Propriété intellectuelle et croissance économique en France : 1791-1945.
Une analyse cliométrique du modèle de Romer.

Karine PELLIER[1]
LAMETA[2]
Université Montpellier I

JEL : C32, N13, N14, O30

Résumé

Cet article concerne l'étude de l'influence de la propriété intellectuelle sur la croissance économique française au cours de la période 1791-1945. Après un rappel des hypothèses théoriques défendues par les théories modernes de la croissance, nous présentons les méthodes économétriques utilisées ainsi que les résultats obtenus. En mesurant la production de technologies par les dépôts de brevets, nos résultats aboutissent à une infirmation empirique du modèle de Romer (1990).

Mots-clés : Cliométrie, croissance, développement, innovation, propriété intellectuelle, recherche.

Abstract

This paper deals with the study of the impact of intellectual property in French economic growth during the period 1791-1945. After a brief discussion of the assumptions maintained by the modern growth theories, we present the econometric methods used as well as the results obtained. By measuring the production of technologies by the patents delivered, our results lead to a calling into question of the empirical pertinence of Romer's model (1990).

Keywords : Cliometrics, growth, development, innovation, intellectual property, research.

I – INTRODUCTION

Dans l'analyse des facteurs explicatifs de la croissance, les théories de la croissance endogène, apparues dès la fin des années 1980, se démarquent de la tradition Solowienne jusqu'alors focalisée sur l'obtention d'une croissance stable et durable. Les travaux précurseurs de Paul Romer (1986, 1990) et de Robert Lucas (1988) placent le rôle des « idées » et du capital humain au cœur de la problématique de la croissance.

[1]Je tiens à remercier vivement Claude Diebolt pour les conseils et commentaires qu'il m'a apporté au cours de la préparation de ce travail.
[2]Faculté des Sciences Economiques, Espace Richter, Avenue de la Mer, B.P. 9606, 34054 Montpellier Cedex 1. Tél. 04.67.15.83.16, Fax. 04.67.15.84.67, E-mail : pellier@lameta.univ-montp1.fr

Notre recherche s'organise en deux parties. La première énonce les hypothèses émises par quelques-unes des théories modernes de la croissance et relatives à la nature et à l'influence du changement technique dans le développement économique. Trois conceptions du rôle du progrès technique sont abordées : la « vision » Schumpétérienne de la croissance, l'approche néoclassique et exogène du progrès technique et enfin l'endogénéité du progrès technique, une conception défendue par les nouvelles théories de la croissance. La seconde partie procède à la vérification empirique des prédictions du modèle de Romer (1990). La relation fondamentale testée est que plus une économie consacrera de capital humain au secteur de la recherche-développement (R&D), plus son stock de connaissances accumulées sera important et son taux de croissance sera d'autant plus élevé.

II – HYPOTHESES THEORIQUES

D'une manière générale, les théories modernes de la croissance vont attribuer un rôle central au progrès technique dans le processus de croissance.
Joseph Schumpeter[3] est considéré comme l'un des premiers économistes à avoir isolé l'innovation comme principal facteur de la dynamique du développement capitaliste. Le point de départ de sa réflexion consiste à définir un univers néoclassique dans lequel le système économique se réduit à un simple circuit ou flux circulaire, c'est-à-dire à une perpétuelle reproduction à l'identique de l'activité économique. Tout est donné, que ce soit la population, les goûts, l'environnement ou la fonction de production. Le système possède seulement deux facteurs de production : les facteurs naturels (terre…) et le travail, qui ont une rémunération identique. Les périodes sont emboîtées les unes dans les autres de sorte que chaque bien produit sera consommé à la période suivante et un mécanisme d'ajustement permettra de connaître les quantités nécessaires au maintient du système. Etant donné que le prix d'un bien correspond à la somme du prix de ses facteurs, le profit est nul et les seuls revenus sont la rente et le salaire. Dans un tel système aucun changement n'apparaît que ce soit dans la sphère réelle ou dans la sphère monétaire. Comme la répétition à l'identique des actions précédentes assure une parfaite satisfaction des besoins, il en découle que les anticipations sont réalisées d'une période à l'autre, que les revenus couvrent les dépenses et que l'épargne et le stockage n'ont pas lieu d'être. La monnaie n'est pas considérée comme un bien de réserve, mais seulement comme instrument de transaction. Schumpeter est évidemment conscient que cette description est très simplificatrice et abstraite, mais elle lui est nécessaire pour poser les bases de son analyse du développement économique. L'économie qu'il décrit fournit une étude des interdépendances économiques au sein d'une économie invariante mais ne rend pas compte du caractère évolutionniste du système. Le seul moyen qui apparaît à Schumpeter pour provoquer l'évolution du système consiste à recourir à un facteur qualitatif. L'évolution est un phénomène qui affecte le circuit de façon spontanée, globale, discontinue et dont l'origine se situe dans le processus productif lui-même. Dans ce cadre walrasien, les seuls changements admis sont internes et uniquement d'ordre économique, ce qui exclut les facteurs historiques, politiques et sociaux. Ainsi, les changements ne peuvent provenir que des modifications des goûts, des techniques, des ressources ou de l'innovation. Parmi tous ces facteurs, Schumpeter considère que

[3]Perroux François (1993). Oeuvres Complètes, Vol. 5, Marx - Schumpeter - Keynes, *Presses universitaires de Grenoble*, Grenoble.

l'innovation technique (ou nouvelle combinaison productive) est l'unique instrument logique qui puisse expliquer le développement économique. L'innovation est un changement qualitatif qui apparaît de manière discontinue sous forme de « grappes d'innovations » et se distingue de l'invention du fait qu'elle soit conçue en vue d'une réalisation économique. Cinq types d'innovations peuvent être identifiés :

- La fabrication d'un bien nouveau ou d'une qualité nouvelle d'un bien ;
- L'introduction d'un nouveau procédé de fabrication ;
- L'ouverture d'un nouveau débouché ;
- La découverte d'une nouvelle source de matières premières ;
- La mise en oeuvre d'une nouvelle méthode d'organisation de la production.

Chacune de ces catégories conduit à un changement de la fonction de production, mais l'innovation ne se réalise pas d'elle-même. Le moteur de l'évolution du système économique est l'innovation, qu'un acteur particulier, l'entrepreneur, introduit grâce au crédit bancaire. La création de crédit par les banques est considérée comme « le complément monétaire de l'innovation », son rôle est donc essentiel dans la dynamique du capitalisme. Pour Schumpeter, l'entrepreneur n'est pas l'inventeur qui fait une découverte, mais c'est celui qui saura l'introduire dans l'industrie sous forme d'une innovation. Il apparaît comme un personnage central du monde économique : c'est un innovateur, qui va prendre des risques en introduisant l'innovation et qui, contrairement à l'entrepreneur walrasien, va réaliser des « profits monopolistiques ». Mais c'est aussi un perturbateur qui va détruire l'équilibre préexistant en réalisant une combinaison nouvelle. A côté de l'entrepreneur innovateur, l'imitateur va suivre la voie de l'innovation sous l'attrait des profits réalisés par les innovateurs. Une des motivations qui pousse l'entrepreneur à innover est l'espérance d'un gain supérieur à la moyenne. Selon Schumpeter, la mise en œuvre de l'innovation conduit à l'établissement de monopoles temporaires et nécessaires à la bonne marche du capitalisme. Effectivement, avec les surprofits qu'ils reçoivent, les monopoles peuvent consacrer davantage de ressources à la recherche, ce qui aura un effet bénéfique sur le taux d'innovation. De même, l'innovation engendre des externalités positives en termes d'entraînement sur des secteurs économiques et de création de nouvelles activités.

Schumpeter montre qu'une fois perturbée l'économie se dirige vers un autre état d'équilibre général dans lequel la nouvelle combinaison productive devient la norme. Mais pour cela, les profits et l'innovation doivent être éphémères, ce qui implique que les innovations n'apparaissent qu'en groupes discrets. Schumpeter considère que lorsque les innovations sont « achevées », de nouveaux produits ou nouveaux procédés vont entrer sur le marché et faire mieux que les précédents. L'entrepreneur va alors bénéficier de profits lui permettant de rembourser son emprunt. Mais ces profits provoquent également des pertes et des faillites aux entreprises anciennes et devenues à présent inefficaces. Après quelques temps, l'innovation se termine, les profits disparaissent et l'économie finit par retourner à un flux circulaire constant. Elle y reste jusqu'à ce qu'un nouveau groupe d'innovations survienne et entraîne de nouveau le circuit économique dans une sorte d'évolution cyclique.
Cette dynamique du capitalisme est qualifiée par Schumpeter de « processus de destruction créatrice ». En effet, « *La destruction créatrice est un processus interne au capitalisme qui révolutionne incessamment de l'intérieur la structure économique, en*

le produit et le capital par tête. Cette hypothèse associée au fait que le facteur travail L n'est pas accumulable, implique que f est à rendements marginaux décroissants.

La variation du stock de capital est égale à la différence entre l'investissement brut et la dépréciation du capital (au taux constant δ). Etant donné que l'économie est fermée, l'investissement est égal à l'épargne (équilibre sur le marché des biens).
Ainsi :

$$I = S = sY \text{ et } \dot{K} = sY - \delta K \qquad (2)$$

Du fait de l'équilibre du marché du travail et si la population croît au taux n constant et exogène, alors il est possible de déterminer le taux de croissance du facteur travail :

$$L_t = L_o e^{nt} \rightarrow \frac{\dot{L}}{L} = n \qquad (3)$$

Le régime régulier de croissance est déterminé à partir de l'équation différentielle donnant l'évolution du capital par tête $\dot{k}$:

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{L}}{L} = \frac{sY - \delta K}{K} - \frac{\dot{L}}{L}$$

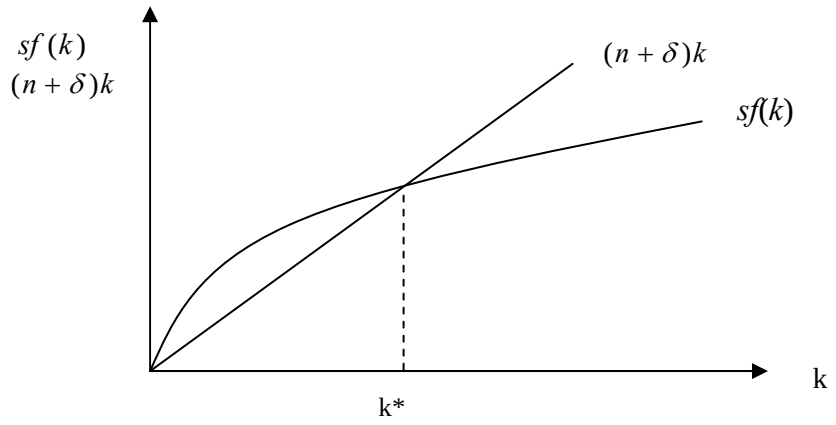
A partir de (1), (2) et (3) il vient : $\frac{\dot{k}}{k} = \frac{sY}{K} - \delta - n = \frac{sy}{k} - \delta - n$

Ce qui permet d'obtenir l'équation dynamique fondamentale du capital :

$$\dot{k} = s f(k) - (\delta + n)\, k \qquad (4)$$

L'interprétation économique de cette dernière équation suggère que l'investissement par travailleur, $sf(k)$ augmente le capital par tête k alors que la dépréciation du capital par tête δk le réduit. Quant au terme nk, il indique que k est réduit par la croissance de la population. Par conséquent, l'augmentation nette de k est la résultante de ces trois facteurs.

La croissance équilibrée est atteinte lorsque l'intensité capitalistique k est constante au cours du temps ($\dot{k}$=0), soit : $sf(k) = (n + \delta)k$. Les conditions d'Inada imposées à la fonction de production assurent l'existence, l'unicité et la stabilité de l'équilibre. (Cf. Graphique 1)



Graphique 1 : équilibre dans le modèle de Solow

Concernant la stabilité de l'équilibre, trois cas sont envisageables :

- *Premier cas* : si $\dot{k}=0$, alors $k^*=k$ et $sf(k) = (n+\delta)k$. Il s'agit de l'état stationnaire ou régulier. En ce point, l'économie suit un sentier de croissance équilibrée. Les variables par tête (capital, produit, consommation) s'accumulent au même rythme et ont un taux de croissance nul. Les variables absolues (Y, C, K) croissent au même taux que la force de travail *n*. Comme la croissance est mesurée par l'augmentation de la production par tête, elle cesse donc sur le long terme.

- *Deuxième cas* : si $k<k^*$, alors $sf(k) > (n+\delta)k$ et $\dot{k} > 0$. L'investissement effectif, obtenu en utilisant intégralement la capacité d'épargne disponible, est supérieur au montant d'investissement nécessaire pour maintenir constant le capital par travailleur. Grâce à la substituabilité des facteurs, l'intensité capitalistique *k* va s'accroître pour atteindre la valeur k^*. Selon Solow, une économie croîtra d'autant plus vite que son stock de capital initial est éloigné de la valeur d'état régulier. Ainsi, elle aura toutes les chances de rattraper son retard vis à vis des pays mieux dotés en capital.

- *Troisième cas* : si $k>k^*$, alors $sf(k) < (n+\delta)k$ et $\dot{k} < 0$. C'est le cas inverse. L'intensité capitalistique *k* va décroître pour atteindre la valeur k^*.
Quelle que soit la valeur initiale du capital par tête *k*, il y existe une possibilité de réajustement automatique de sorte que le système converge toujours vers le sentier de croissance équilibrée.

A l'état stationnaire, le modèle de Solow est compatible avec la plus part des « faits stylisés » de la croissance économique décrits par Kaldor. L'existence de rendements décroissants du capital dans ce modèle ainsi que l'absence de progrès technique fait inévitablement tendre la croissance à long terme vers zéro. Afin de rendre compte d'une croissance continue du produit par tête, Solow a introduit dans son modèle le concept de progrès technique autonome. Ce progrès technique s'applique à toutes les générations de capital ou de main d'œuvre sans tenir compte de leur âge. Il apparaît alors comme une déformation de la fonction de production au cours du temps.

La prise en compte du progrès technique consiste à introduire une variable technologique *A* dans la fonction de production de type Cobb-Douglas :

$$Y = F(K, AL) = K^{\alpha}(AL)^{1-\alpha} \qquad (5)$$

La variable *A* reflète l'état des connaissances techniques sous la forme d'un progrès technique « neutre au sens de Harrod », c'est à dire qui améliore l'efficacité du facteur travail et laisse inchangé le coefficient de capital. D'après Solow, le progrès technique est exogène[7], c'est une « manne tombée du ciel » dont l'action est automatique et indépendante des circonstances économiques. Dans ces conditions, le changement technique ne résulte en aucun cas des effets d'apprentissage ni des conséquences

[7]La rémunération des facteurs de production s'effectuant à leur productivité marginale, le fait de ne pas introduire la technologie *A* comme argument de la fonction de production permet de conserver l'hypothèse de rendements d'échelle constants en accord avec l'équilibre concurrentiel walrasien.

d'efforts spécifiques de recherche-développement. Il est considéré comme un bien libre, dont les mécanismes incitatifs pour investir dans son développement sont nuls.
L'accumulation du progrès technique s'effectue au taux constant g :

$$A = A_0 e^{gt} \rightarrow \frac{\dot{A}}{A} = g$$

L'équation d'accumulation du capital n'est pas modifiée par l'introduction du progrès technique, elle s'écrit toujours :

$$\dot{K} = sY - \delta K \qquad (6)$$

Etant donné que $\dot{L}/L = n$, $\dot{A}/A = g$ et que $\dot{K}$ est donné par l'équation (6), la condition de croissance équilibrée devient :

$$\dot{\tilde{k}} = s\tilde{k}^{\alpha} - (n + g + \delta)\tilde{k} \qquad \text{avec } n+g+\delta > 0$$

Concernant la stabilité de l'équilibre les résultats établis précédemment pour le modèle de Solow de base restent valables. Si l'économie se trouve en dehors du sentier d'équilibre, alors elle y retournera spontanément. Les prédictions du modèle de Solow avec progrès technique sont les suivantes. A l'état régulier de long terme :

- Le ratio capital/travail effectif (K/AL) et la production par unités de travail effectif (Y/AL) sont constants.
- Les grandeurs par tête : le capital, la production et la consommation par travailleur augmentent au même rythme que le progrès technique, au taux g.
- Les variables de niveau : la production, le stock de capital, la consommation et le travail effectif croissent au même taux qui est la somme du taux de croissance de la population et du taux de croissance du progrès technique $(n+g)$.

Le modèle de Solow, publié en 1956, s'est imposé comme le modèle de référence des théories néoclassiques de la croissance. Il exprime, dans un cadre de croissance macro-économique, des idées issues de la formalisation de l'équilibre général de Walras : concurrence parfaite, rendements non croissant... L'objectif visé est de présenter un modèle où il est possible d'obtenir une croissance stable et durable. Cependant, le modèle de base que propose Solow n'explique pas réellement la croissance et se présente plutôt comme une représentation de la production et des ajustements de moyen terme. La seule source de la croissance qui est prise en compte est l'accumulation de l'unique facteur accumulable : le capital physique. Ce facteur étant soumis à une productivité marginale décroissante, la croissance économique ne peut être considérée que comme un phénomène transitoire. C'est l'introduction d'un progrès technique indépendant de l'évolution des inputs qui permet à la croissance du produit par tête de perdurer. Mais cette croissance reste exogène puisqu'elle n'est en aucun cas engendrée par le système économique lui-même. La théorie néoclassique se trouve alors face à un résultat paradoxal : elle considère comme exogène un facteur (le progrès technique) qui représenterait pourtant les 7/8ièmes de la croissance constatée[8].

[8]Solow R. (1957). « Technical Change and the Aggregate Production Function », *The Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320.

Cette approche exogène et restrictive du progrès technique est remise en cause par les nouvelles théories de la croissance, dites aussi théories de la croissance endogène. Celles-ci cherchent à expliquer la croissance économique de long terme par un changement de technique endogène. C'est le comportement des agents économiques, motivés par le gain, qui va déterminer le rythme de la croissance. Les théories de la croissance endogène reprennent les idées de Schumpeter en donnant au progrès technique une modélisation plus précise que les anciennes théories. Le modèle que propose Romer en 1990 est basé sur la différenciation horizontale des produits. La différenciation horizontale, modélisée dès 1977 par Dixit et Stiglitz[9], désigne l'augmentation du nombre de variété de biens disponibles. Chaque nouveau bien vient s'ajouter aux anciens et élargit le choix offert aux consommateurs. Le modèle que propose Romer repose sur trois postulats. Tout d'abord, le progrès technique est au cœur de la croissance. Cette idée reprend celle de Solow (1957) où l'accumulation du capital combiné au progrès technique explique une part considérable de l'amélioration de la productivité. Ensuite, le progrès technique est endogène : il résulte des décisions volontaires d'individus cherchant à maximiser leur utilité et leur profit. Enfin, les modalités de mise en œuvre des innovations technologiques sont totalement différentes des modalités d'utilisation des autres biens économiques. Il en découle que la technologie, en tant qu'ensemble d'instructions et de plans de fabrication permettant l'élaboration de biens intermédiaires, est un bien non rival et son usage est partiellement exclusif.

Quatre inputs de base apparaissent dans le modèle : le capital physique, *K*, mesuré en unité de biens consommés ; le travail, *L*, mesuré en nombre de personnes ; le capital humain, *H*, définit en nombre d'années d'instruction ou de formation professionnelle. C'est une composante de nature rivale et à exclusivité d'usage de la connaissance. Le dernier input est un indice, *A,* du niveau de la technologie, qui représente le nombre de produits existants. Il s'agit d'une composante non rivale et son accroissement est sans limite puisque son existence n'est pas liée à celle de l'individu.
A partir de cette spécification, Romer considère une économie à trois secteurs. Dans le secteur de la recherche, le capital humain et le stock de connaissances sont utilisés pour produire des connaissances nouvelles. Il constitue le lieu de production des technologies. Le second secteur est celui des biens intermédiaires. Il met en œuvre les projets développés dans le secteur de la recherche pour produire des biens d'équipement. Le dernier secteur est le secteur des biens finals. Il emploie du travail, du capital humain et l'ensemble des biens d'équipement pour produire des nouveaux outputs.
Chacun des secteurs du système productif peut-être étudié de manière séquentielle. Dans le secteur de la recherche et du développement, la production de projets par le chercheur *j* est une fonction déterministe et continue des inputs qu'il utilise. Si le chercheur *j* possède un montant H_j de capital humain et s'il a accès au stock total *A* de connaissances contenues dans les projets antérieurs, alors sa production sera : $\delta\ Hj\ A.$
La fonction d'accumulation des connaissances est la somme des productions de l'ensemble des chercheurs :

$$\dot{A} = \delta\ H_A\ A$$

[9]Dixit A. et Stiglitz J. (1977). « Monoplistic Competition and Optimum Product Diversity », *American Economic Review*, 67, pp. 297-308.

$H = H_A + Hy$ est la quantité totale de capital humain disponible dans la société ; H_A est le capital humain employé à la recherche (nombre de chercheurs) ; Hy est la part de capital humain alloué à la production de biens finals ; δ est un paramètre de productivité et A représente à la fois le niveau des connaissances technologiques et le nombre de variétés des équipements conçus. C'est un facteur accumulable et de croissance linéaire par hypothèse. La linéarité de A implique que chaque unité supplémentaire de main d'œuvre affectée à la recherche augmente le taux de croissance de la production technologique et non seulement son niveau. Elle autorise ainsi une croissance auto-entretenue. Dans ce secteur, la production connaît des rendements factoriels croissants en raison de la présence d'externalités. Deux types d'externalités positives sont envisagés. Une externalité intertemporelle qui fait qu'un ingénieur d'aujourd'hui possède le même capital humain que celui qui travaillait voilà un siècle, mais il est plus productif car il profite de la somme des connaissances accumulées au cours des années précédentes. La connaissance étant un bien non rival et partiellement exclusif, elle peut, conformément à la tradition néoclassique, être considérée comme un bien public. Ensuite, intervient une externalité interagents, dans le sens où chaque individu bénéficie des connaissances des autres.

Dans le secteur des biens intermédiaires, l'achat de plans ou brevets au secteur précédent par des monopoles entraîne la production de biens d'équipements nouveaux différenciés. Dans ce second secteur, le capital n'est pas considéré comme un bien homogène mais il est défini comme la somme d'un ensemble de biens différents. Il croît avec la production de biens finals épargnée :

$$K = \eta \sum_{i=1}^{A} X_i$$

où K est le stock de capital, X_i la quantité disponible de chaque type de capital i et η le nombre d'unités de consommation épargnées pour créer une unité de chaque type de biens durables. Ce secteur des biens intermédiaires est un secteur monopolistique du fait des rendements croissants dûs à l'achat des brevets. L'entreprise qui achète un brevet attenant à la technologie paie un coût fixe qu'elle pourra ensuite amortir grâce au droit exclusif sur l'usage que lui procurera le brevet. On retrouve ici l'idée schumpétérienne où la concurrence imparfaite par le monopole est nécessaire au développement d'un système fondé sur l'innovation. Néanmoins, dans le modèle de Romer, la diversification des biens confère au monopole une durée de vie infinie pour chacun des biens.

Dans le secteur des biens finals, les biens d'équipement qui sont des inputs sont utilisés ainsi que le travail L, une fraction du capital humain Hy et l'ensemble des équipements disponibles. L'output obtenu sera soit consommé soit épargné en tant que nouveau capital.

La fonction de production homogène de degré 1 est telle que :

$$Y(Hy, L, X) = H_y^{\alpha} L^{\beta} \int_{i=1}^{A} X_i^{1-\alpha-\beta} d_i$$

Cette fonction, présentée par Ethier (1982) est proche d'une Cobb-Douglas à rendements d'échelle constants, ce qui préserve la concurrence. Une augmentation du

nombre des inputs utilisés dans la production, c'est-à-dire une augmentation de A, augmente la production de biens finals. Les inputs X_i constitutifs du capital sont seulement utilisés et non consommés dans la production.

La résolution du modèle consiste en l'allocation du capital humain entre les activités d'innovation et de production d'une part et dans l'allocation du produit entre consommation et investissement d'autre part. A l'équilibre, la croissance sera d'autant plus forte que le capital humain affecté à la recherche est important : $g^* = \frac{\dot{A}}{A} = \delta H_A$. L'accumulation de connaissances technologiques constitue le moteur de la croissance et une économie consacrant une forte part de son capital humain à la recherche aura tendance à croître plus vite qu'une autre. C'est le résultat central du modèle de Romer qui découle de l'hypothèse de linéarité en A. Selon Romer, trop peu de capital humain est consacré à la recherche : le taux de croissance optimal est supérieur au taux de croissance d'équilibre. La raison est que les agents ne prennent pas en compte l'externalité engendrée par les produits de leur recherche, contrairement à ce que ferait un planificateur. Par conséquent, le rendement privé de la recherche est inférieur à son rendement social.

En extension du modèle de Romer, le modèle d'Aghion et Howitt de 1992 s'inscrit davantage dans une perspective Schumpétérienne de la croissance et notamment en ce qui concerne la notion de destruction créatrice. Pour ces auteurs, la croissance est engendrée par une séquence aléatoire d'innovations améliorant la qualité du produit et ces innovations sont le résultat d'activités de recherche risquées. Ainsi, la découverte d'un bien de qualité supérieure exclut complètement les biens de qualité inférieure. L'inventeur d'un nouveau produit élimine les rentes de monopole de ses prédécesseurs et se retrouve lui-même dans une position de monopole temporaire. Leur modèle remet en cause d'une part la durée de vie infinie des biens et donc des monopoles et d'autre part, la recherche n'est plus appréhendée de manière déterministe mais elle revêt un caractère aléatoire dans le sens où elle n'est pas toujours productive.

III – DONNEES ET METHODOLOGIE

Afin de vérifier si, pour le cas de la France et sur la période de 1791 à 1945, le développement des connaissances technologiques a été prépondérant dans l'expansion économique, nous testons une intuition de Claude Diebolt en considérant les taux de croissance des trois variables suivantes : le Produit Intérieur Brut (PIB), le nombre de doctorats accordés en lettres, droit, médecine et sciences en France et le nombre de brevets déposés auprès du service du brevet français. Les véritables données que l'on souhaite analyser n'étant pas disponibles, nous employons des approximations proches des concepts à étudier (Ceteris Paribus). Le PIB est l'indicateur utilisé pour rendre compte de la croissance économique. Pour tester l'hypothèse selon laquelle l'accumulation des connaissances technologiques est le moteur de la croissance, il est nécessaire d'évaluer à la fois l'input et l'output de la recherche. La variable « nombre de doctorats accordés » est choisie pour estimer l'input de la recherche, c'est-à-dire le nombre de chercheurs employés dans le secteur R&D. Considérer que les connaissances sont exclusivement produites par les chercheurs de la R&D est une vision assez

restrictive. Celle-ci exclue la possibilité que le savoir puisse résulter de l'apprentissage par la pratique (*Learning by doing*). Mais le savoir issu de la pratique est un savoir incorporé aux individus et donc difficilement transférable à la collectivité. De plus, il s'applique à des technologies qu'il a fallu d'abord inventer. L'apprentissage par la pratique apparaît alors plutôt comme un complément à l'activité de la R&D dans la production d'innovations technologiques.
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 (1990)[10], le choix du nombre de brevets déposés comme indicateur de la production d'idées ou de l'output de la recherche est convenable. Mais le brevet n'est pas un indicateur parfait. C'est une mesure quantitative qui ne reflète en aucun cas la valeur qualitative des idées. L'output de la recherche s'en trouve sous-estimé car seulement une partie de la connaissance existante donne lieu à des brevets. Aussi, le secret reste une source de protection non négligeable[11]. Malgré ces limites, puisque Romer considère que c'est un savoir technique, matérialisé par des procédés industriels de fabrication, qui induit la croissance, le choix des brevets comme indicateur nous paraît justifié.
Concernant l'origine des données statistiques utilisées, elles proviennent de deux sources principales. La série du PIB a été estimée par J.C Toutain[12]. Les séries des doctorats et des brevets résultent des travaux récents de C. Diebolt (non publiés à ce jour). Pour les doctorats délivrés en France, les données sont issues, pour l'essentiel, de l'Annuaire Statistique de la France, Imprimerie Nationale, Paris (à partir de 1878), de la Statistique de l'Enseignement supérieur : 1865-1868, Imprimerie National, Paris, 1868, de la Statistique de l'Enseignement Supérieur : 1878-1888, Imprimerie Nationale, Paris, 1889 et de la Statistique de l'Enseignement Supérieur : 1889-1898, Imprimerie Nationale, Paris, 1900. Pour les brevets délivrés, les données sont relevées à partir du Journal of the Patent Office Society.

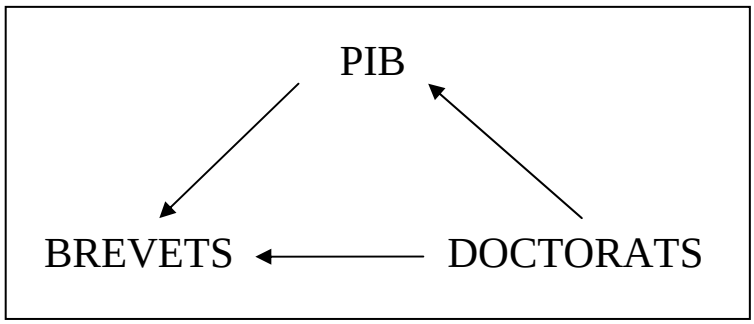
La méthodologie utilisée est principalement la modélisation VAR (Vector Auto Regressive) et la notion de causalité définit au sens de Granger (1969). Cette méthodologie choisie nécessite de procéder en plusieurs étapes[13]. Il convient de vérifier dans un premier temps la stationnarité des séries chronologiques par l'application des tests de Dickey et Fuller (1979, 1981). Une fois les séries rendues stationnaires, la seconde étape consiste à estimer un modèle VAR non contraint à « *p* » retards. Le retard « *p* » optimal des variables retenu est celui qui minimise les critères d'information d'Akaike (AIC) et de Schwarz (SC). Si toutefois les tests de Dickey-Fuller révèlent que certaines séries sont intégrées du même ordre alors une analyse de la cointégration sera nécessaire afin d'éviter tout risque de régressions fallacieuses. L'intérêt de la modélisation VAR est de mettre en évidence, par la simulation de chocs aléatoires, les interactions dynamiques existantes entre les variables. Deux outils permettent l'étude de

[10]Griliches Zvi (1990). « Patent Statistics as Economic Indicators : a Survey », *Journal of Economic Literature*, 28, pp. 1661-1707.
[11]Les études les plus récentes sur la propension à breveter (Evenson [1993], Griliches Z. [1990], Kabla [1998]…) montrent qu'en moyenne cinquante pour cent des produits sont brevetés contre trente pour cent pour les processus, plus facile à maintenir secret.
[12]Toutain J.C (1987) : « Le Produit Intérieur Brut de la France : 1789-1982 », *Economie et Société*, série AF, 15, pp. 1-237.
[13]Pour le lecteur intéressé, cf. les travaux de Diebolt et Litago (1997), Diebolt (2003), Jaoul (2002) ou Doliger (2003).

la dynamique du modèle VAR : les fonctions de réponse impulsionnelle et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. Bien que ces deux méthodes analysent les impacts qu'ont les variables entre elles, elles ne donnent cependant pas d'indication sur le sens de la causalité. Ainsi, l'application du test de causalité de Granger dans une dernière étape permettra de préciser le sens de la relation entre les variables.

IV – RESULTATS

Les tests de Dickey et Fuller confirment le caractère stationnaire des trois séries, ce qui implique qu'aucune transformation n'a été apporté aux séries initiales. La minimisation des critères d'Akaike et de Schwarz conduit à estimer un modèle VAR à un retard (Cf. Annexe 1). Au seuil critique de 5%, le test de causalité de Granger sur séries stationnaires révèle trois relations causales entre les séries (Cf. Annexe 2). Le schéma de causalité ci-dessous illustre les relations causales mises en évidences :



La première relation de causalité correspond à l'influence du taux de croissance du nombre de doctorats sur le taux de croissance du PIB. En ce sens, toute politique en faveur de l'éducation et plus particulièrement en faveur de l'enseignement supérieur aurait des répercutions immédiates sur la croissance économique. Les théories de la croissance endogène, fondées sur le lien direct entre éducation et croissance trouvent ici une confirmation empirique. Le modèle de Lucas (1988) démontre ainsi que le capital humain incorporé aux individus (donc l'éducation) est le moteur exclusif de la croissance. Précisons toutefois que dans cette étude, le facteur éducation se résume simplement au nombre de doctorats, ce qui est très restrictif. De plus, les effectifs des doctorats accordés sont relativement faibles sur la période concernée.

La seconde relation de causalité est celle entre la croissance économique et le taux de croissance du nombre de brevets déposés. La relation de causalité s'effectue dans le sens du PIB vers les brevets. Etant donné qu'il n'y a pas d'effet rétroactif entre ces deux variables, il n'est pas possible d'en déduire que suite à des innovations radicales favorisant la croissance, celle-ci aurait provoquée en retour l'apparition d'innovations successives à l'origine d'un effet de grappe. En revanche, l'influence de la croissance sur les brevets peut s'expliquer par le fait que les brevets seraient en quelque sorte une « réponse » à l'expansion économique que connaît la France

notamment durant la seconde moitié du 19ième siècle et au début du 20ième siècle[14]. Dans cette optique, les brevets déposés auraient eu pour vocation d'optimiser la dynamique économique ou encore d'améliorer le processus productif. Le développement des technologies innovantes viserait alors à satisfaire les nouveaux besoins du marché causés par la croissance du PIB

La dernière relation mise en évidence est l'influence du taux de croissance du nombre de doctorats sur le taux de croissance du nombre de brevets déposés. L'accroissement du nombre de chercheurs dans la R&D accroît le nombre d'innovations mesurées par le nombre de brevets déposés. Ce résultat va dans le sens de l'hypothèse de Romer qui fait dépendre le stock de capital humain au taux de croissance des nouvelles connaissances. Ainsi, toute politique visant à subventionner la recherche apparaît donc favorable au développement technologique. Toutefois, si l'on admet que le nombre de chercheurs a un impact sur le nombre de brevets déposés, on n'observe nullement l'effet attendu mais aussi prévu par la théorie du taux de croissance des brevets sur le PIB. En conséquence, l'innovation ne serait donc pas le facteur déterminant de la croissance économique française entre 1791 et 1945. Certes, si globalement sur toute la période aucun lien n'apparaît, cela ne signifie aucunement que sur certaines périodes plus restreintes, l'innovation n'a pas joué un rôle prépondérant dans l'expansion économique. Les résultats obtenus sur données françaises apportent, une fois de plus[15], une infirmation empirique au modèle de Romer sans pour autant être synonyme d'une réfutation catégorique de la théorie.

En prolongement de cette analyse de la causalité, il est intéressant à présent de tester directement l'hypothèse de linéarité du modèle de Romer. Celle-ci implique que la croissance auto-entretenue résulterait d'une production toujours croissante du savoir technologique. Pour tester cette hypothèse, une régression linéaire a été effectuée entre le taux de croissance des brevets et le nombre de doctorats. Ce choix se justifie par le fait que Romer suppose une relation linéaire simple entre les variables explicatives et les variables expliquées. Les résultats montrent qu'en dépit d'une relation positive entre les deux variables conforme à la théorie, la relation n'est pas statistiquement significative (Cf. Annexe 3). Ce test confirme bien l'absence de causalité révélée précédemment : même si les doctorats influencent les brevets, l'accumulation de ces derniers ne s'effectuant pas selon des rendements croissants, ils ne peuvent donc pas causer une croissance durable.

V – CONCLUSION

L'objet de cet article a été d'étudier, au travers de la démarche cliométrique, la relation entre la propriété intellectuelle et la croissance économique française au cours de la période 1791-1945.

[14]Pour une période équivalente, Gilles P. et Guillaumet P. (2001) aboutissent au même résultat en considérant également le taux d'ouverture international de l'économie.
[15]Cf. notamment les travaux de Diebolt C. et Monteils M. (2001) ou Diebolt C., Guiraud V. et Monteils M. (2003).

La seule relation de causalité mise en évidence entre les innovations et le PIB est l'influence de la croissance économique sur le nombre de brevets déposés. L'analyse sur données françaises a abouti à une infirmation empirique du modèle de Romer traduisant le fait que la propriété intellectuelle, approximé par les dépôts de brevets, n'aurait pas influencé la croissance sur la période étudiée. Cette conclusion s'est vue confirmée par la remise en cause de l'hypothèse d'accumulation linéaire des connaissances technologiques. D'une part, cette hypothèse est véritablement arbitraire puisque le caractère auto-entretenu de la croissance repose exclusivement sur sa formulation. D'autre part, elle signifie qu'accroître le nombre de chercheurs dans la R&D augmente nécessairement le taux de croissance des innovations, ce qui est une vision peut-être trop simpliste si l'on considère que la propension à breveter n'est pas identique dans tous les secteurs de l'industrie.

Malgré ces résultats, l'importance du rôle de l'innovation dans le processus de croissance n'est pas remise en cause. Seulement, la production de connaissances ne peut-être considérée comme le seul facteur déterminant d'une croissance économique durable. C'est une limite commune aux modèles de croissance endogène de se focaliser sur une source précise de la croissance en omettant d'éventuelles interactions. Le modèle testé ici est très réducteur. Il se résume à trois variables et laisse donc de côté d'autres facteurs (capital humain, démographie…) qui avec le progrès technique sont susceptibles d'expliquer la croissance. Nos recherches futures ont pour objet de combler ces lacunes.

ANNEXE 1

Sample(adjusted): 1822 1938
Included observations: 109
Excluded observations: 8 after adjusting endpoints
t-statistics in parentheses

	PIB	BREVETS	DOCTORATS
PIB(-1)	0.178615	-0.462042	0.039330
	(1.92829)	**(-2.05600)**	(0.21868)
BREVETS(-1)	-0.041874	-0.011891	-0.000494
	(-1.02176)	(-0.11959)	(-0.00621)
DOCTORATS(-1)	-0.121203	-0.125443	-0.176941
	(-2.44519)	(-1.04312)	(-1.83846)
C	3.037018	7.466243	2.952882
	(3.59757)	**(3.64546)**	(1.80149)
R-squared	0.095062	0.053506	0.032641
Adj. R-squared	0.069206	0.026463	0.005002
Sum sq. resids	7039.740	41436.40	26540.47
S.E. equation	8.188110	19.86536	15.89863
Log likelihood	-381.8187	-478.4248	-454.1457
Akaike AIC	4.241373	6.013962	5.568473
Schwarz SC	4.340138	6.112727	5.667238
Mean dependent	2.943032	5.896954	2.618535
S.D. dependent	8.487053	20.13354	15.93854
Determinant Residual Covariance		5430002.	
Log Likelihood		-1145.649	
Akaike Information Criteria		15.58084	
Schwarz Criteria		15.67961	

ANNEXE 2

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Probability
DOCTORATS does not Granger Cause PIB	109	7.28572	**0.00809**
PIB does not Granger Cause DOCTORATS		0.04997	0.82355
BREVETS does not Granger Cause PIB	109	2.24816	0.13675
PIB does not Granger Cause BREVETS		4.20986	**0.04265**
BREVETS does not Granger Cause DOCTORATS	129	2.75261	0.09958
DOCTORATS does not Granger Cause BREVETS		29.0983	**3.3E-07**

ANNEXE 3

Variable expliquée : Taux de croissance du nombre de brevets Période : 1815-1945 ; 131 observations $R^2 = 0,0172$			
Variable explicative	Coefficient	Erreur	T-Statistique
Constante	6,657145	2,2139	3,006851
Nombre de doctorats	**0,007451**	0,004953	**1,504525**

VI – REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AGHION Philippe et HOWITT Peter (1992). « A Model of Growth through Creative Destruction », *Econometrica*, 60, pp. 323-351.

AMABLE Bruno et GUELLEC Dominique (1992). « Les théories de la croissance endogène », *Revue d'Economie Politique*, 102, pp. 313-377.

ARROUS Jean (1999). Les théories de la croissance. La pensée économique contemporaine, *Seuil*, Paris, pp. 184-220.

BRESSON Georges et PIROTTE Alain (1995). Econométrie des séries temporelles, *PUF*, Paris.

DIEBOLT Claude (2003). « Accounting Expenditures on Education : Japan from Meiji to the Second World War », *Historical Social Research*, 28, pp. 290-305.

DIEBOLT Claude (2000). « Schumpeter, J.A. : "Briefe/letters" », *Revue d'Economie Politique*, 110, pp. 880-881.

DIEBOLT Claude, GUIRAUD Vivien, MONTEILS Marielle (2003). « Education, Knowledge and Economic Growth. France and Germany in the Nineteenth and Twentieth Centuries », *Peter Lang*, Frankfurt am Main.

DIEBOLT Claude et JAOUL Magali (2003). « L'enseignement supérieur, condition de convergence des économies européennes depuis 1870 ? Une application cliométrique à l'Europe des 15 », Document de Travail n°10, LAMETA, Université Montpellier I.

DIEBOLT Claude et LITAGO Javier (1997). « Education and Economic Growth in Germany before the Second World War. An Econometric Analysis of Dynamic Relations », *Historical Social Research*, 22, pp. 132-149.

DIEBOLT Claude et MONTEILS Marielle (2001). « La croissance endogène : une analyse cliométrique », Document de Travail n°16, LAMETA, Université Montpellier I.

DIXIT Avinash et STIGLITZ Joseph (1977). « Monoplistic Competition and Optimum Product Diversity », *American Economic Review*, 67, pp. 297-308.

DOLIGER Cédric (2003). « Démographie et croissance économique en France après la seconde guerre mondiale : une approche cliométrique », Document de Travail n°5, LAMETA, Université Montpellier I.

GILLES Pascal et GUILLAUMET Philippe (2001). « Le rôle des brevets dans les cycles de croissance de l'économie française entre 1850 et 1999 », *Centre d'Economie et de Finances Internationales*, CEFI-UMR 6126 CNRS, Université de la Méditerranée.

GRILICHES Zvi (1990). « Patent Statistics as Economic Indicators : a Survey », *Journal of Economic Literature*, 28, pp. 1661-1707.

GUELLEC Dominique et RALLE Pierre (1995). Les nouvelles théories de la croissance, *La Découverte*, Paris.

JAOUL Magali (2002). « Education, population et croissance économique en France après la seconde guerre mondiale : une analyse cliométrique », Document de Travail n°13, LAMETA, Université Montpellier I.

JONES Charles (2000). Théories de la croissance endogène, *De Boeck Université*, Bruxelles.

LARDIC Sandrine et MIGNON Valérie (2002). Econométrie des séries temporelles macroéconomiques et financières, *Economica*, Paris.

LUCAS Robert (1988). « On the Mechanics of Economic Development », *Journal of Monetary Economics*, 22, pp. 3-42.

NORTH Douglass (1990). Institutions, Institutional Change and Economic Performance, *Cambridge University Press*, Cambridge.

PERROUX François (1993). Oeuvres Complètes, Vol. 5, Marx-Schumpeter-Keynes, *Presses universitaires de Grenoble*, Grenoble.

ROMER Paul (1991). « Endogenous Technical Change », *Journal of Political Economy*, 98, pp. 71-102. Traduit dans *Annales d'Economie et de Statistiques*, 22, Avril/juin 1991, pp. 1-32.

SCHUMPETER Joseph (1912). Théorie de l'évolution économique : recherches sur le profit, le crédit, l'intérêt et le cycle de la conjoncture. Traduit par Jean-Jacques Anstett (1999), *Dalloz*, Paris.

SCHUMPETER Joseph (1939). Business Cycles. A Theotitical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process, *Mac Graw-Hill Book Co*., London.

SCHUMPETER Joseph (1942). Capitalisme, socialisme et démocratie. Traduction française de Gaël Fain, *Payot*, Paris, 1961.

SOLOW Robert (1956). « A Contribution to the Theory of Economic Growth », *Quarterly Journal of Economics*, 70, pp. 65-94.

SOLOW Robert (1957). « Technical Change and the Aggregate Production Function », *The Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320.