) + G_t^* > 0 \Leftrightarrow \Pi_t^* + G_t^* > B_t (1 + r_p) \Leftrightarrow \\ \Pi_t^* + G_t^* &> k^* \Pi_t^* (1 + r_p) \Leftrightarrow 1 + s_t > k^* (1 + r_p) \Leftrightarrow s_t > k^* (1 + r_p) - 1. \end{aligned}$$

Parce que par hypothèse, $G_t^* \geq 0$, alors il suffit de démontrer que: $k^* (1 + r_p) - 1 < 0$.

Conformément aux règles de calibration que nous avons choisi: $k^* \approx 0,4$ et $r_p \approx 0,05$, cette l'inégalité est vérifiée.

Dans la solution du problème (17) par rapport à R_t nous obtenons que la grandeur des investissements dans le secteur de R&D, qui maximise les bénéfices nets, est égale à:

$$R_t^* = A_t^* \left(\frac{\xi \lambda \Pi_t^{**}}{A_t^*} \right)^{\frac{1}{1-\xi}} = \left(A_t^* \right)^{\frac{\xi}{\xi-1}} \left(\xi \lambda \Pi_t^{**} \right)^{\frac{1}{1-\xi}}. \quad (26)$$

⁷ Voir les règles du fonctionnement du secteur qui appartient au gouvernement (p. 14).

Le niveau optimal des dépenses courantes dans le secteur de R&D dépend directement du niveau frontalier de la technologie et du gain attendu après la mise en oeuvre de l'innovation (alors indirectement des dotations gouvernementales).

Dans ce modèle le secteur de R&D joue le rôle important pour les processus de production à l'avenir. Sa tâche principale consiste à la création des processus de production de plus en plus efficaces pour les entreprises. En conséquence, ils existent deux principaux processus, qui influencent la croissance de la production à long terme: les innovations violentes et inattendues et la diffusion attendue et progressive de la technologie. Néanmoins, il faut souligner que le stimulant pour l'implémentation de l'innovation reste le capital emprunté sur le marché des capitaux, qui augmente le risque d'activité.

1.6. Le marché des capitaux

La source principale du financement de l'activité courante d'une entreprise sur le marché de R&D est le stock du capital propre, qui est constitué par les gains retenus par entreprise dans les années précédentes. Le coût de ce capital est égal à zéro (à condition que les actionnaires n'attendent pas de dividendes). En plus, le risque du côté du crédit n'existe pas (les capitaux propres n'ont pas le caractère d'engagements). L'entreprise qui cherche à minimiser le risque de l'activité courante est intéressée par utilisation des ressources des gains retenus comme la source des dépenses dans le secteur de R&D. Ce système du financement est très favorable pour les innovateurs, qui ont l'accès aux gains retenus. En conséquence les bénéfices plus grands de production des biens concurrentiels facilitent le développement dynamique vers les nouvelles technologies de l'avenir.

Dans le cas où les dépenses dans le secteur R&D seront remboursées sous forme d'élaboration de la technologie innovante de la production, il faut mettre en oeuvre d'une manière efficace cette innovation dans le processus effectif de la production, qui permet la réduction des coûts et l'augmentation de la qualité des produits. Ce processus se déroule sous forme des investissements dans les nouvelles technologies de production à long terme.

Ce type de dépenses extraordinaires est plus grand que les dépenses courantes dans la R&D. C'est pourquoi l'entreprise est obligée à trouver de nouvelles sources de financement. Elle doit s'emprunter sur le marché des capitaux sous forme de l'émission des obligations corporatives.

La valeur de l'entreprise dépend de la somme des gains retenus Π_t^* (le capital propre), qui restent à sa disposition. La plupart de ces moyens est destinée au financement de l'activité courante: achat des facteurs de production, maintien

de réserves des matières premières et des semi-produits ainsi que l'activité opérationnelle courante. Une partie de ce capital est destinée aux investissements dans le secteur R&D. L'autre partie est destinée sur les investissements dans le marché des capitaux. Alors les entreprises sont aussi les joueurs sur le marché des capitaux.

Admettons que le marché des capitaux est composé seulement du marché des obligations gouvernementales et privées. Dans chaque période l'entreprise prend la décision de savoir quelle partie de ses ressources elle veut destiner aux obligations gouvernementales (sans le risque), et quelle partie aux obligations privées (avec le risque). En prenant en compte que les décisions des investissements par les entreprises sont très subjectives, alors pour la description de la construction du portefeuille des titres on a choisi la variable aléatoire. On a pris l'hypothèse que cette structure est identique dans toutes entreprises. La part des titres avec un risque r dans le portefeuille est la variable aléatoire, qui a la loi uniforme $r \sim (0, \theta)$, où le paramètre $0 < \theta < 1$ décrit l'aversion au risque du côté des entreprises. Si la valeur du θ est plus petit, alors l'aversion au risque de l'investisseur est plus grande, et la part des titres avec le risque est plus petite.

Pour définir le taux de retour des titres avec le risque du crédit r_p on admet que ce taux dépend surtout de la probabilité moyenne de *default* pour entreprise du secteur des biens intermédiaire dans l'économie. Cette simplification nous permet de calculer un seul taux de retour r_p , qui conformément à la condition d'absence d'arbitrage sur le marché des capitaux (les gains attendus de tous les titres sont égaux) prend la forme:

$$1 + r_f = E(1 + r_p), \quad (27)$$

cela signifie que le rendement des obligations gouvernementales est égal au rendement des autres investissements en capital. En conséquence nous avons:

$$1 + r_f = (1 - \bar{p})(1 + r_p), \quad (28)$$

puisque pour la probabilité $\bar{p}$ l'entreprise est en faillite et les obligations ne sont pas rachetées. Alors:

$$r_p = \frac{1 + r_f}{1 - \bar{p}} - 1 = \frac{r_f + \bar{p}}{1 - \bar{p}}. \quad (29)$$

Si la probabilité de *default* est plus haute, alors l'accroissement du taux de retour est plus que proportionnel. Dans ce cas le *spread* du credit est égal à:

$$r_p - r_f = \frac{r_f + \bar{p}}{1 - \bar{p}} - r_f = \frac{\bar{p}(1 + r_f)}{1 - \bar{p}}. \quad (30)$$

Si l'entreprise achète obligations corporatives, alors la valeur de son retour du marché des capitaux est égale à:

$$C_t = (1 + r_f)(1 - r)m\Pi_t^\circ + (1 - p)(1 + r_p)rm\Pi_t^\circ = (1 + r_f)m\Pi_t^\circ, \quad (31)$$

où m signifie la part du capital propre destinée aux investissements sur le marché des capitaux.

D'autre part, dans le cas de l'innovation, l'entreprise a besoin d'une source de financement extraordinaire. La valeur de ce capital B_t constitue une partie des gains extraordinaires, obtenus de la mise en oeuvre d'une nouvelle innovation :

$$B_t = k^* \Pi_t^*. \quad (32)$$

Pour simplifier la dynamique du modèle nous admettons que le niveau moyen du bénéfice net de chaque l'investissement en innovation est égal à k^* .

Le capital extérieur est obtenu sur le marché des capitaux par l'émission des obligations corporatives. La vente des obligations augmente les engagements de l'entreprise et le risque de l'activité. L'indicateur principal du risque pour l'entreprise est l'indice de probabilité de *default* désigné par p , qui est calculé d'une manière endogène à partir le levier financière de l'entreprise:

$$p = f\left(\frac{B_t}{\Pi_t^\circ}\right) = f(L_t) \quad \text{et} \quad \frac{df}{dL_t} > 0 \quad \frac{d^2 f}{dL_t^2} > 0. \quad (33)$$

De l'équation (32) suite qu'avec la mise en oeuvre d'une nouvelle technologie, le changement du processus de production ou de son engagement dans le nouvel type d'activité, augment le niveau du risque de l'activité de l'entreprise.

Le marché des capitaux est décrit par quatre variables, qui sont respectivement: l'offre cumulée du capital (S_t), la demande cumulée du capital (D_t), le volume de circulation des obligations corporatives (V_t) et gouvernementales (U_t):

$$D_t = \sum_{i=1}^n d_i; \quad S_t = \sum_{i=1}^n s_i \quad V_t = \min\{D_t, S_t\} \quad U_t = \max\{0, D_t - S_t\}. \quad (34)$$

L'évolution de la valeur de l'entreprise dans le temps est le résultat de toutes types d'activités: de l'activité sur le marché des biens intermédiaires, par les dépenses dans le secteur de R&D, jusqu'aux investissements sur le marché des capitaux. Nous avons donc:

$$\Pi_{t+1}^{\circ} = \Pi_t^{\circ} + (1 - \tau)\Pi_t + C_t - R_t - \mu_t(1 + r_p)B_t + G_t^*. \quad (35)$$

1.7. Le gouvernement

Le gouvernement joue le rôle prépondérant pour la dynamique du modèle. Il est responsable de la stimulation efficace de croissance de l'économie. Pour réaliser ce but il a le droit d'accorder les dotations sans retour aux innovateurs efficaces G_t^* . Dans le modèle, l'accroissement de la production globale est équivalent à l'augmentation du niveau de la technologie. En conséquence le progrès technologique accélère signifie l'augmentation de la vitesse de croissance du niveau de la production globale.

Le gouvernement possède deux instruments: les dotations sans retour pour les innovateurs G_t^* et le taux d'impôts sur le revenu τ . Par l'émission des obligations gouvernementales il peut aussi avoir impact sur la liquidité du marché des capitaux. Les recettes du gouvernement sont égales à :

$$R_t^G = T_t + U_t, \quad (36)$$

où:

$$T_t = \tau \Pi_t, \quad (37)$$

et U_t a été définie dans (34).

Les dépenses publiques sont destinées pour la regulation de la dette à l'avenir et pour les dotations sans retour courantes :

$$E_t^G = G_t + (1 + r_f)U_{t-1}. \quad (38)$$

L'équilibre du budget du gouvernement est défini par l'équation:

$$W_t^G = W_{t-1}^G + T_t + U_t - G_t - (1 + r_f)U_{t-1} = W_{t-1}^G + R_t^G - E_t^G. \quad (39)$$

Nous admettons que le bilan du budget du gouvernement doit être équilibré, donc:

$$W_t^G = 0, \quad (40)$$

alors, les dépenses sur les dotations courantes sont égales à:

$$G_t = T_t + U_t - (1 + r_f)U_{t-1}. \quad (41)$$

2. La dynamique de l'économie

2.1 Le mécanisme du groupement des innovations et le processus de la destruction créative des capacités de production

Dans ce modèle la mise en oeuvre efficace de l'innovation a deux types de conséquences: microéconomiques et macroéconomiques. Du point de vue de l'entreprise nous avons un saut du niveau de la technologie et du gain de production (à la hausse). Du point de vue de toute l'économie c'est le niveau moyen de la technologie qui augmente. En conséquence nous avons une augmentation des aspirations des entreprises aux gains de la production des biens intermédiaires, parce que les gains sont attribués aux entreprises pour lesquelles $A_t > A_t$, c'est-à-dire pour les entreprises qui disposent la technologie dont le niveau est plus haut que le niveau moyen dans l'économie. La mise en oeuvre de l'innovation par une entreprise détériore les conditions de production pour les autres entreprises. Il s'agit donc du mécanisme schumpeterien de la destruction créative, puisque sur le marché des biens intermédiaires on observe la concurrence accrue et les entreprises le plus faibles subissent encore de plus grandes pertes.

Nous admettons aussi que la décision concernant l'augmentation des dépenses dans le secteur de R&D est justifiée par l'existence des bénéfices nets de la mise en oeuvre éventuelle de l'innovation (19). Ce bénéfice existe toujours, même dans le cas où l'entreprise se trouve sur la frontière technologique. Remarquons que la valeur de fonction Π_t^* est d'autant plus grande que le niveau de la technologie actuelle A_t est plus bas. Alors le gain attendu, après la mise en oeuvre de l'innovation, augmente d'autant plus, que l'entreprise est plus éloignée de la frontière technologique A_t^* . Ce qui signifie que si le niveau de la technologie d'une entreprise est très bas alors ils existent de grands bénéfices de mise en oeuvre de l'innovation et de rapprochement avec la frontière technologique. Ces bénéfices sont plus grands que pour les entreprises qui se trouvent à proximité de la frontière technologique. Il faut donc poser la question essentielle : comment ces faits influencent les décisions des entreprises à l'avenir?

Proposition 7

$$\forall t \quad \Pi_t^{**} > 0. \quad (42)$$

- a) Avec l'accroissement des gains extraordinaires espérés de la mise en oeuvre de l'innovation les dépenses des entreprises sur le secteur R&D augmentent.
- b) L'accroissement des dépenses des entreprises dans le secteur R&D conduit à l'accroissement de la probabilité de l'innovation dans l'entreprise.

Démonstration

Il suffit de vérifier les signes des dérivées de la fonction des dépenses optimales dans le secteur R&D par rapport au gain attendu et de la fonction de probabilité de l'innovation par rapport aux dépenses courantes sur le secteur R&D:

$$\begin{aligned} \frac{dR_t^*}{d\Pi_t^{**}} &= \frac{A_t^*}{1-\xi} \left(\frac{\xi\lambda}{A_t^*} \right)^{\frac{1}{1-\xi}} \left(\Pi_t^{**} \right)^{\frac{\xi}{1-\xi}} > 0, \\ \frac{d\mu_t}{dR_t} &= \frac{\lambda\xi}{R_t^{1-\xi}} \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^{\xi} > 0. \end{aligned} \quad (43)$$

Proposition 8

Le bénéfice marginal de la mise en oeuvre de l'innovation et d'autant plus grand que le niveau de la technologie d'une entreprises est plus bas.

Démonstration

Il suffit de calculer la dérivée:

$$\begin{aligned} \frac{d\Pi_t^*}{d\Delta A_t} &= \frac{d}{d\Delta A_t} \left\{ (1-\tau) \left[p_t x_t \bar{A}_t \left(\frac{1}{E(A_{t+1})} - \frac{1}{E(A_{t+1}^*)} \right) \right] \right\} = \\ &= \frac{d}{d\Delta A_t} \left[(1-\tau) p_t x_t \bar{A}_t \left(\frac{E(A_{t+1}^*) - E(A_{t+1})}{E(A_{t+1}^*) E(A_{t+1})} \right) \right] = \\ &= \frac{d}{d\Delta A_t} \left[(1-\tau) p_t x_t \bar{A}_t \left(\frac{\Delta A_t}{E(A_{t+1}^*) E(A_{t+1})} \right) \right] > 0 \end{aligned} \quad (44)$$

où: $\Delta A_t = E(A_t^*) - A_t$ signifie la mesure du retard technologique de l'entreprise par rapport à la frontière technologique.

Dans ce modèle, la réaction des entreprises le plus faibles sur le changement de la technologie est plus forte que dans d'autres entreprises. Dans le cas où ces entreprises ne sont pas capables mettre en oeuvre l'innovation il y a une haute probabilité qu'elles doivent faire faillite. En conséquence, le niveau de la production globale va baisser. Autrement dit, la mise en oeuvre efficace de l'innovation conduit à court terme au processus de la destruction créative, décrit par J.A. Schumpeter [1939, 1960, 1995]: la mise en oeuvre des nouveaux processus de production augmente la pression sur les entreprises qui sont le moins rentables et les conduit le plus souvent à la faillite.

2.2. Le rôle du marché des capitaux dans la génèse des innovations

Avec l'accroissement d'intérêt des entreprises le secteur R&D augmente aussi l'activité du côté de l'offre sur le marché des capitaux. Les entreprises qui sont capables à élaborer l'innovation demandent le financement additionnel pour l'activité des investissements. Parce que la demande du capital change dans le temps et puisque elle dépend de l'aversion par rapport au risque θ , alors il peut arriver que cette demande ne soit pas toujours pleinement assurée.

Dans ce modèle, l'échéance et la liquidité du marché des capitaux jouent le rôle prépondérant pour la mise en oeuvre des nouvelles technologies. Avec la part des investissements dans les capitaux propres des entreprises, ces facteurs stimulent l'accès des entreprises au capital financier. Evidemment, si l'aversion par rapport au risque est plus haute, alors la part des ressources qui restent à la disposition des entreprises et qui sont destinées aux investissements en capital est plus petite. Un manque de confiance qui est provoquée par les anticipations pessimistes de l'avenir peut avoir un impact négatif sur la croissance économique à venir.

Dans le modèle envisagé la valeur du coefficient de l'aversion au risque est déterminée d'une manière déterministe. Pour simplicité la seule variable qui est envisagée par les entreprises c'est la valeur de la production globale dans la période t :

$$PKB_t = \sum_{i=1}^N Y_{t,i} - \sum_{i=1}^N x_{t,i} = \sum_{i=1}^N \left(A_{t,i}^{1-\alpha} x_{t,i}^{\alpha} - x_{t,i} \right). \quad (45)$$

Par l'hypothèse le coefficient d'aversion par rapport au risque θ prend la forme de la fonction logistique avec l'indice d'échelle constant s :

$$\theta = \frac{1}{1 + \exp(-h/s)}, \quad (46)$$

où:

$$h = \frac{\Delta PKB_t \cdot |\Delta^2 PKB_t|}{PKB_t}. \quad (47)$$

Alors les entreprises font les projections de la situation économique en prenant en compte seulement la dynamique du PIB.

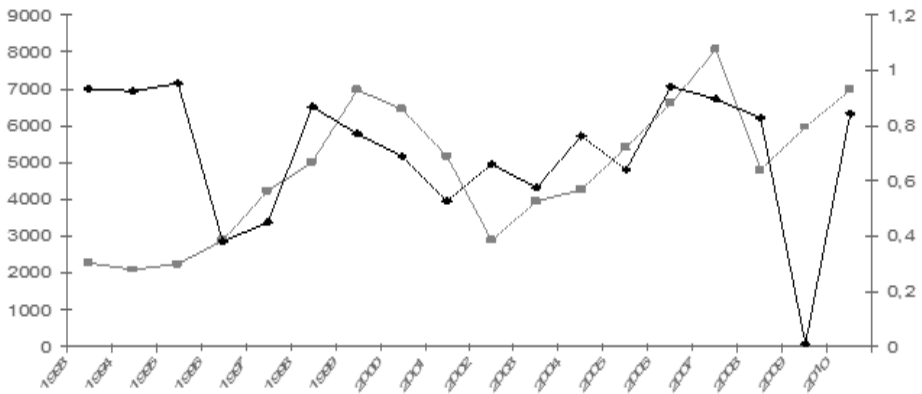


Figure 1. Les valeurs de l'indice DAX (la couleur grise, l'axe verticale gauche) et les valeurs du coefficient θ pour l'économie allemande (la couleur noire, axe droit)

Source: Les calculs propres

2.3. Le taux de croissance économique

Le taux de croissance économique est la mesure principale de l'état d'économie. Les entreprises s'intéressent à la valeur du PIB, tandis que le gouvernement est intéressé par la valeur de la production finale. Alors, dans la suite, on va présenter la dynamique de la production finale Y_t .

Proposition 9

Le taux de croissance de la production finale est égal au taux de croissance du progrès technologique.

Démonstration

En prenant en compte les décisions optimales des entreprises qui produisent les biens intermédiaires, nous avons:

$$Y_t = \left(L_1 \bar{A}_t\right)^{1-\alpha} x_t^\alpha = \left(L_1 \bar{A}_t\right)^{1-\alpha} \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} \bar{A}_t^\alpha = \text{const} \cdot \bar{A}_t, \quad (48)$$

d'où:

$$g \equiv \frac{\Delta Y_t}{Y_t} \equiv \frac{\Delta \bar{A}_t}{\bar{A}_t}.$$

Le taux de croissance de la production finale est égal à:

$$\begin{aligned} g = \frac{\Delta \bar{A}_t}{\bar{A}_t} &= (1 - \mu_t) \sigma + \frac{(\gamma A_t^* - \bar{A}_t)}{\bar{A}_t} \mu_t = (1 - \mu_t) \sigma + \left(\frac{\gamma}{a} - 1\right) \mu_t = \\ &= \mu_t \left(\frac{\gamma}{a} - 1 - \sigma_t\right) + \sigma_t = \lambda \left(R_t \frac{A_0^*}{A_t^*}\right)^\xi \left(\frac{\gamma}{a} - 1 - \sigma_t\right) + \sigma_t. \end{aligned} \quad (49)$$

Proposition 10

Le taux de croissance de la production finale remplit les conditions suivantes:

$$\text{a) } \frac{dg}{da} < 0, \quad \text{b) } \frac{dg}{d\gamma} > 0, \quad \text{c) } \frac{dg}{d\sigma_t} > 0, \quad \text{d) } \frac{dg}{dR_t} > 0, \quad \text{e) } \frac{dg}{d\mu_t} > 0. \quad (50)$$

La condition (d) est vraie, si et seulement, si $\gamma > a(1 + \sigma_t)$, tandis que la condition (e) est vraie si et seulement, si :

$$\mu_t > \frac{\sigma_t}{\xi + 2\sigma_t - \frac{\xi\gamma}{a}}. \quad (51)$$

Démonstration

En sachant que $\mu_t \in (0;1)$, nous obtenons:

$$\frac{dg}{da} = -\lambda \left(R_t \frac{A_0^*}{A_t^*}\right)^\xi \left(\frac{\gamma}{a^2} + \frac{R_t}{B_t}\right) - \frac{R_t}{B_t} = -\frac{R_t}{B_t} (\mu_t + 1) - \frac{\mu_t \gamma}{a^2} < 0, \quad (52)$$

$$\frac{dg}{d\gamma} = \frac{\lambda}{a} \left(R_t \frac{A_0^*}{A_t^*}\right)^\xi = \frac{\mu_t}{a} > 0, \quad (53)$$

$$\frac{dg}{d\sigma_t} = -\lambda \left(R_t \frac{A_0^*}{A_t^*}\right)^\xi + 1 = 1 - \mu_t > 0, \quad (54)$$

$$\begin{aligned}
\frac{dg}{dR_t} &= \frac{\xi\lambda}{(R_t)^{1-\xi}} \left(\frac{A_0^*}{A_t^*} \right)^\xi \left(\frac{\gamma}{a} - 1 - \sigma_t \right) + \frac{(1-a_t)(1-\mu_t)}{B_t} = \\
&= \frac{\xi\mu_t}{R_t} \left(\frac{\gamma}{a} - 1 - \sigma_t \right) + \frac{\sigma_t(1-\mu_t)}{R_t} = \\
&= \frac{1}{R_t} \left[\mu_t \left(\frac{\xi\gamma}{a} - \xi - 2\sigma_t \right) + \sigma_t \right] > 0 \Leftrightarrow \mu_t > \frac{\sigma_t}{\xi + 2\sigma_t - \frac{\xi\gamma}{a}}, \quad (55)
\end{aligned}$$

$$\frac{dg}{d\mu_t} = \left(\frac{\gamma}{a} - 1 - \sigma_t \right) > 0, \text{ si est seulement, si } \gamma > a(1 + \sigma_t). \quad (56)$$

L'accroissement de la production finale est d'autant plus grand, si la valeur du paramètre a , qui désigne la distance de l'économie par rapport à la frontière technologique, est plus bas (c'est qui est le synonyme de la convergence) et si l'indice de croissance du niveau de la technologie frontalière dans le cas de la mise en oeuvre de l'innovation γ , ainsi que le niveau de la diffusion de la technologie σ , sont plus hauts. La production finale baisse en cas où la distance à la frontière technologique est de plus en plus grande. Une telle situation naît quand il n'y a pas de dépenses courantes dans le secteur R&D. En fait, ça signifie que dans ce modèle la croissance économique dépend seulement du niveau de la technologie et des innovations réalisées par les entreprises.

3. La simulation Monte Carlo de l'économie

Nous pouvons maintenant présenter les résultats de simulation de la dynamique de l'économie décrite par le modèle.

3.1. La calibration du modèle

Pour appliquer le modèle il faut trouver les valeurs des paramètres viables qui sont conformes avec leurs valeurs enregistrés en réalité. Présentons donc les valeurs des paramètres que nous avons pris pour les calculs avec une courte justification des choix que nous avons faits.

Le coefficient d'élasticité de la production finale par rapport à l'input de la production intermédiaire dans ce modèle est très sensible, donc nous avons admis que $\alpha = 0,92$. En conséquence l'augmentation de la production intermédiaire a plus grand impact sur la production finale que l'augmentation du

niveau de la technologie. Nous avons admis que le taux espéré de croissance du niveau frontalière de la technologie après la mise en oeuvre efficace de l'innovation $E(\gamma_t)$ est constant et égal à 1,025. Donc la valeur de paramètre de la loi exponentielle qui décrit la variable aléatoire γ_t est égale à $\rho = 40$. Dans ce cas-là chaque fois après la mise en oeuvre de l'innovation le niveau frontalière de la technologie en économie A^* augmente, environ de 2,5%. En prenant en compte que dans la calibration nous avons admis que la probabilité moyenne de la mise en oeuvre efficace de l'innovation est égale à 0,09, alors les nouvelles innovations permettent d'obtenir l'accroissement moyen du TFP (A_t) au niveau de 0,25%, ou autrement dit, aux environs de 20% d'augmentation du TFP. Le reste de l'augmentation du TFP est la conséquence de diffusion de la technologie. Les paramètres λ et ξ de la fonction qui décrit la probabilité de la mise en oeuvre efficace de l'innovation sont choisis de telle manière que chaque entreprise a la probabilité de mise en oeuvre de l'innovation égale à 0,06–0,11 (en fonction des dépenses courantes dans le secteur de R&D). Nous avons pris que $\lambda = 4$ et $\xi = 0,15$. Nous avons admis aussi que le niveau des investissements sur le marché des capitaux est égal à $m = 0,04$, soit 4% de la valeur du bilan. Ce choix est conforme aux règles d'analyse des indicateurs financiers, dans laquelle l'indice de liquidité rapide (*quick ratio*) est proche de l'unité. Tandis que la part de la dette du court terme dans la somme du bilan ne peut pas dépasser 25%. Le taux des impôts sur les revenus des entreprises est égal à 0,19. Le niveau moyen du taux de retour des investissements sur l'activité d'innovation chargée d'un grand risque est égal à 100%. Alors, le paramètre qui décrit la rentabilité de la mise en oeuvre de l'innovation k^* est égale à 0,5. Sous ces hypothèses nous avons obtenus les résultats qui se trouvent dans le tableau 1.

Tableau 1. La calibration du modèle

Les objets d'analyse	L'accroissement de la TFP (%)	L'accroissement du PIB (%)	La part des dépenses de R&D dans le PIB (%)
Les valeurs pour l'économie allemande en période 1998–2007*	0,71	0,87	2,60
Les valeurs pour l'économie américaine en période 1998–2007	1,17	1,02	2,80
Les valeurs au modèle	1,15	1,02	2,21

Source: Artus [2010] et les calculs propres.

4.2. L'exemple du résultat de la simulation

Nous allons discuter maintenant les résultats présentés sur les figures qui illustrent la dynamique des variables macroéconomiques de base ainsi que des variables qui décrivent le comportement d'une entreprise dans l'économie.

Du point de vue macroéconomique il est intéressant d'analyser les relations qui existent entre le nombre des innovations observées, le niveau de la technologie, le niveau du PIB, la capitalisation des entreprises et le volume de circulation sur le marché des capitaux.

Sur la figure 2 nous voyons que le nombre d'innovations augmente alors qu'on observe la baisse du PIB, ce qui est conforme avec le processus de la destruction créative.

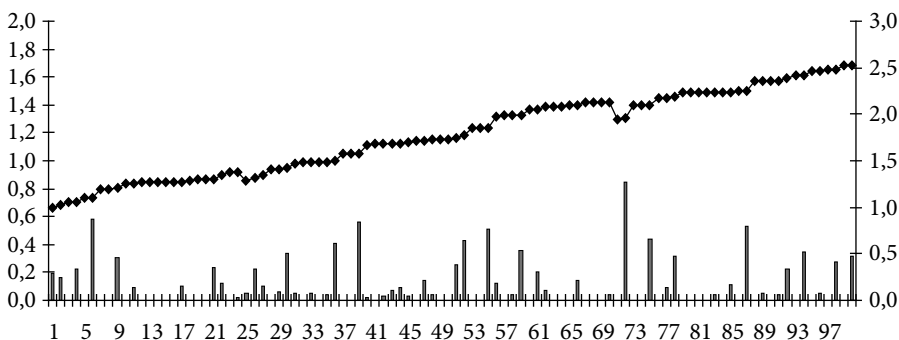


Figure 2. Le PIB par rapport à sa valeur initiale et le volume de circulation sur le marché des capitaux

Source: Les calculs propres

La trajectoire de la technologie frontalière se trouve toujours au dessus de la trajectoire qui présente le niveau moyen de la technologie en économie (figure 3). L'écart entre ces deux trajectoires augmente si nous avons la concurrence accrue sur le marché de R&D.

Les trajectoires des valeurs de 10 entreprises qui produisent les biens intermédiaires dépendent du niveau de la technologie dans les entreprises (figure 4). Les changements observés sont liés à la mise en oeuvre de l'innovation.

L'augmentation des dépenses dans le secteur R&D conduit à l'accroissement de la probabilité de la mise en oeuvre efficace de l'innovation (figure 5). Néanmoins, il faut souligner que dans le temps pour le même niveau des dépenses sur le secteur R&D, la probabilité de la mise en oeuvre de l'innovation baisse. C'est la conséquence de l'augmentation du niveau frontier de la technologie.

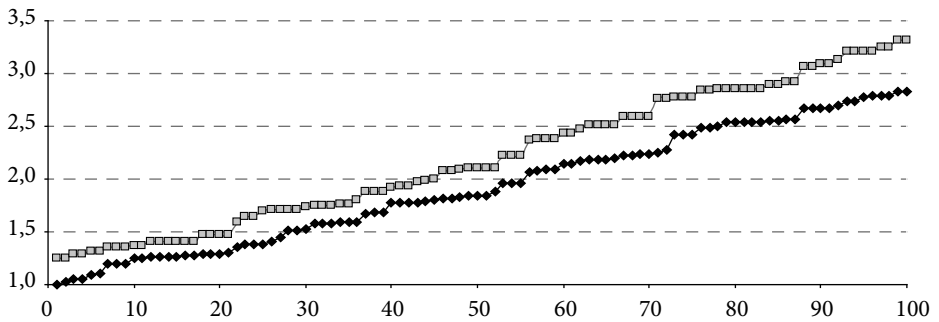


Figure 3 Le niveau frontalier A^* et moyen A de la technologie par rapport à sa valeur initiale

Source: Les calculs propres

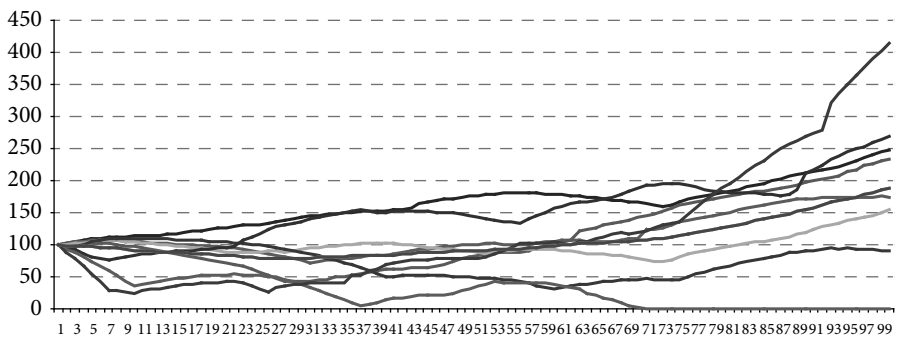


Figure 4. Le capital propre des entreprises par rapport à sa valeur initiale

Source: Les calculs propres

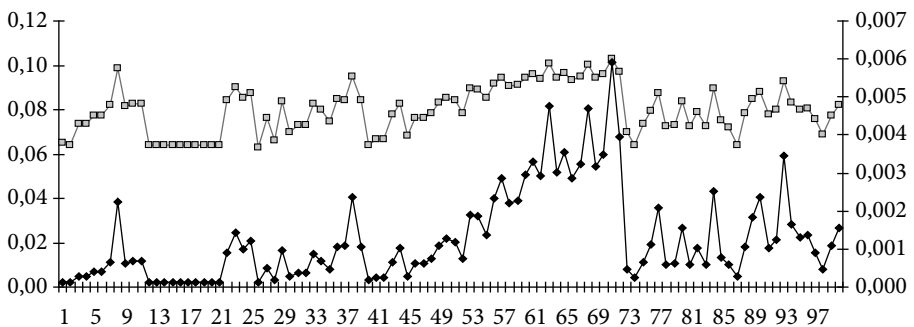


Figure 5. La probabilité de la mise en oeuvre de l'innovation (couleur grise) et les dépenses courantes sur R&D (couleur noire)

Source: Les calculs propres

Les gains de l'activité principale de l'entreprise dans le secteur des biens intermédiaires influence directement le risque de son activité. Le gain plus bas augmente la probabilité de *default* (figure 6).

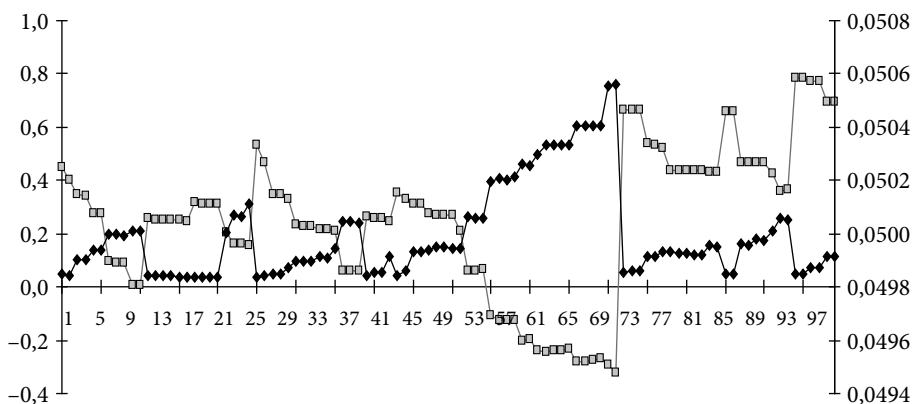


Figure 6. Le gain de la production (couleur grise) et la probabilité de *default* (couleur noire)

Source: Calculs des auteurs

Sur la figure 7 on a présenté les relations entre les innovations, le niveau relatif de la technologie et la valeur de l'entreprise. La mise en oeuvre efficace de l'innovation conduit au saut du niveau de la technologie. Ce qui provoque l'augmentation de rentabilité et une génération des gains de production des biens intermédiaires. En conséquence la valeur du capital propre de l'entreprise aussi augmente.

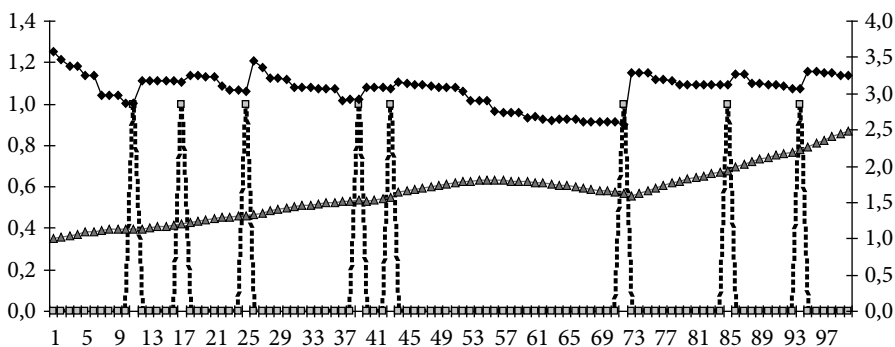


Figure 7. Le niveau relatif de la technologie (couleur noire), la valeur de l'entreprise (couleur grisée) et les innovations existantes (couleur grise clair)

Source: Les calculs propres

3.3. Analyse comparative

Nous allons présenter ici seulement la synthèse des résultats d'analyse comparative. Nous allons nous limiter à la description des résultats de simulation pour les différentes valeurs des paramètres. De l'analyse il résulte qu'il existe un impact positif sur la croissance économique par :

- l'augmentation du volume de l'innovation attendue (la baisse de la valeur du paramètre ρ),
- l'accroissement des bénéfices des investissements dans les innovations (la baisse de la valeur du paramètre k^*),
- l'augmentation de la partie du capital propre destinée aux investissements dans les instruments financiers (l'accroissement du paramètre m),
- la croissance de la distribution des revenus des innovateurs, ou bien la croissance du taux des impôts (le paramètre τ).

Les changements des valeurs des paramètres décrites au dessus conduisent aussi à la croissance accélérée de la valeur de l'entreprise ainsi qu'aux autres changements positives des variables microéconomiques (le tableau 2).

Tableau 2. Les variables microéconomiques

Les valeurs des paramètres	$\rho = 20$	$\rho = 50$	$k^* = 0,7$	$k^* = 0,4$	$m = 0,02$	$m = 0,06$	$\alpha = 0,96$	$\alpha = 0,88$	$\tau = 0,1$	$\tau = 0,3$
Le niveau de la technologie	7,957	2,426	2,739	3,053	2,985	3,049	3,091	2,999	2,892	3,120
Le gain de l'activité	1,651	0,320	0,342	0,491	0,413	0,453	0,545	0,395	0,425	0,423
La valeur de l'entreprise	10,581	2,879	2,979	3,881	3,373	3,707	4,188	3,310	3,400	3,608
Le gain extraordinaire	0,894	0,238	0,330	0,299	0,310	0,318	0,348	0,271	0,347	0,278
Les dépenses courantes sur R&D	0,006	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002
La probabilité de <i>default</i>	0,049	0,050	0,049	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050
La probabilité de l'innovation	0,090	0,080	0,077	0,085	0,083	0,082	0,084	0,081	0,082	0,083
Le nombre des innovations	8,170	8,010	7,250	8,440	8,200	8,160	8,420	8,370	7,740	8,500
Les dotations attendues	0,207	0,040	0,046	0,061	0,053	0,058	0,068	0,047	0,030	0,086

Source: Les calculs propres.

Les résultats inclus dans les tableaux 2 et 3 nous permettent de constater qu'il existe des relations assez importantes entre la sphère financière et la sphère réelle de l'économie. L'accroissement de l'activité des entreprises sur le marché des capitaux (l'augmentation de la valeur du paramètre m), ainsi que des stimulants pour la mise en oeuvre des innovations (l'augmentation de la valeur du paramètre k^* et la baisse de la valeur du paramètre ρ) conduisent à la hausse du taux moyen du PIB, de la PTF et aux meilleurs résultats des entreprises. Il faut souligner que l'augmentation du taux d'impôt sur le revenu a un impact positif sur la croissance économique et le progrès technologique. C'est la conséquence de l'augmentation des bénéfices liés avec la mise en oeuvre de l'innovation et les attentes aux dotations gouvernementales, destinés aux innovateurs efficaces.

Tableau 3. Les variables macroéconomiques

Les valeurs des paramètres	$\rho = 20$	$\rho = 50$	$k^* = 0,7$	$k^* = 0,4$	$m = 0,02$	$m = 0,06$	$\alpha = 0,96$	$\alpha = 0,88$	$\tau = 0,1$	$\tau = 0,3$
$A^*/A^*(0)$	9,853	2,693	3,266	3,375	3,324	3,429	3,290	3,203	3,240	3,454
La probabilité moyenne de <i>default</i>	0,038	0,043	0,044	0,041	0,042	0,043	0,041	0,042	0,041	0,043
Le nombre des innovations	67,970	69,990	66,270	68,890	71,120	69,810	67,640	68,890	65,650	71,410
Le changement de la valeur de l'entreprise	9,860	2,150	3,069	2,735	2,809	2,949	3,168	2,477	2,918	2,945
R&D/PIB en (%)	3,324	1,945	2,922	1,830	2,217	2,245	4,875	1,298	2,368	2,000
L'accroissement de la PTF en [%]	1,959	0,995	1,135	1,161	1,146	1,178	1,124	1,116	1,104	1,198
L'accroissement du PIB en (%)	1,852	0,859	1,022	1,008	1,014	1,040	0,969	0,958	0,952	1,065
La probabilité moyenne de l'innovation	0,093	0,084	0,080	0,089	0,087	0,086	0,088	0,084	0,087	0,086
La circulation sur le marché des capitaux	26,649	9,188	15,628	8,916	10,524	11,920	11,738	9,863	11,672	10,477

Source: Les calculs propres.

3.4. Les résultats de la simulation Monte Carlo

Nous avons fait à la fin la simulation Monte Carlo, du fonctionnement du modèle et l'analyse des relations existantes entre les variables principales. Nous avons fait 10 000 parcours des trajectoires des variables du modèle. Les résultats que nous avons obtenus sont conformes aux caractéristiques décrites dans cet article (les figures 8–15). Toutes les résultats sont conformes avec les

résultats d'analyses du modèle de croissance avec marché des capitaux que nous avons construit et testé.

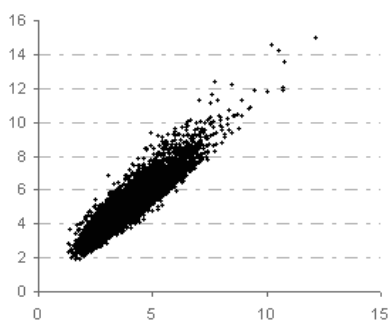


Figure 8. Le PIB (Y), le niveau moyen de la technologie (X)

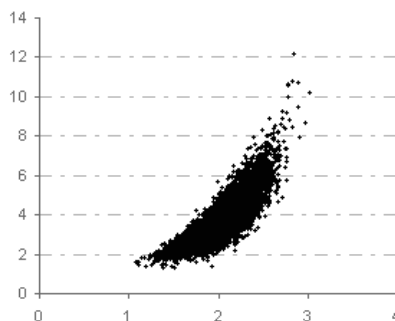


Figure 9. Le PIB (Y), les dépenses moyennes sur le secteur R&D (X)

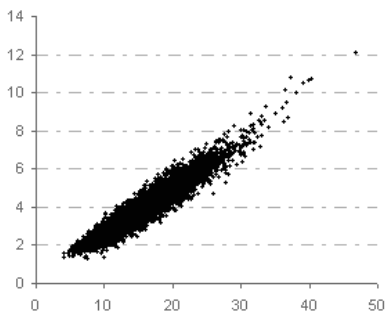


Figure 10. Le PIB (Y), la circulation sur le marché des capitaux (X)

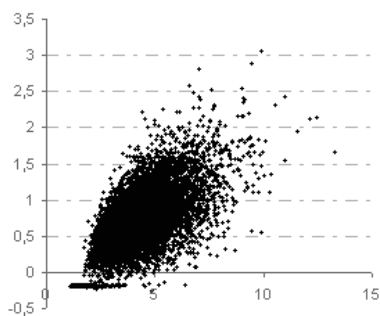


Figure 11. Le niveau de la technologie (Y), le gain de la production (X)

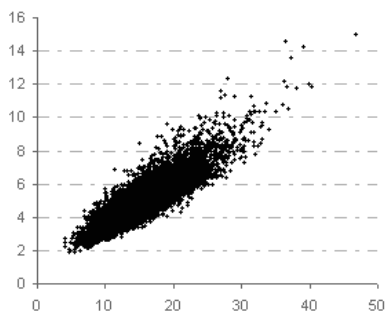


Figure 12. Le niveau frontalier de la technologie (Y), la circulation sur le marché des capitaux (X)

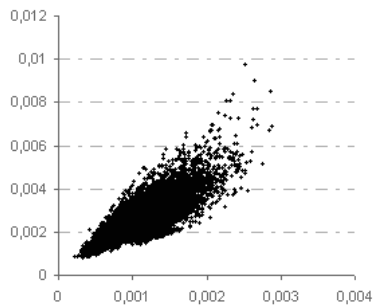


Figure 13. Les dépenses courantes sur R&D (Y), la diffusion de la technologie (X)

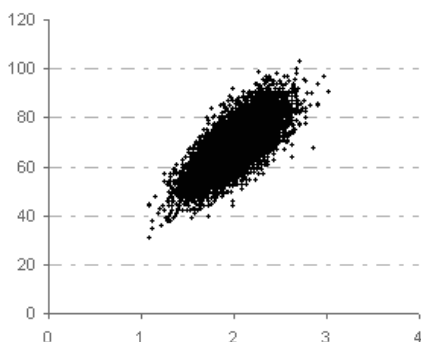


Figure 14. Le nombre des innovations (Y), les dépenses moyennes sur R&D (X).

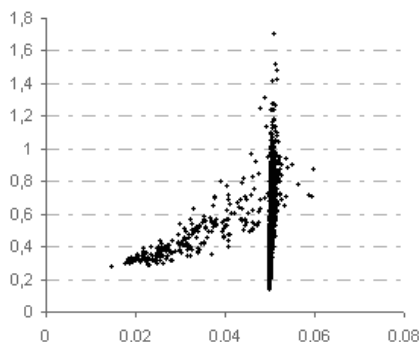


Figure 15. Le gain extraordinaire (Y), la probabilité de default (X).

Source: Les calculs propres

Conclusion

Les résultats d'analyse des relations qui existent entre la sphère financière et la sphère réelle de l'économie dans le cadre du modèle de croissance avec le marché des capitaux nous permettent à tirer les conclusions suivantes :

- Les innovations mises en oeuvre par les entreprises ont un impact très positif sur la croissance économique à long terme et elles stimulent directement le niveau de la technologie de production.
- Le marché des capitaux influence la dynamique des processus qui se déroulent dans la sphère réelle de l'économie.
- L'échéance et liquidité du marché des capitaux favorisent développement des entreprises et la croissance économique à long terme.
- La concurrence technologique entre les entreprises, qui accélère la croissance économique, est un état attendu et soutenu par le gouvernement.
- Les entreprises cherchent à maximiser les effets des flux attendus de leur activité principale, ce qui les conduit à l'augmentation du niveau de technologie de la production et à la concurrence avec d'autres entreprises.
- Les attentes des entreprises par rapport à l'avenir jouent le rôle prépondérant pour l'état de l'économie à l'avenir.
- Dans la modélisation de la dynamique de l'économie décrite par le modèle de croissance néo-schumpeterien un des aspects le plus importants est

l'aversion des entreprises par rapport au risque et son impact sur leurs décisions et en effet sur la croissance économique à long terme.

Ces conclusions concernent aussi les comportements des institutions gouvernementales qui doivent stimuler la concurrence dans le secteur de R&D et aider les entreprises qui sont capables de mettre en oeuvre les innovations et en conséquence à augmenter le niveau de la technologie et les capacités de production dans toute l'économie.

Dans les prochaines extensions du modèle présenté dans cet article nous voudrions approfondir la construction du marché des capitaux par introduction à l'analyse du marché des actions. Ensuite on peut envisager la version du modèle dans lequel les entreprises peuvent prendre les décisions concernant plusieurs périodes futures. Enfin on peut construire le modèle de croissance en temps continu.

Bibliographie

- Aghion, P. Banerjee, A., 2005, *Volatility and Growth*, Oxford University Press, DOI:10.1093/acprof:oso/9780199248612.001.0001.
- Aghion, P., Howitt, P., 1992, *A Model of Growth Through Creative Destruction*, *Econometrica*, vol. 60, nr 2, pp. 323–351, DOI: 10.2307/2951599.
- Aghion, P., Howitt, P., 1998, *Endogenous Growth Theory*, The MIT Press, London, DOI: 10.1080/08109029908629552.
- Aghion, P., Howitt, P., 2009, *The Economics of Growth*, The MIT Press, London.
- Aghion, P., Howitt, P., Mayer-Foulkes D., 2004, *The Effect of Financial Development on Convergence: Theory and Evidence*, NBER Working Paper, no. 10358, DOI: 10.3386/w10358.
- Arestis, P., Demetriades, P., 1997, *Financial Development and Economic Growth: Assessing the Evidence*, *The Economic Journal*, vol. 107, no. 442, pp. 783–799, DOI: 10.1111/1468-0297.00193.
- Arestis, P., Demetriades, P., Luintel, K.B., 2001, *Financial Development and Economic Growth: The Role of Stock Markets*, *Journal of Money*, vol. 33, no. 1, pp. 16–41, DOI: 10.2307/2673870.
- Artus, P., 2010, *Total Factor Productivity: a Reflection of Innovation Drive and Improvement in Human Capital (Education)*, NATIXIS, Special Reports. Economic Research, no. 41, 5 February.
- Beck, T., Levine, R., 2004, *Stock Markets, Banks and Growth: Panel Evidence*, *Journal of Banking and Finance* 28, pp. 423–442, DOI: 10.1016/s0378-4266(02)00408-9.

- Beck, T., Levine, R., Loayza, N., 2000, *Finance and the Sources of Growth*, Journal of Financial Economics 58, pp. 261–300, DOI: 10.1016/s0304-405x(00)00072-6.
- Burzyński, M., Malaga, K., (2011), *Neoschumterowski model wzrostu z rynkiem kapitałowym*, Gospodarka Narodowa, nr 11–12, pp. 1–29, SGH, Warszawa.
- Malaga, K., 2011, *The Main Strands and Dilemmas of Contemporary Economic Growth Theory*, Argumenta Oeconomica 2011 nr 1 (26), pp. 2–26, Wrocław University of Economics, Wrocław.
- Schumpeter, J.A., 1939, *Business Cycles*, McGraw-Hill, New York.
- Schumpeter, J.A., 1995, *Kapitalizm. Socjalizm. Demokracja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Schumpeter, J.A., 1960, *Teoria rozwoju gospodarczego*, PWN, Warszawa.
- Stiglitz, J.E., 2000, *Capital Market Liberalization, Economic Growth, and Instability*, World Development vol. 28, no. 6, pp. 1075–1086, DOI: 10.1016/s0305-750x(00)00006-1.