

Brevet d'invention et croissance économique : une analyse dans le cadre de l'économie tunisienne durant la période 1970 - 2010

Mabrouki Mohamed

Abstract— Cette étude se propose d'analyser empiriquement la relation entre le brevet et la croissance économique, en adoptant l'approche VAR. En effet, afin de vérifier si, pour le cas de la Tunisie et sur la période allant de 1975 à 2010, le développement des connaissances technologiques a été prépondérant dans l'expansion économique, nous testons une intuition de Guellec et Ralle (1985) et de Romer (1990), en considérant les taux de croissance des deux variables suivantes : le produit Intérieur Brut (PIB) et le nombre des brevets déposés en Tunisie Par les résidents. Les résultats indiquent un effet positif statistiquement significatif entre les brevets déposés durant la période précédente et la croissance économique d'aujourd'hui.

Index Terms— Brevet, Innovation, croissance économique, VAR, Tunisie.

1 INTRODUCTION

Les dépôts et délivrances des brevets dans le monde en 2010 étaient presque de deux millions, contre près d'un million en 1990, selon les statistiques de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI). Entre 1990 et 2010 le nombre des brevets déposés aux États-Unis (United States Patent and Trademark Office (USPTO)) a augmenté d'environ 185% et celui déposé en Europe (Office Européen des Brevets (OEB)) de 135% environ. Durant la même période le nombre des brevets déposés en Tunisie (INNORPI) a multiplié plus de trois fois (160 en 1990, contre 549 en 2010). Ce qui reflète l'importance accrue accordée aux brevets.

Il est généralement reconnu que le brevet est devenu un élément important en matière de la politique d'innovation. Ainsi, l'économiste-historien Douglass North [1] a montré que l'expansion des innovations et de la croissance soutenue sont tributaires à l'existence d'un système des droits de propriété intellectuelle.

Selon la proposition de Schumpeter [2], l'innovation engendre le développement et le profit. Pour les entreprises, l'investissement en recherche et développement constitue une source des gains de parts de marché et des réductions de coûts. Ainsi, une préoccupation majeure de la théorie économique, depuis Nordhaus [3], était : comment protéger l'innovateur, sans créer des rentes excessives, par la durée et l'ampleur du monopole conféré par le brevet, et sans créer des obstacles à la diffusion des nouvelles technologies et des nouveaux produits ?

L'objectif de cet article est d'étudier, par l'intermédiaire des outils économétriques, la validité empirique de l'hypothèse théorique selon laquelle le brevet a un rôle central dans le processus de l'innovation et de la croissance. En effet, afin de vérifier si, pour le cas de la Tunisie et sur la période allant de 1975 à 2010, le développement des connaissances technologiques a été prépondérant dans l'expansion économique, nous testons une intuition de Guellec et Ralle [4] et de Romer [5], en considérant les taux de croissance des deux variables sui-

vantes : le produit Intérieur Brut (PIB) et le nombre des brevets déposés en Tunisie.

La suite de notre article est organisée comme suit. Nous présentons dans un premier temps, le cadre théorique et les hypothèses de recherche. Dans un second temps, nous traitons les aspects méthodologiques. Dans un troisième temps nous analysons et discutons les résultats trouvés. En suite nous réalisons une étude de robustesse. Nous terminons par conclure ce travail.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE ET DEVELOPPEMENT DES HYPOTHESES

La protection de la propriété industrielle par les brevets a pour objectif d'encourager les agents économiques d'investir d'avantage en recherche et développement. Toutefois, en privatisant la connaissance attachée aux innovations, elle constitue un obstacle à la diffusion des nouvelles idées et elle freine l'innovation. Entre ces deux effets contradictoires, l'équilibre par une protection optimale est délicat à trouver. Sur le plan théorique, la mise en place d'un système de brevet a un double objectif : encourager les firmes à produire des nouvelles connaissances et assurer la diffusion de l'information. Cependant, la pratique économique mettant en évidence le dilemme entre protection et diffusion: quel est, donc, le niveau optimal de protection à travers la durée (longueur) et l'étendue (largeur et hauteur) des brevets?

Ce travail vise à montrer que le brevet, par ses multiples caractéristiques (longueur, largeur, hauteur), peut constituer un instrument d'intervention en matière de la politique économique pour inciter l'innovation au profit de la croissance.

Dans ce cadre, nous pouvons poser la question suivante : comment la théorie économique a fait appréhender l'effet de la protection par le brevet sur l'innovation et la croissance ? L'objectif est, donc, d'analyser les arguments fréquemment avancés par les travaux relatifs à la protection par le brevet.

Deux sortes de travaux théoriques peuvent être envisagées. Les premiers, dits les nouvelles théories de la croissance ou la croissance endogène, ont généralement représenté le brevet d'une manière assez abstraite. Selon Keely [6], les modèles de croissance fondée sur l'innovation ont traité avec précision la manière dont le régime de la propriété industrielle affecte la croissance sont peu nombreux. Les deuxièmes, dits les modèles microéconomiques ou d'économie industrielle, ont représenté le brevet d'une façon assez riche et détaillée. Une telle présentation nous permet de discuter, d'une manière rigoureuse, les différentes caractéristiques du brevet comme étant instrument de politique publique pour favoriser l'innovation.

L'étude du rôle de la politique de brevet sur l'innovation et la croissance passe par l'analyse des différentes méthodes dont ces deux types des travaux ont appréhendé les trois dimensions du brevet.

La littérature sur la croissance endogène fondée sur l'innovation montre deux grandes familles des modèles : La première rassemble les modèles de différenciation horizontale où l'innovation augmente la gamme de produits intermédiaires utilisés dans la production du bien final. La deuxième regroupe les modèles de différenciation verticale où les nouvelles innovations remplacent l'anciennes. Elle porte sur la qualité des produits ; c'est-à-dire les produits de meilleure qualité remplacent les produits de qualité inférieure. En outre, l'économie industrielle a fourni des modélisations importantes de l'innovation au niveau microéconomique ; telle que la différenciation horizontale depuis Hotelling [7] et la différenciation verticale depuis Chamberlin [8].

2.1 Impact de la longueur du brevet sur l'innovation et la croissance

Les principales formalisations de la durée de vie ou longueur du brevet ont été proposées par Nordhaus [3] et Scherer [9]. Nordhaus [3] est le premier qui a étudié la question du choix d'un niveau optimal de protection conféré par le brevet à travers la durée en termes de politique économique. Toutefois, son modèle porte sur l'état statique qui ne permet pas d'évaluer l'efficacité dynamique d'un système de brevets. Selon le modèle de Nordhaus, la durée de vie optimale des brevets doit être finie afin de réduire, en moyenne, les distorsions de monopole. Scherer [9], en reprenant les travaux de Nordhaus, a montré qu'une protection longue conduit à des efforts de recherche et développement plus intenses de fait que les profits attendus seraient plus importants. En même temps, elle engendre des coûts en termes de bien être sociale (perte sèche) du fait d'inefficacité statique dû aux distorsions du monopole. Le modèle d'expansion du nombre de variétés de Romer [5] repose sur la mission de diffusion des connaissances assurée par l'office de brevet. Dans le contexte de la croissance endogène, Romer a fait endogénéiser le progrès technique qui est déterminé sous l'effet de l'activité de recherche et développement engendrée par les entreprises et protégée par un brevet de durée infinie. Une telle modélisation d'une longueur infinie de la protection n'encourage pas à voir le brevet comme un instrument de politique économique.

Alors que, la durée de vie infinie de la protection juridique du brevet dans le modèle de Romer [5], est optimale à la distorsion de marché; la réduction de la largeur affaiblit l'incitation à

investir en recherche et développement au mesure d'apparitions des nouvelles innovations et des nouveaux brevets. En effet, la diffusion des connaissances assurée par le système de brevet est le seul facteur qui assure la soutenabilité de la croissance et la rendre endogène. Ainsi, toute la dynamique de modèle de Romer [5] repose sur la mission de diffusion de l'information scientifique et technique assurée par l'office de brevet. Si celle-ci n'est pas parfaite la croissance n'est plus soutenable.

Grossman et Helpman [10] ont considéré la supposition d'une durée de vie infinie des brevets, comme une supposition d'indépendance entre la connaissance et la durée de vie des brevets. Dans ce modèle la taille de l'innovation est considérée comme exogène, alors que les conclusions ressort de ce travail dépendent de la valeur de l'incrément de qualité de cette innovation. Lorsque la taille de l'innovation est relativement faible ou très importante, il y aura une sur-allocation de la recherche par rapport à la solution optimale. Ainsi l'objectif d'un système de brevets serait l'orientation des innovateurs vers des améliorations qualitatives se situant dans la zone médiane autour de la solution optimale.

Michel et Nyssen [11], dans le cadre d'un modèle de croissance endogène avec le développement de nouveaux produits, ont introduit une durée de vie limitée du brevet dans le cadre d'un modèle de variété à la Grossman et Helpman [10]. Ils ont montré que l'augmentation de la durée de vie des brevets augmente la rentabilité d'un projet donné de recherche et développement, mais diminue également les externalités de connaissances qui jouent un rôle crucial dans le processus de croissance. Ainsi, la manipulation de la durée de vie des brevets constitua, dans une analyse de second rang, un moyen d'agir sur l'appropriabilité des connaissances pour favoriser la croissance.

Les travaux de Grossman et Helpman [10] et d'Aghion et Howitt [12] ont donné naissance à une catégorie de modèles qui intègrent une représentation qualitative de l'innovation. Cette catégorie de modèles dits de « destruction créatrice » trouve ses origines dans les travaux sur la course aux brevets. Ces auteurs ont conclut que l'analyse de l'efficacité de l'incitation à l'innovation ne repose pas seulement sur la structure de marché endogène. En effet, à la dimension des politiques de concurrence s'ajoute une autre dimension plus réglementaire, à savoirs la nature de politique des brevets.

Dans le cadre d'une différenciation à la fois horizontale et verticale des produits, Caballero et Jaffe [13] ont développé un modèle constituant une contribution à la fois théorique et empirique importante en matière d'instaurer la longueur du brevet comme étant un outil de politique pour l'innovation et la croissance. Grace aux brevets le taux d'obsolescence des idées se trouve endogénéisé, dont la mesure où le processus de recherche et la création de nouvelles idées donnent lieu à des dépôts de brevets. Ces auteurs ont montré que le système de brevets peut jouer un rôle important en matière de diffusion des nouvelles idées ; où les informations contenues dans les brevets assurent la rapidité d'accès des chercheurs aux nouvelles connaissances.

Selon ces travaux, une durée de vie de brevet optimale devrait avoir un impact positif sur la croissance économique à travers l'innovation. Cela nous permet de formuler l'hypothèse sui-

vante :

H1 : il existe une relation positive entre la longueur optimale du brevet et la croissance d'une économie.

2.2 Impact de l'arbitrage entre la longueur et la largeur du brevet, sur l'innovation et la croissance

Dans le cadre d'un modèle de croissance endogène, Segers-trom [14] a considéré que la croissance économique est alimentée à la fois par l'innovation et l'imitation. Il a introduit l'imitation comme une alternative à l'innovation et l'intègre dans le secteur de la recherche. Dans ce modèle le système de brevets permet de rémunérer l'innovation puis l'imitation par un accord de licence entre l'innovateur et l'imitateur.

Sur le plan microéconomique, Gilbert et Shapiro [15] ont discuté les arguments pour prouver que le brevet peut être un instrument de politique pour récompenser les innovations. Ils ont fourni les conditions dans lesquelles la politique optimale d'un brevet à durée de vie infinie avec un réglage de la largeur permet la récompense requis pour l'innovation. Toutefois, ces récompenses nécessitent la création d'un pouvoir de marché, ce qui provoque une certaine perte de bien-être. D'où, l'origine du débat sur la politique des brevets qui consiste à étudier l'arbitrage entre l'efficacité dynamique et l'inefficacité statique attachées au brevet.

Klemperer [16] a discuté la possibilité de minimiser l'ensemble des pertes résultant de l'institution d'une protection du brevet en jouant sur la combinaison durée-largeur du brevet. Dans ce modèle, l'auteur a fait une comparaison entre la situation de bien-être maximale qui résulte d'une fourniture concurrentielle de toutes les variétés du spectre du produit et la situation résultant de l'institution d'une étendue positive du brevet. L'idée de Klemperer est de minimiser l'ensemble des pertes en jouant sur la combinaison durée-étendue du brevet. Le point de départ de son analyse est de garantir une marge bénéficiaire minimale au titulaire du brevet afin de lui inciter à investir dans la R&D et de générer, donc, le nouveau produit. Selon ce modèle, la combinaison optimale durée-étendue du brevet dépend des distributions des coûts de déplacement et des prix de réservation.

En se focalisant, sur la politique optimale du brevet en présence des possibilités d'imitation coûteuse, Gallini [17] a fait modéliser l'incitation à imiter en fonction de la durée de vie du brevet. Il a montré que le brevet optimal doit être large et de longueur courte.

L'analyse de ces différents arguments nous permettent de dégager l'hypothèse suivante :

H2: Une combinaison optimale entre la longueur et la largeur affecte positivement l'innovation et la croissance.

2.3 Impact de l'arbitrage entre la longueur et la hauteur du brevet, sur l'innovation et la croissance

Dans le cadre d'un modèle de croissance endogène à la Grossman et Helpman [10], Li [18] a développé son modèle (variété/qualité) en introduisant la notion du contrat de licence. En effet, avec l'idée de la licence, l'innovateur de bien intermédiaire peut être considéré comme le détenteur d'un brevet, avec une largeur aval infini, qui lui confère le droit de recevoir des flux de redevances de la part de tous les innovateurs qui améliorent successivement son produit. Alors que,

les innovateurs qui ne peuvent qu'améliorer la qualité d'un bien existant se trouvent obligés de délivrer des brevets avec largeur aval nulle.

Matutes, Regibeau et Rockett [19], de point de vue de l'économie industrielle, ont défini l'étendue des brevets par le nombre d'applications différentes protégées par le même brevet. Ils se concentrent sur la protection des innovations fondamentales. Ils supposent d'abord que l'entreprise innovante a déjà obtenu une avancée technologique en tant que résultat d'une recherche précédente. Cette technologie peut être utilisée dans la production d'une série de produits (applications), dont chacun est brevetable en soi. Le modèle ne se concentre pas sur la façon dont chacune de ces applications devraient être protégées, mais plutôt la façon dont la technologie de base, devrait être protégée par le droit des brevets. En l'absence de protection des brevets, un innovateur qui a fait une avancée technologique importante serait tenté d'approfondir l'avancée dans le développement des applications, il ne démontre pas sa découverte et continue à le développer, avant de commercialiser un produit pour éviter le risque d'imitation de l'innovation fondamentale. Les auteurs trouvent que la protection de la hauteur génère un niveau de bien-être plus élevé que la protection de la longueur. Cela est expliqué par l'effet que l'introduction de l'invention de base se fait plus tôt et par suite la période au cours de laquelle les concurrents peuvent introduire des applications se fait, aussi, plus tôt. Ils trouvent aussi que la combinaison longueur et hauteur n'améliore rien.

La Manna [20] a présenté un modèle dans lequel la hauteur est implicitement représentée par un niveau minimal de brevetabilité qui renvoie à un minimum d'investissement en recherche et développement nécessaire pour qu'une invention soit qualifiée brevetable par l'office des brevets. La conception de brevet est considérée dans ce modèle comme un jeu à deux joueurs (un leader et un suiveur) dans lequel l'office des brevets fixe, d'une manière endogène, les règles du jeu. En effet, le système de brevets détermine comment ces derniers sont demandés et accordés. L'office des brevets doit résoudre un problème d'affectation double : Il désigne, donc, qui est le leader et qui est le suiveur tout en fixant ses variables de contrôle, à savoir la durée de vie du brevet ou le seuil de brevetabilité.

Le modèle de Hunt [21] vise à montrer que l'exigence de nouveauté peut être utilisée comme un instrument de politique économique. Dans ce modèle le temps est continu et l'horizon est infini. Les découvertes se réalisent dans différents points dans le temps. L'intervalle du temps qui sépare deux découvertes est appelé course aux brevets. Au cours de chaque course au brevet, les entreprises entrent en concurrence pour être le premier à découvrir une invention. La course se termine quand une découverte survient et la prochaine course se déclenche immédiatement après cette découverte. La durée réelle des courses aux brevets est variable, parce que le processus qui génère les découvertes est aléatoire. Dans ce cadre, l'auteur montre que, lorsque le pouvoir public augmente l'exigence de nouveauté, les entreprises rencontrent le compromis suivant : d'une part, une entreprise qui fait une découverte marginale ne parvient pas à obtenir un brevet et se poursuit comme un concurrent pour la prochaine course. Elle perd le bénéfice associé et le coût de R&D. La valeur actualisée des flux des coûts augmente avec la durée prévue de la pro-

chaîne course. Lorsque les découvertes brevetables sont rares, ces pertes sont relativement grandes. Mais quant les découvertes brevetables se produisent fréquemment, la valeur de ces pertes est plus petit. D'autre part, une exigence de nouveauté stricte soulève le bénéfice moyen de découvertes brevetables. Le gain associé augmente avec la fréquence des découvertes brevetables. L'effet net est une moyenne pondérée de ces gains et pertes de flux de trésorerie, où les poids sont déterminés par le taux d'arrivée à l'échelle industrielle des découvertes brevetables.

L'investigation des ces travaux sur la durée de vie et l'exigence de nouveauté, nous a permis de dégager l'hypothèse suivante :

H3: Une combinaison optimale entre la longueur et la hauteur affecte positivement l'innovation et la croissance.

2.4 Impact de l'arbitrage entre la longueur, la largeur et la hauteur du brevet, sur l'innovation et la croissance

Dans un modèle de croissance endogène, Li [22] étend le modèle de Grossman et Helpman [10] pour tenir compte des résultats des études empiriques. Chaque fois que se produit une innovation, un brevet est accordé sur les produits inventés, interdisant aux non-détenteurs de brevet de produire les mêmes marchandises. La durée légale du brevet est toujours supposé infinie. Une autre dimension importante de la protection par brevet est la largeur. Dans le modèle de Li (2001), la largeur du brevet est considérée comme la mesure de l'amélioration de la qualité à laquelle un produit est protégé contre les producteurs de biens de qualité inférieure. La largeur du brevet est définit, donc, comme le degré de différenciation de produit (horizontale ou verticale) pour lequel un brevet est protégé vis à vis de la contrefaçon. La distinction entre largeur et hauteur n'a pas d'importance, dans ce modèle, en raison de la nature symétrique supposée de la largeur de brevet

Au plan microéconomique, O'Donoghue, Scotchmer et Thisse [23] ont considéré que la détermination à priori de la durée de vie optimal d'un brevet sans tenir compte de ses caractéristiques largeur et hauteurs, aboutit à des résultats fallacieux. Dans ce modèle la caractéristique largeur est modélisée de telle façon où la durée de vie statutaire coïncide avec la durée de vie effective. Les auteurs constatent que la rentabilité de la R&D dépend de la durée de vie effective des brevets, et que la vie effective du brevet est déterminée non seulement par la durée légale du brevet, mais aussi par l'étendue (largeur et hauteur). Ils considèrent une durée de vie des brevets infinie; tout en cherchant à étudier l'impact de la largeur sur le bien-être social. Ainsi, la vie effective des brevets dépend de la

un unique contrôle sur la largeur incite les firmes à sous investir dans les recherches et développement. En effet, l'utilisation de la largeur comme le seul instrument pour une politique de l'innovation est insuffisant même avec une durée de vie infinie (bien évidemment dans le cas d'une durée de vie finie).

Suivant ces travaux nous pouvons conclure que :

H4: une combinaison optimale des trois dimensions du brevet affecte positivement l'innovation et la croissance.

L'analyse des différents arguments avancés par ces travaux, nous a permis de citer un énoncé synthétique qui peut être soutenu ou contredit : une politique de brevets appropriée, pourrait affecter positivement la croissance économique.

3 METHODOLOGIE

La méthodologie utilisée est la modélisation VAR (Vector auto Régressive) et la notion de causalité définit au sens de Granger [24]. Cette méthodologie choisie nécessite de procéder aux étapes suivantes. Il convient de vérifier dans un premier temps la stationnarité des séries chronologiques par l'application des tests de Dickey et Fuller [25]. Une fois les séries rendues stationnaires, nous procédons aux études d'autocorrélation et d'hétéroscédasticité, la dernière étape consiste à estimer un modèle VAR non contraint à « p » retards. Si les tests de dickey-Fuller prouvent que certaines séries sont intégrées du même ordre alors une analyse de la cointégration sera nécessaire afin d'éviter toute régression fallacieuses.

3.1 Description des données

3.1.1 Le produit intérieur brut

Le PIB est l'indicateur utilisé pour rendre compte de la croissance économique. Le taux de croissance de cette variable désigne le taux de croissance économique. Les séries du PIB sont tirées auprès de l'Institut National des Statistiques (INS).

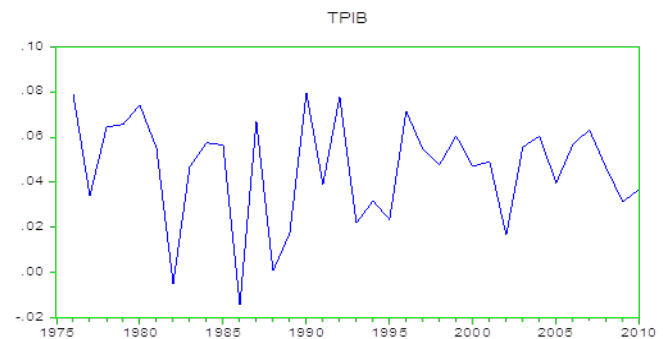


Fig. 1 - Evolution de taux de croissance de PIB période 1975/2010.

3.1.2 Les brevets déposés

Pour l'output de la recherche, on considère qu'il s'agit de connaissances techniques (innovations). Ces connaissances représentent un bien immatériel de nature incommensurable qu'il est donc difficile d'évaluer. D'après une étude de Griliches [26], l'utilisation du nombre de brevets déposés comme un

• Mabrouki Mohamedest maitre assistant en sciences économiques à l'Université Gafsa, Tunisie. mabroukimed@gmail.com

largeur et de la fréquence des idées d'amélioration. Ils montrent que si le taux d'arrivée des idées d'améliorations est élevé,

indicateur de la production des connaissances ou de l'output de la recherche est convenable. Toutefois, cet indicateur (le brevet) n'est pas un indicateur parfait, puisque un nombre non négligeable des idées restent en secret. La propension à breveter varie selon les secteurs et selon les pays. Le brevet, comme étant un indicateur de la production des idées, constitue une mesure quantitative qui ne reflète pas la valeur qualitative des idées. L'output de la recherche s'en trouve, donc, sous-estimé car seulement une partie de la connaissance existante donne lieu à des brevets.

Malgré ces limites, puisque Romer [5] considère que c'est un savoir technique, matérialisé par des procédés industriels de fabrication, qui induit la croissance, le choix des brevets comme indicateur de l'output de la recherche nous paraît justifié. En outre, Guellec et Ralle [4] ont choisi le nombre de brevets déposés aux Etats Unis par les résidents comme proxy de nombre de biens. Ils supposent que la durée d'un bien est de 20 ans, c'est la durée statutaire d'un brevet. C'est une différence avec les modèles qui supposent une durée de vie de bien infinie.

La série des dépôts des brevets est tirée auprès de l'Institut National de la Normalisation et de la Propriété Industrielle (INNORPI) pour la période 1984/2010, et à partir de la base des données de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI), base des données de la Banque Mondiale et Douis-free.fr/magistere/douis-chapitre04.pdf., pour la période 1975/1983.

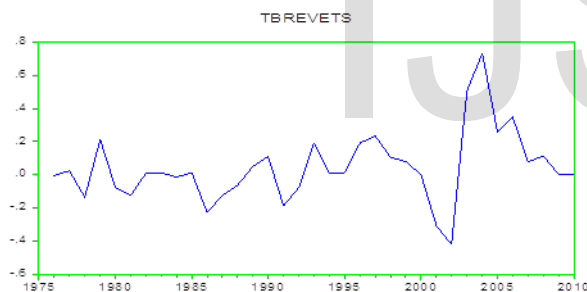


Fig. 2 - évolution de total de brevets en taux de croissance.

3.1.3 Etude de la stationnarité

En adoptant la stratégie séquentielle de test de l'existence de racine unitaire (le test de Dickey Fuller Augmenté), en trouvant :

La série TPIB est stationnaire en niveau, au seuil de 5%, avec une constante.

La série TBREVETS est stationnaire en niveau, au seuil de 5%, sans constante ni tendance.

3.2 Spécification de modèle

L'intérêt de la modélisation VAR est de mettre en évidence, par la simulation de chocs aléatoires, les interactions dynamiques existantes entre les variables. Dans le cas d'un processus VAR chacune des variables est modélisée en fonction de ses propres retards et des retards des autres variables. Le retard

« p » optimal des variables retenu est celui qui minimise les critères d'information d'Akaike (AIC) et de Schwarz (SC).

Ainsi, l'application du test de causalité de Granger dans une deuxième étape permettra de préciser le sens de la relation entre les variables. La période d'estimation s'étale sur 36 ans allant de 1975 à 2010 (soit 35 observations puisqu'il s'agit des taux de croissance).

$X =$ TPIB, représente le taux de croissance de PIB.

$Y =$ TBREVET, représente le taux de croissance de dépôt des brevets en Tunisie par les résidents.

La méthode adoptée consiste à utiliser un modèle VAR bi-varié :

$$\begin{cases} X_t = a_{10} + a_{11}X_{t-1} + \dots + a_{1p}X_{t-p} + a_{21}Y_{t-1} + \dots + a_{2p}Y_{t-p} + u_{1t} & (1) \\ Y_t = b_{10} + b_{11}X_{t-1} + \dots + b_{1p}X_{t-p} + b_{21}Y_{t-1} + \dots + b_{2p}Y_{t-p} + u_{2t} & (2) \end{cases}$$

3.2.1 Le choix du nombre de retards

On choisit le nombre de retards qui minimise les valeurs des deux critères d'informations AIC et SIC. Nous estimons des modèles VAR avec un nombre de retard p allant de 1 à 6. Les variables des modèles, après la stationnarisation, sont : le de taux de croissance de PIB et le taux de croissance de dépôts de brevets. Le tableau suivant donne les valeurs des deux critères pour les différents retards.

TABEAU 1

LES VALEURS DES DEUX CRITÈRES (AIC ET SIC)

P	AIC	SIC
1	-4.901643	-4.632286
2	-4.725831	-4.272344
3	-4.499039	-3.857780
4	-4.317186	-3.484549
5	-4.280347	-3.252802
6	-4.044237	-2.818386

Min AIC : - 4.901643 qui correspond à p = 1.

Min SIC : - 4.632286 qui correspond à p = 1.

Le nombre de retards optimal qui minimise les deux critères simultanément est p = 1.

Cependant, deux hypothèses sont nécessaires pour estimer ce modèle : il n'y a pas autocorrélation ni hétéroscédasticité des erreurs.

3.2.2 Test d'hétéroscédasticité des erreurs

L'une des hypothèses clés des modèles linéaires est l'hypothèse d'homoscédasticité, cette hypothèse impose que la variance des résidus (termes d'erreur) soit constante pour chaque observation. Il y a hétéroscédasticité lorsque cette hypothèse n'est plus vérifiée. Il existe plusieurs tests pour détecter l'hétéroscédasticité des erreurs. Les plus courants sont les tests de Breusch et Pagan [27] et White [28]. Le logiciel eviews offre le test de White pour le cas des Modélisations VAR. Le principe de ce test est fondé sur la régression des carrés des résidus d'une première régression par les MCO sur l'ensemble des variables explicatives, de leurs carrés et de leurs produits croisés. L'hypothèse nulle de test de White est celle d'homoscédasticité contre l'hypothèse alternative d'hétéroscédasticité. L'hypothèse nulle d'absence d'hétéroscédasticité est que cette régression n'explique pas le

résidu au carré.

Le logiciel eviews donne deux sortes des tests de White: «White Heteroskedasticity non cross terms» et «White Heteroskedasticity cross terms». Nous choisissons «White Heteroskedasticity cross terms ». Suivant le tableau 2, la probabilité est égale à 0.2407 > 0.05, on accepte donc l'hypothèse nulle d'homoscédasticité des résidus.

TABLEAU 2
TESTS DE WHITE

test joint:					
Chi-sq	df	Prob.			
18.43038	15	0.2407			
composantes Individuelles :					
R-					
Dépend.	squared	F(5,28)	Prob.	Chi-sq(5)	Prob.
res1*res1	0.094346	0.583376	0.7124	3.207759	0.6680
res2*res2	0.390663	3.590321	0.0124	13.28255	0.0209
res2*res1	0.177955	1.212281	0.3292	6.050476	0.3013

3.2.3 Tests d'autocorrélation des erreurs

Il y a plusieurs tests pour détecter la présence d'autocorrection des résidus : Durbin-Watson Ljung-Box, Breusch-Godfrey et le test de Box-Pierce. En 1950 Durbin et Watson élaboraient leur test, le plus fréquemment utilisé, de détection d'une autocorrélation d'ordre 1. Ce test repose sur l'hypothèse nulle d'absence d'autocorrélation des résidus contre l'hypothèse alternative. Dans le cas de la modélisation VAR on ne peut pas utiliser le test de Durbin et Watson, puisque parmi les hypothèses de validité de ce test est que la variable dépendante ne doit pas apparaître comme variable explicative retardée dans le modèle. En utilisant, ici, le Test de Breusch-Godfrey pour tester des autocorrélations. Ce test a l'avantage que la variable dépendante peut apparaître comme variable explicative retardée dans le modèle (modèle autorégressif) et les autocorrélations peuvent être supérieures à l'ordre 1. Le logiciel Eviews offre le test de Breusch-Godfrey. Nous remarquons que toutes les probabilités sont supérieures à 0.05 (tableau 3) ; donc on accepte l'hypothèse nulle de non autocorrélation des erreurs.

TABLEAU 3
TEST DE BREUSCH-GODFREY

Retards	LM-Stat	Probabilité
1	2.652145	0.6176
2	3.345001	0.5018
3	1.309303	0.8598
4	0.911871	0.9229
5	0.680023	0.9538
6	0.651731	0.9571
7	1.812085	0.7703
8	7.745181	0.1014
9	2.059875	0.7247
10	6.592975	0.1590

4 ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

4.1 Estimation VAR(1)

Nous estimons le modèle VAR(1) par la méthode MCO, équation par équation indépendamment l'une de l'autre¹. Le résultat de l'estimation est donné par le tableau 4.

TABLEAU 4
L'ESTIMATION DU VAR(1)

	PIB	BREVETS
PIB (-1)	-0.228511 (0.17426)	-1.174777 (1.55712)
	[-1.31134]	[-0.75446]
	0.022975	0.410557
BREVETS (-1)	-(0.01913)	(0.17098)
	[1.20073]	[2.40118]
C	0.054569 (0.00882)	0.081220 (0.07878)
	[6.18957]	[1.03099]

écart-type entre () & t-stat entre []

Source : nos résultats à partir d'Eviews.

4.2 Stabilité de VAR : Valeurs propres du polynôme caractéristique

Un processus VAR(p) est stationnaire (stable) si toutes les racines du polynôme caractéristique sont à l'extérieur du cercle unitaire. C'est-à-dire que toutes les valeurs propres de la matrice sont en module inférieures à 1. Pour cela on trace le cercle des valeurs propres. Nous remarquons que les deux valeurs propres sont à l'intérieur du cercle unitaire (graphique 3).

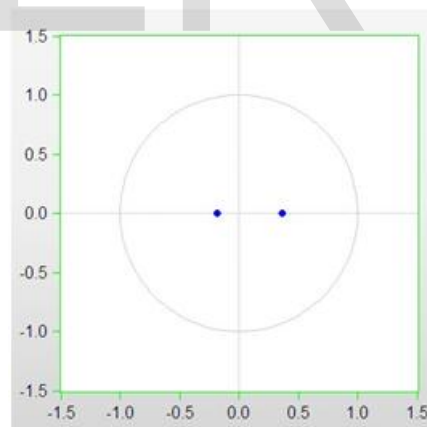


Fig. 3 - Valeurs propres du polynôme caractéristique.

4.3 Etude de la causalité au sens de Granger

La question est de savoir maintenant est-ce que l'une des ces variables (PIB, BREVETS) est causalement liée à l'autre? Pour répondre à cette question, nous avons utilisé le concept de causalité de Granger. En effet une variable Y_t est dite Granger-causée par Y_{t-1} si les informations courantes et passées de Y_{t-1} aident à améliorer les prévisions de Y_t . Dans ce contexte, le modèle VAR(1) utilisé sera testé. L'application

¹ « Dans le cas d'un processus VAR, chacune des équations peut être estimée par les MCO, indépendamment les unes des autres ... » Régis Bourbonnais, 2009, Dunod, Paris

de test de Fichier sur les résultats empiriques trouvés, montre l'absence d'un effet causale entre le brevet et le PIB dans le cas de l'économie tunisienne durant la période étudiée (tableau 5).

TABLEAU 5

TEST DE CAUSALITE AU SENS DE GRANGER POUR VAR BI-VARIE

Hypothèse nulle:	Obs	F-Stat.	Prob.
BREVETS does not Granger Cause PIB	34	1.441750	0.2390
PIB does not Granger Cause BREVETS		0.569200	0.4563

4.4 Interprétation de résultats

L'évolution de taux de croissance de brevets dépend, positivement, de lui-même retardée d'une période. Le coefficient 0.410557 (tableau 4) est statistiquement significatif au seuil de 5% (le t de student 2.40118 > 2.042 valeur tabulée). Cela signifie, qu'une augmentation de 10% de taux de croissance de brevets retardée d'une période donne une augmentation de taux de croissance de brevets de 4.1%. Ce résultat montre que le brevet désigne à la fois l'input et l'output de la recherche. Les brevets à la date « t », qui sont l'output de la recherche d'aujourd'hui, constituent l'input utilisé pour produire les innovations brevetées à la date « t+1 ». Ainsi, la prédiction théorique que le brevet est un moteur de l'innovation, trouve ici une confirmation. Le brevet est donc un instrument de politique économique pour encourager l'investissement en recherche et développement. Plus des brevets donnent plus d'innovations et donc plus des brevets et ainsi de suite.

Conformément aux prédictions des théories de croissance endogène fondée sur l'innovation, le taux de croissance de PIB est lié positivement au taux de croissance de brevets retardée d'une période. C'est bien conformément à la logique économique que les innovations d'aujourd'hui (les brevets à la date « t ») ne trouvent ses application industrielle qu'après un retard de temps de moins une période. Toutefois, ce coefficient (0.022975 (tableau 4)) est statistiquement non significatif au seuil de 5% (le t de student 1.20073 < 2.042 valeur tabulée), d'où l'absence d'une relation de causalité au sens de grangère entre les deux variables étudiées (Tableau 5, les deux probabilités sont supérieures à 0.05).

. Ce résultat ne constitue pas une infirmation de la théorie, mais il est expliqué par, au moins, deux points :

Le premier point est d'aspect méthodologique : le brevet comme indicateur des connaissances n'est pas un indicateur parfait, puisque le secret joue aussi un rôle non négligeable. Ainsi, la propension à breveter varie selon les secteurs. Le brevet constitue une mesure quantitative des idées, il ne reflète pas la valeur qualitative des connaissances. En effet, l'output de la recherche est sous-estimé car seulement une partie de la connaissance existante donne lieu à des brevets.

Le deuxième point est spécifique de l'économie tunisienne, il est déjà signalé au niveau de premier chapitre de ce travail : les climats d'innovation en Tunisie, sont entravés par des faiblesses des éléments clés de la connaissance. Cette faiblesse du système de recherche nationale et des inventeurs nationaux revient essentiellement à la quasi-absence du secteur privé de la sphère de la R&D. En 2000, seulement 9% des dépenses de la R&D ont comme origine des fonds privés, le reste est d'origine publique (91%). Aussi, le ratio dépense en R&D /

PIB représente moins de 1% jusqu'à 2004, ce qui ne favorise pas la modernisation technologique et, donc, l'obtention des brevets.

5 ETUDE DE ROBUSTESSE

Cette section tend à fournir quelques indications sur la robustesse des résultats trouvés ci-dessus. En effet, nous allons effectuer une estimation d'un modèle VAR où en introduisant la variable dépense en recherche et développement pour représenter l'input de la recherche. Les données sur cette variable est disponible auprès du Secrétariat d'Etat à la Recherche Scientifique et Technologique (SERST) pour la période 1992-2010. Le graphique 4 montre l'évolution de dépense en R&D, ainsi que le graphique 5 illustre l'évolution de taux de croissance de cette variable. La série taux de croissance de la dépense en R&D est stationnaire en niveau.

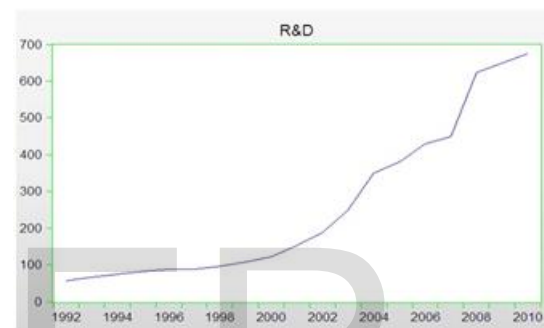


Fig. 4 - évolution de la dépense en R&D durant la période 1992/2010.

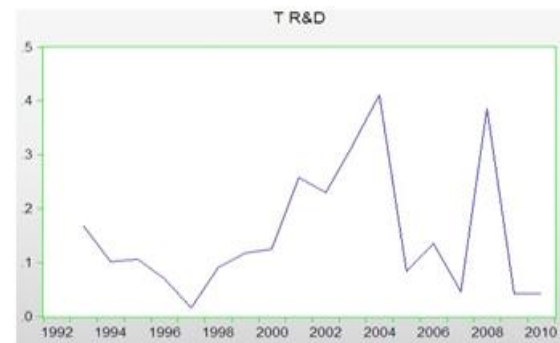


Fig. 5 - taux de croissance la dépense en R&D durant la période. 1992/2010

Le tableau 6 présente le résultat de l'estimation de notre modèle VAR (2) tri-varié : taux de croissance de PIB, taux de croissance des brevets et taux de croissance de dépense en R&D.

Le résultat montre quatre relations statistiquement significatives au seuil de 10% :

un effet positif entre les brevets déposés à « t-1 » et les brevets déposés à « t » ; (2.08062 > 1.8331 valeur tabulée, 9 degrés de liberté). Cette relation déjà trouvée et expliquée au niveau de l'estimation de VAR (1).

Un effet positif entre les brevets déposés durant la période

précédente et la croissance économique d'aujourd'hui (2.16696 > 1.8331 valeur tabulée, 9 degrés de liberté). Pour le modèle VAR(1) bi-varié cette relation est non significative. toutefois lorsque nous avons introduit la troisième variable qui représente l'input de la R&D, cette relation a devenu statistiquement significative. Une évolution de dépôt des brevets de l'année « t-1 » de 10% provoque une évolution, dans le même sens, de la croissance économique de l'année « t » de 0.46%.

Un effet positif entre la dépense en R&D à « t-1 » et les brevets déposés à « t » (1.84234 > 1.8331 valeur tabulée, 9 degrés de liberté). Les brevets représentent l'output de la recherche alors que la dépense en R&D désigne l'input du secteur de la recherche et développement.

Un effet positif entre la dépense en R&D à « t-1 » et elle même à « t » (1.91093 > 1.8331 valeur tabulée, 9 degrés de liberté). Les fruits de la dépense en recherche et développement d'aujourd'hui constituent des ressources pour des futures recherches.

Ces résultats confirment bien la théorie de croissance endogène fondée sur l'innovation. Le brevet constitue un vecteur de la croissance économique à travers la promotion de l'innovation. Cette théorie trouve aussi une confirmation par le test de causalité au sens de Granger, qui montre une relation de causalité de la dépense en R&D vers les brevets (tableau 20). Ainsi, tout investissement en R&D est au profit de l'innovation qui est en faveur de la croissance économique. Le brevet étant le trait d'union entre l'innovation et la croissance.

Ainsi, nos résultats empiriques confirment bien notre intuition théorique, selon laquelle le brevet constitue un instrument de politique économique pour l'innovation au profit de la croissance. Cet instrument permet d'encourager l'investissement en matière de recherche pour promouvoir l'innovation et favoriser la croissance économique.

Comparativement à nos résultats, une étude a été réalisée par Karine Pellier [29] sur l'influence de la propriété intellectuelle sur la croissance économique française durant la période 1791/1945, a abouti à une infirmation de modèle de Romer [5]. Ce travail a utilisé les dépôts de brevets comme proxy de la production de technologique, le PIB pour rendre compte de la croissance économique et le nombre de doctorats accordés pour mesurer l'input de la recherche. Cette étude a prouvé l'existence de trois relations de causalité : la première concerne l'effet du taux de croissance du nombre de doctorats sur le taux de croissance du PIB. La deuxième s'impose de la croissance économique vers le taux de croissance du nombre de brevets déposés. La troisième reflète l'effet du taux de croissance du nombre de doctorats sur le taux de croissance du nombre de brevets déposés.

Guellec et Ralle [4] ont montré une relation statistiquement significative entre le nombre de biens (le nombre de brevets déposés aux États-Unis par les résidents durant la période 1902-1985) et le nombre de chercheurs (nombre de doctorats accordés aux États-Unis). Ce qui prouve bien la position de brevet comme étant un instrument de politique économique dans un cadre de croissance endogène.

TABLEAU 6
L'ESTIMATION DU VAR (2) TRI-VARIE

	PIB	BREV	R&D
--	-----	------	-----

	-0.443759	-4.905984	3.042222
PIB (-1)	(0.35580)	(5.86726)	(3.27972)
	[-1.24722]	[-0.83616]	[0.92759]
	0.126209	-0.320379	1.543645
PIB (-2)	(0.30172)	(4.97549)	(2.78123)
	[0.41830]	[-0.06439]	[0.55502]
	0.046493	0.736141	-0.117393
BREVETS (-1)	(0.02146)	(0.35381)	(0.19777)
	[2.16696]	[2.08062]	[-0.59357]
	-0.025131	-0.551361	-0.257518
BREVETS (-2)	(0.02092)	(0.34498)	(0.19284)
	[-1.20129]	[-1.59824]	[-1.33540]
	-0.066539	-0.354038	0.039672
R&D (-1)	(0.03629)	(0.59849)	(0.33455)
	[-1.83338]	[-0.59156]	[0.11858]
	-0.021742	0.795708	0.682451
R&D (-2)	(0.03874)	(0.43190)	(0.35713)
	[-0.56118]	[1.84234]	[1.91093]
	0.074468	0.282446	-0.089445
C	(0.02349)	(0.38737)	(0.21653)
	[3.17013]	[0.72914]	[-0.41308]

écart-type entre () & t-stat entre []

Source : nos résultats à partir d'Eviews.

TABLEAU 7
TEST DE CAUSALITE AU SENS DE GRANGER POUR VAR TRI-VARIE

Hypothèse Nulle:	Obs	F-Stat.	Prob.
BREVETS does not Granger Cause PIB	14	0.596180	0.6817
PIB does not Granger Cause BREVETS		1.052520	0.4653
R&D does not Granger Cause PIB	14	0.960140	0.5018
PIB does not Granger Cause R&D		0.268910	0.8863
R&D does not Granger Cause BREVETS	14	5.970520	0.0382
BREVETS does not Granger Cause R&D		0.751370	0.5976

6 CONCLUSION

Nous avons, prouvé, conformément aux prédictions des théories de croissance endogène fondée sur l'innovation, l'existence d'une relation positive entre le taux de croissance de PIB et le taux de croissance de brevets retardée d'une période. C'est qui confirme la logique économique, suivant laquelle les innovations d'aujourd'hui (les brevets à la date « t ») ne trouvent ses applications industrielles qu'après un retard de temps de moins une période. En outre, le test de causalité au sens de Granger, a montré une relation causale entre la dépense en R&D et les brevets. Ainsi tout investissement en R&D est au profit de l'innovation qui est en faveur de la croissance économique. Le brevet étant le trait d'union entre l'innovation et la croissance. Ainsi, le brevet constitue un vecteur de croissance économique à travers la promotion de l'innovation. Ce que prouve que le brevet constitue un instrument de politique économique pour l'innovation au profit de la croissance.

REFERENCES

- [1] D. North, "Institutions, Institutional Change and Economic Performance", Cambridge University Press, 1990.
- [2] J. Schumpeter, "Théorie de l'évolution économique. Recherche sur le profit, le crédit, l'intérêt et le cycle de la conjoncture", 1911. Traduction française (1983), Dalloz, Paris
- [3] W. Nordhaus, "Invention, Growth and Welfare", MIT Press, 1969.
- [4] D. Guellec et P. Ralle, "Innovation, propriété intellectuelle, croissance", Revue Economique, Nouvelles théories de la croissance, No.2, mars 1993.
- [5] P. Romer, "Endogenous Technological Change", Journal of Political Economy, Vol.98, pp.71-102, 1990.
- [6] L.C. Keely, "Using Patents in Growth Models", University of Wisconsin mimeo, 2000.
- [7] H. Hotelling, "Stability in Competition", Economic Journal, Vol. 39, No. 153, pp. 41-57, 1929.
- [8] E. Chamberlin, "Theory of Monopolistic Competition: A Re-orientation of Theory of Value", Harvard University Press, 1933.
- [9] F. Scherer, "Nordhaus' Theory of optimal patent life: a geometric reinterpretation", American Economic Review, vol. 62, pp. 422-427, 1972.
- [10] G.M. Grossman et E. Helpman, "Quality Ladder in the Theory of Growth", Review of Economic Studies, Vol. 58, pp. 43-61, 1991 b.
- [11] J. Nyssen, "Le modèle de croissance endogène avec microéconomie de l'innovation", Thèse de Doctorat en Sciences Economiques, Université de la Méditerranée Aix Marseille II, 1995.
- [12] P. Aghion et P. Howitt, "A Model of Growth through Creative Destruction", Econometrica, vol.60, No.2, pp. 323-351, 1992.
- [13] R. Caballero et A. Jaffe, "How High are the Giants Shoulders: An Empirical Assessment of Knowledge Spillovers and Creative Destruction in a Model of economic Growth", in Blanchard O. et Fisher S. Eds.: NBER Macroeconomic Annual, Cambridge, MIT Press, 1993.
- [14] P. Segerstrom, "The long-Run Growth Effects of R&D Subsidies", Journal of Economic Growth, Vol.5, No.3, pp.277-305, 2000.
- [15] R. Gilbert et C. Shapiro, "Optimal Patent Length and Breadth", RAND Journal of Economics, Vol.21, pp.106-112, 1990.
- [16] P. Klemperer, "How broad should the scope of patent be?", RAND Journal of Economic, Vol. 21, pp. 113-130, 1990.
- [17] N. Gallini, "Patent Policy and Costly Imitation", RAND Journal of Economics, Vol.23, pp.52-63, 1992.
- [18] C.W. Li, "Endogenous Growth without Scale Effects: Comment", Department of Economics, University of Glasgow Working Paper, 1999a.
- [19] C. Matutes, P. Regibeau et K. Rockett, "Optimal Patent Design and the Diffusion of Innovations", RAND Journal of Economics, The RAND Corporation, vol. 27(1), pages 60-83, Spring, 1996.
- [20] M. La Manna, "Optimal Patent Life vs. Optimal Patentability Standards", International Journal of Industrial Organization, Vol. 10, pp. 81-89, 1992.
- [21] R.M. Hunt, "Nonobviousness and the Incentive to Innovate: An Economic Analysis of Intellectual Property Reform", Federal Reserve Bank of Philadelphia, Working Paper No. 99-3, 1999.
- [22] C-W. Li (1999b), "Stochastic Variety Innovation in a Growth Model", Working Paper Department of Economics University of Glasgow, août 1999.
- [23] T. O'Donoghue, S. Scotchmer et J.F. Thisse, "Patent Breadth, Patent Life, and the Pace of Technological Progress", Journal of Economics & Management Strategy, Vol. 7, No. 1, pp. 1-32, 1998.
- [24] C. W. J. Granger, "Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods", Econometrica, pp. 424 - 438, 1969.
- [25] D. A. Dickey et W.A. Fuller, "Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root". Journal of the American Statistical Association 74 (366): pp. 427-431, 1979.
- [26] Z. Griliches, "Patents Statistics as Economic Indicators: A Survey", Journal of Economic Literature, Vol. 28, pp. 1661-1707, 1990.
- [27] T.S. Breusch, A. Pagan, "Simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation", Econometrica, The Econometric Society, vol. 47, no 5, pp. 1287-1294, 1979.
- [28] H. White, "A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity". Econometrica 48 (4): pp.817-838, 1980.
- [29] K. Pellier, « Propriété intellectuelle et croissance économique en France, 1791 - 1945 : une analyse cliométrique du modèle de Romer », Economies et sociétés; 39,7. - Paris : Presses de l'ISMEA. - 2005, pp. 1299-1321, 2005.