Industrie Canada Industry Canada

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE ÉCONOMIQUE
ET DE L'ANALYSE DES POLITIQUES

Collection Documents de travail

Dépenses en R-D et investissements dans les M-M au sein des industries canadiennes de la fabrication

Malick Souare, Industrie Canada
Weimin Wang, Industrie Canada

Document de travail 2009-02

Canada

Cette publication est également offerte par voie électronique en version HTML : http://ic.gc.ca/eic/site/eas-aes.nsf/fra/h_ra02246.html.

Pour obtenir une copie de cette publication ou un format substitut (Braille, gros caractères), communiquer avec le/la :

Direction générale de la recherche économique et de l'analyse des politiques
Industrie Canada
Édifice C.D.-Howe
235, rue Queen
Ottawa, ON Canada
K1A 0H5

Téléphone 343-291-2627
Télécopieur 613-952-1936
Courriel : erpa-reap@ic.gc.ca

Autorisation de reproduction

À moins d'indication contraire, l'information contenue dans cette publication peut être reproduite, en tout ou en partie et par quelque moyen que ce soit, sans frais et sans autre permission d'Industrie Canada, pourvu qu'une diligence raisonnable soit exercée afin d'assurer l'exactitude de l'information reproduite, qu'Industrie Canada soit mentionné comme organisme source et que la reproduction ne soit présentée ni comme une version officielle ni comme une copie ayant été faite en collaboration avec Industrie Canada ou avec son consentement.

Pour obtenir l'autorisation de reproduire l'information contenue dans cette publication à des fins commerciales, communiquer avec le :

Centre des services Web
Industrie Canada
Édifice C.D.-Howe
235 rue Queen
Ottawa, ON Canada
K1A 0H5

Téléphone (sans frais au Canada) : 1-800-328-6189
Téléphone (Ottawa) : 613-954-5031
Télécopieur : 613-954-2340
TTY (pour les personnes malentendantes seulement) : 1-866-694-8389
Les heures de bureau sont de 8 h 30 à 17 h (heure de l'Est)

Courriel: info@ic.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada,
représentée par le ministre de l'Industrie, 2014
N° de catalogue Iu172-1/2009-2F-PDF
ISBN 978-0-660-22619-4

N.B. Dans cette publication, la forme masculine désigne tant les femmes que les hommes.

Also available in English under the title *R&D Spending and M&E Investment in Canadian Manufacturing Industries.*

Gouvernement du Canada | Government of Canada

Canada

Industrie Canada

Analyse économique et statistiques

Dépenses en R-D et investissements dans les M-M au sein des industries canadiennes de la fabrication

Les idées et les opinions exprimées dans le document de recherche sont celles des auteurs et ne représentent aucunement les idées ou opinions du ministère de l'Industrie ou du gouvernement du Canada.

Malick Souare, Industrie Canada

Weimin Wang*, Industrie Canada

Sommaire

Dans le présent document, nous élaborons un modèle vectoriel à correction d'erreurs (MVCE) pour explorer le lien de causalité entre les dépenses en recherche et développement (R-D) et les investissements dans les machines et le matériel (M-M), et entre ces deux variables et les compétences. Dans le même cadre, nous nous employons aussi à dégager les autres déterminants de la R-D et des M-M. Ainsi, selon les données sur les industries canadiennes de la fabrication, les principaux résultats empiriques se résument comme suit. Premièrement, nous constatons que les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M s'induisent positivement (au sens de Granger) à long terme, mais que la causalité se produit négativement dans les deux sens à court terme, peut-être en raison des contraintes de ressources. Deuxièmement, nous constatons que les compétences sont un déterminant clé et de la R-D et des M-M à long terme, et qu'elles favorisent aussi positivement la R-D à court terme. En outre, il existe une rétroaction positive à long terme, des M-M aux compétences. Enfin, nous constatons que le produit intérieur brut (PIB), la concurrence, les taux de change réels et la dépréciation du capital en M-M semblent être d'autres importants déterminants de la R-D et des M-M au fil du temps.

* Maintenant avec Statistique Canada

Table des matières

1. Introduction
2. Bref survol de la littérature
3. Analyse empirique
    - 3.1 Le Modèle
    - 3.2. Variables et sources des données
    - 3.3. Résultats empiriques
    - 3.4. Le rôle des compétences
    - 3.5. Industries productrices de M-M et industries utilisatrices de M-M
4. Résumé et conclusion

Bibliographie

Tableaux

1. Introduction

Un apport important de la nouvelle théorie de la croissance, ou théorie de la croissance endogène, a été de révéler que les principaux moteurs de l'amélioration de la productivité, surtout à long terme, sont l'innovation (mesurée entre autres par les dépenses de recherche et développement [R-D]) et l'adoption et la diffusion de nouvelles technologies (mesurées entre autres par les investissements dans les machines et le matériel [M-M])[1]. Des experts en productivité affirment par exemple que le sous-investissement dans les activités de R-D et dans le capital physique, les M-M en particulier, a fortement contribué à creuser l'écart avec les États-Unis (É.-U.) au chapitre de la productivité, notamment dans le secteur de la fabrication.

S'il est bien établi sur les plans théorique et empirique que l'innovation et la diffusion de technologies de pointe favorisent les améliorations de la productivité, les facteurs sous-jacents à l'origine de ces innovations restent à identifier. Une autre question connexe est le débat qui entoure le lien causal entre l'innovation (les dépenses en R-D) et l'investissement dans le capital physique. Autrement dit, dans quel sens le lien de causalité se produit-il entre ces deux variables? Il s'agit de questions importantes sur lesquelles il faut se pencher, mais elles ne sont malheureusement qu'effleurées dans la littérature existante. Les rares études empiriques qui traitent de ces questions reposent sur des données des États-Unis et du Royaume-Uni, et elles ont en outre produit des résultats contradictoires. En l'absence de consensus autour de ces grandes questions, une certaine ambiguïté subsiste pour les décideurs au moment de faire des choix stratégiques pour promouvoir ou gérer les activités d'innovation et ainsi favoriser la productivité. Pour cette raison, les études qui se rapportent à un seul pays deviennent pertinentes.

Pour un pays comme le Canada, l'identification des facteurs déterminants des activités de R-D et des investissements dans les M-M est une étape essentielle à la compréhension et à l'analyse des problèmes de productivité du pays et à l'élaboration de politiques et de stratégies appropriées. Le présent document vise à examiner les facteurs qui déterminent les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M, au moyen de données des industries canadiennes de la fabrication recueillies au moyen d'un panel, en mettant l'accent sur les relations bidirectionnelles entre ces deux variables.

La suite du document est structurée de la manière suivante. Dans la prochaine section, nous passons brièvement en revue les rares études (théoriques et empiriques) qui examinent les liens de causalité entre l'innovation et les investissements dans le capital physique (y compris dans les M-M). Dans la troisième section, nous exposons notre analyse empirique des investissements dans les M-M et des dépenses en R-D dans les industries canadiennes de la fabrication. Nous y décrivons également les spécifications des modèles, les variables et les sources de données, et présentons les résultats empiriques. Ceux-ci portent entre autres sur le rôle précis des compétences (mesurées comme la proportion d'heures travaillées par des employés titulaires d'au moins un diplôme universitaire) et sur certains tests de sensibilité réalisés à l'échelle des industries qui produisent des M-M et des industries qui les utilisent. Enfin, la quatrième section présente un résumé et les conclusions de l'étude.

[1] Les modèles de croissance néoclassiques sont axés sur l'accumulation de capital physique (dont les M-M) et sur le rendement décroissant, ce qui signifie que l'intensification du capital ne pourrait pas être un moteur d'amélioration de la productivité à long terme.

2. Bref survol de la littérature

Les études antérieures portant sur les déterminants des activités d'innovation et de l'investissement matériel examinent très attentivement le lien causal entre ces deux variables. Toutefois, ces études n'ont pas abouti à un consensus sur ce lien. À titre d'exemple, Schmookler (1966) fait ressortir le lien entre l'innovation et l'investissement dans le contexte du cycle économique. Selon lui, l'innovation est endogène et principalement assujettie aux conditions de la demande. Cette hypothèse s'appuie sur des données empiriques témoignant de la corrélation positive observée entre les cycles d'efforts d'innovation (représentés par les brevets) et les cycles de production dans les industries produisant des biens d'équipement. La courbe de la tendance à long terme de ces deux indicateurs montrait que les cycles de production entraînaient les cycles d'activités de brevetage pertinent dans les industries de biens d'équipement. Autrement dit, Schmookler affirme que l'investissement dans les nouveaux biens d'équipement (réalisé par d'autres entreprises ou industries, par exemple) est le moteur des innovations (fructueuses).

Néanmoins, bon nombre de modèles de croissance endogène (voir par exemple Romer [1990] et Grossman et Helpman [1991]) établissent un lien vertical entre l'innovation et l'investissement matériel. En fait, ils partent du principe que les connaissances ou les concepts générés par les activités des entreprises cherchant à maximiser leurs bénéfices dans le secteur de la R-D sont utilisés pour la production de nouveaux biens d'équipement qui servent d'intrants dans la production finale. Par conséquent, il est implicitement présumé que le lien causal s'opère de la R-D à l'investissement matériel.

Par ailleurs, les auteurs de certaines études empiriques ont tenté de vérifier le lien causal entre l'innovation et l'investissement. Intéressons-nous d'abord aux études qui ont porté sur la situation aux États-Unis. Lach et Schankerman (1989) se servent de modèles vectoriels autorégressifs (VAR) de forme réduite pour examiner la relation dynamique entre la R-D (log des dépenses en R-D) et l'investissement pour un panel de 191 entreprises issues des industries à vocation scientifique entre 1973 et 1981[2]. Ils constatent que la R-D induit (causalité à la Granger) de l'investissement matériel, mais que l'investissement matériel n'entraîne pas de R-D. Autrement dit, l'investissement matériel est tributaire de la réussite des activités de R-D antérieures, en plus des facteurs qui déterminent l'investissement.

Les résultats susmentionnés étant fondés sur des données d'entreprises, Lach et Rob (1996) ont voulu vérifier si la même caractéristique de la relation entre les deux variables s'observe à l'échelle des industries. Pour ce faire, ils utilisent des données

provenant de 20 industries manufacturières aux États-Unis (aux niveaux à deux et à trois chiffres de la Classification type des industries [CTI] pour la période de 1958 à 1983) et ils suivent la méthodologie employée par Lach et Schankerman (1989). Leurs conclusions confirment que les dépenses en R-D antérieures ont un effet sur les investissements actuels dans les machines et le matériel, mais que les investissements passés n'ont aucun effet sur la R-D actuelle. Ou plutôt, la R-D est la cause (au sens de Granger) des dépenses d'équipement et *non* l'inverse.

Toutefois, lorsque Mairesse et Siu (1984) ont cherché à établir les déterminants de la R-D et de l'investissement matériel, ils sont arrivés à des résultats différents sur le lien de causalité entre ces deux variables. Se fondant sur un échantillon de 93 entreprises dont les données vont de 1962 à 1977 et utilisant la méthode d'analyse du modèle VAR, ils ne détectent aucune interaction de rétroaction significative entre les taux de croissance de la R-D et l'investissement matériel. Néanmoins, ils constatent que la demande prévue (représentée par la croissance des ventes) et la rentabilité (représentée par le taux de rendement du marché boursier résultant de la détention d'un actif sur une période donnée) semblent être des déterminants importants des dépenses en R-D et de l'investissement matériel. Par ailleurs, Beggs (1984) affirme que l'une des faiblesses fondamentales de la démarche de Mairesse et Siu (1984) est qu'elle ne tient aucunement compte de l'environnement concurrentiel dans lequel les entreprises évoluent.

Chiao (2001) remet ensuite en question le concept de l'effet à sens unique (la R-D entraînant l'investissement matériel) évoqué par Lach et Schankerman (1989) et par Lach et Rob (1996), ci-après « LSLR ». Au moyen d'un ensemble de données de panel plus complet provenant d'entreprises issues des industries à vocation scientifique, Chiao (2001) effectue de nouveau les analyses du modèle VAR suggérées par LSLR et constate que leurs résultats ne sont pas valables, après avoir élargi l'échantillon grâce à l'ajout de périodes, d'entreprises ou des deux, tout en qui respectant leurs critères. Plus précisément, il est démontré que la causalité (au sens de Granger) entre la R-D et l'investissement s'opère dans les deux sens – c'est-à-dire que les dépenses en R-D actuelles réagissent à l'investissement matériel passé et vice versa. De plus, au moyen d'une approche dynamique simultanée, Chiao (2001) témoigne de l'existence de relations contemporaines et intertemporelles bidirectionnelles entre les deux variables, c'est-à-dire que la R-D actuelle et antérieure est cause (au sens de Granger) de l'investissement matériel actuel et que l'investissement matériel actuel et antérieur est cause (au sens de Granger) de la R-D actuelle[3].

La dernière étude américaine que nous examinons est celle de Baussola (2000). Elle permet de mieux comprendre la relation entre la R-D et l'investissement, au moyen de données agrégées relatives à l'économie américaine sur les dépenses en R-D industrielle et les investissements dans les M-M entre 1953 et 1993. Baussola (2000) affirme à juste titre que la majorité des études existantes qui traitent de la relation empirique entre la R-D et l'investissement matériel présentent l'inconvénient d'utiliser un modèle VAR à formulation *différentielle*. Toutefois, le test de causalité effectué avec cette spécification indique seulement un lien de causalité à court terme entre ces deux variables économiques cruciales, car les composantes à long terme de la série ont pu être retirées – sous l'effet de la transformation stationnaire requise ou appropriée. Par conséquent, pour tenir compte d'une éventuelle relation à long terme, Baussola (2000) considère l'existence d'une cointégration entre les deux variables et utilise des tests de causalité qui incorporent les effets à long terme. Utilisant d'abord l'approche de causalité standard (au sens de Granger), il arrive à des résultats qui montrent un lien de causalité claire allant de la R-D à l'investissement, et l'hypothèse d'une relation de rétroaction est rejetée. Ainsi, à court terme, seule la R-D induit l'investissement. Toutefois, lorsqu'il effectue les tests de causalité dans un cadre de cointégration – qui comprend un terme de correction d'erreur tenant compte de tout lien éventuel à long terme – les résultats témoignent encore une fois d'un lien de causalité à court terme allant uniquement de la R-D vers l'investissement. Plus important encore, des résultats dénotent aussi l'existence d'une rétroaction bidirectionnelle à long terme entre les deux variables. Même si Baussola (2000) a réalisé des avancées par rapport à l'état de la recherche, son approche gagnerait à tenir compte d'autres déterminants des investissements en R-D et dans les M-M.

Examinons maintenant deux études effectuées au Royaume-Uni. Nickell et Nicolitsas (1996) utilisent les données d'un panel d'entreprises britanniques pour montrer que les dépenses en R-D ont un effet positif sur l'investissement dans la plupart des industries au Royaume-Uni, mais que la relation inverse ne se vérifie pas. Or, il semble que cette conclusion empirique applicable à l'économie du Royaume-Uni soit propre à l'époque et aux entreprises visées. Utilisant un autre panel d'entreprises du Royaume-Uni (185 entreprises entre 1984 et 1992) pour reproduire l'analyse dynamique effectuée par LSLR à l'aide de données des États-Unis, Toivanen et Stoneman (1998) constatent que l'investissement induit (cause au sens de Granger) de la R-D et non l'inverse.

Dans les sections suivantes, nous approfondissons la recherche précitée en examinant la relation dynamique entre la R-D et les M-M au moyen de données tirées de l'économie canadienne. De plus, nous contribuons au corpus d'études existantes dans le domaine en explorant d'autres facteurs qui déterminent les dépenses en R-D et l'investissement dans les M-M au sein du même cadre empirique.

2 Leur échantillon d'entreprises dans les secteurs à vocation scientifique comprend des entreprises des industries suivantes : produits chimiques, produits pharmaceutiques, communications, informatique, instruments scientifiques, et composants électriques.

3 Il convient de mentionner qu'étant donné sa construction, un modèle VAR de forme réduite – qui permet de tester la causalité au sens de Granger ou la précédence temporelle – ne tient pas compte des relations contemporaines entre les variables.

3. Analyse empirique

Comme il a été souligné, le lien de causalité entre les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D est l'un des aspects centraux de la théorie de la croissance endogène, et il devrait être pris en compte dans les études empiriques portant sur les comportements en matière d'investissements dans les M-M et de dépenses en R-D. Dans la présente section, nous présentons notre analyse empirique de l'investissement dans les M-M et des dépenses en R-D dans les industries canadiennes de la fabrication.

3.1. Le modèle

Les chercheurs utilisent souvent les modèles vectoriels autorégressifs (modèles VAR) pour intégrer des liens de causalité entre les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D. Aux fins de la présente étude, la formulation du modèle VAR se lit comme suit :

$$(1)\quad \begin{cases} \ln\left(RD_{it}\right)\alpha_{1i} + \sum_{m=1}^{M}\left(\beta_{1m}\ln\left(RD_{it-m}\right) + \gamma_{1m}\ln\left(ME_{it-m}\right)\right)\sum_{p=1}^{P}\left(a_{1p}\ln\left(x_{pit}\right) + b_{1p}\ln\left(x_{pit-1}\right)\right) + \mu_{it} \\ \ln\left(MM_{it}\right)\alpha_{2i} + \sum_{m=1}^{M}\left(\beta_{2m}\ln\left(RD_{it-m}\right) + \gamma_{2m}\ln\left(MM_{it-m}\right)\right)\sum_{p=1}^{P}\left(a_{2p}\ln\left(x_{pit}\right) + b_{2p}\ln\left(x_{pit-1}\right)\right) + \upsilon_{it} \end{cases}$$

où t et i représentent le temps et l'industrie respectivement; RD représente les dépenses des entreprises en R-D; MM is investments in M-M, x représente un ensemble de variables exogènes qui comprend le PIB, les compétences (mesurées comme la proportion d'heures travaillées par des employés titulaires d'au moins un diplôme universitaire), la concurrence, les taux de change réels et les taux d'intérêt réels; α_{1i} et α_{2i} représentent les ordonnées à l'origine propres à l'industrie; et μ_{it} représentent les perturbations ayant une moyenne de zéro. Le système (1) peut être estimé au moyen de modèles à équation unique (MCO, MCP, MC2S, MCP2S et MVIL) ou de modèles d'analyse globale (MC3S et MVIC)[4]. Les modèles à équation unique estiment une équation à la fois, tandis que les modèles d'analyse globale estiment toutes les équations simultanément, de sorte qu'ils pourraient donner des estimations plus précises en présence de contraintes inter-équations.

Il convient de noter que les valeurs temporelles et les valeurs décalées d'un an de chaque variable exogène sont comprises dans le système qui nous permet d'explorer les effets à court terme et les effets à long terme de chaque variable exogène sur les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M. Le test de l'hypothèse nulle $a_{1p} + b_{1p} = 0\ \left(\text{or}\ \ a_{2p}\ b_{2p} = 0\right)$ permet de savoir si la variable x_p a un effet statistiquement significatif sur les dépenses en R-D (ou sur les investissements dans les M-M) à long terme.

Le test de causalité de Granger standard peut être effectué au moyen du modèle VAR (1). Par définition, les dépenses en R-D ne sont pas la cause (au sens de Granger) des investissements dans les M-M si toutes les valeurs de β_2 égalent zéro, et les investissements dans les M-M ne sont pas la cause (au sens de Granger) des dépenses en R-D si toutes les valeurs de γ_2 égalent zéro. Le choix des valeurs de décalage pour les variables dépendantes influe sur le test de causalité de Granger. Pour choisir la durée optimale des décalages d'après le modèle VAR (1), divers critères ou variables à tester sont calculés comme le montre le tableau 1. Selon l'ensemble des critères et les résultats du test du rapport des vraisemblances, la durée optimale de décalage pour le modèle VAR (1) est deux, soit $M = 2$.

De façon générale, les deux variables dépendantes ne sont pas stationnaires. Les résultats du test de racine unitaire laissent penser que la différence première des deux variables dépendantes est stationnaire, de sorte que le modèle (1) doit être différentiel. Après la transformation, les coefficients des variables exogènes peuvent encore être interprétés comme des coefficients d'élasticité. Le coefficient de $\Delta\ln\left(x_{pt}\right)$ représente l'élasticité temporelle de la R-D ou des M-M par rapport à x_p. L'élasticité à long terme est proportionnelle à la somme des coefficients de $\Delta\ln\left(x_{pt}\right)$ et $\Delta\ln\left(x_{pt-1}\right)$; le fait de vérifier si la somme est nulle permet de savoir si la variable exogène x_p a un effet à long terme sur la R-D ou sur les M-M.

Cependant, le modèle VAR à formulation différentielle laisse de côté la rétroaction ou la causalité à long terme entre les deux variables dépendantes. La causalité à long terme entre les activités de R-D et les investissements dans les M-M est une composante importante de l'interaction entre les deux variables. Les modèles de croissance endogène (voir par exemple Romer [1990] et Grossman et Helpman [1991]) prédisent que la R-D favorise les investissements dans les nouveaux biens d'équipement. Néanmoins, il faut du temps pour générer des connaissances qui peuvent servir à la production de nouveaux biens dans le cadre des activités de R-D. En revanche, les investissements fructueux (rentables) dans les nouveaux biens d'équipement entraînent davantage d'activités de R-D en raison des rendements accrus. Par ailleurs, il faut toujours un certain temps avant qu'un investissement dans de nouveaux biens soit profitable. Par conséquent, l'interaction entre les dépenses de R-D et les investissements dans les M-M pourrait surtout être perceptible à long terme et pourrait demeurer nulle à court terme. Ainsi, pour explorer la causalité à long terme entre les dépenses de R-D et les investissements dans les M-M, nous ajoutons l'équation de cointégration entre les deux variables dans la version différentielle du modèle VAR (1), soit :

$$(2)\quad \begin{cases} \Delta\ln\left(RD_{it}\right) = \alpha'_{1i} + \delta_1\left[\ln\left(RD_{\text{it}-1}\right) - \lambda\ln\left(MM_{it} - 1\right)\right] \\ \qquad + \sum_{m=1}^{M}\left(\beta'_{1m}\Delta\ln\left(RD_{\text{it}-m}\right)\gamma'_{1m}\Delta\ln\left(MM_{\text{it}-m}\right)\right) \\ \qquad + \sum_{p=1}^{P}\left(a'_{1p}\Delta\ln\left(x_{pit}\right) + b'_{1p}\Delta\ln\left(x_{p\text{it}-1}\right)\right) + \xi_{it} \\ \Delta\ln\left(MM_{it}\right) = \alpha'_{2i} + \delta_2\left[\ln\left(RD_{it-1}\right) - \gamma\ln\left(MM_{\text{it}-1}\right)\right] \\ \quad + \sum_{m=1}^{M}\left(\beta'_{2m}\Delta\ln\left(\text{RD}_{\text{it}-m}\right) + \gamma'_{2m}\Delta\ln\left(MM_{\text{it}-m}\right)\right) \\ \qquad + \sum_{p=1}^{P}\left(a'_{2p}\Delta\ln\left(x_{pit}\right) + b'_{2p}\Delta\ln\left(x_{pit-1}\right)\right)\varsigma_{it} \end{cases}$$

Le système (2) est appelé le modèle vectoriel à correction d'erreurs (MVCE). L'équation de cointégration, $\ln(RD_{it}) - \lambda \ln(MM_{it})$, représente le sentier d'équilibre à long terme des deux variables et peut être estimée au moyen de la méthode de Johansen. Le coefficient de cointégration, λ, devrait être positif, ce qui signifie que les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M sont complémentaires à long terme. L'équation de cointégration peut aussi être interprétée comme un terme de correction d'erreurs. Si l'une des deux variables dévie du sentier d'équilibre à long terme, l'autre variable changera en conséquence pour ramener leur relation sur le sentier d'équilibre à long terme. Ainsi, le coefficient de l'équation de cointégration de l'équation relative à la R-D (δ_1) devrait être négatif, et celui de l'équation relative aux M-M (δ_2) devrait être positif. Par conséquent, ces coefficients « mesurent » le rythme de la progression vers le sentier d'équilibre.

3.2. Variables et sources des données

Un ensemble de données recueillies à l'aide d'un panel a été créé pour les besoins du présent document. L'ensemble couvre la période de 1963 à 2003 et comprend 18 industries de la fabrication à 3 chiffres du Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN), dont certaines ont été combinées en fonction de l'accessibilité des données. Toutes les données proviennent de Statistique Canada, hormis celles relatives à l'indice de réglementation ou de concurrence.

Les deux variables dépendantes dans nos modèles sont les *dépenses en R-D* et les *investissements dans les M-M*. Les dépenses d'entreprise intra-muros en R-D totales sont utilisées pour la variable *dépenses en R-D* et les investissements non résidentiels dans les machines et le matériel sont utilisés pour la variable *investissements dans les M-M*. Les données sur la R-D dont nous disposons sont fondées sur le SCIAN pour la période allant de 1994 à 2003 et sur la CTI pour la période allant de 1963 à 1993. Il a été possible de remonter jusqu'à 1963 pour les données fondées sur le SCIAN au moyen des taux de croissance des données fondées sur la CTI. Les valeurs nominales de la R-D sont exprimées en prix constants après avoir été corrigées à l'aide d'indices implicites du PIB de l'industrie.

Six variables sont utilisées comme déterminants exogènes des dépenses en R-D et des investissements dans les M-M, soit le *PIB*, les *compétences*, la *concurrence*, le *taux de change réel*, le *taux d'intérêt réel* et la *dépréciation des M-M*. Le PIB a été inclus pour qu'il soit tenu compte de l'effet d'échelle, car les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M des grandes entreprises (selon le PIB) sont généralement plus importants[5]. La main-d'œuvre qualifiée est importante à la fois pour l'activité de R-D et pour les investissements dans les M-M. Comme les activités de R-D visent à faire progresser les connaissances, à développer des technologies et à concevoir des produits, les personnes qui sont engagées dans ces activités doivent être hautement qualifiées. L'importance de la main-d'œuvre qualifiée pour les investissements dans les M-M s'explique par la complémentarité entre le capital et les compétences, sujet approfondi et bien documenté dans la littérature depuis Griliches (1969). Suivant la convention, nous mesurons la variable des compétences en utilisant la part des heures travaillées au total par des travailleurs titulaires d'au moins un diplôme universitaire[6].

Le degré de concurrence peut obliger les entreprises à renforcer leur capacité concurrentielle en intensifiant leurs activités de R-D et en recourant davantage aux nouvelles technologies intégrées au nouveau capital en M-M. Par conséquent, nous incluons la variable de la *concurrence* dans notre modèle pour tenir compte de l'effet de la concurrence. La variable de la *concurrence* est calculée comme l'inverse des indicateurs d'effet de la réglementation de l'OCDE qui permettent d'évaluer dans quelle mesure les dispositions de la réglementation du marché des produits sont anticoncurrentielles (ou favorisent la concurrence)[7]. Les données de l'OCDE reposent sur la CITI Rev.3 (Classification internationale type, par industrie, de toutes les branches d'activité économique) et elles couvrent la période allant de 1975 à 2003.

Tant les investissements dans les M-M que les dépenses en R-D dans les industries canadiennes de la fabrication signifient d'éventuels achats aux É.-U., ce qui les expose aux fluctuations du taux de change bilatéral entre le Canada et les É.-U. Le taux de change bilatéral réel est donc inclus dans notre modèle pour qu'il soit tenu compte de cet effet. On obtient le *taux de change réel* en corrigeant le taux de change nominal par l'indice des prix des produits industriels (IPPI) pour les activités de fabrication totales des deux pays. Le taux de change nominal indique combien il faut de dollars canadiens pour acheter un dollar américain. Par conséquent, une hausse du *taux de change réel* dénote une dépréciation du dollar canadien en termes réels par rapport au dollar américain.

Le taux d'intérêt réel est généralement considéré comme le coût d'emprunt. Un taux d'intérêt réel plus élevé diminue la valeur actuelle des gains réalisés grâce à une hausse des investissements dans les M-M et des dépenses en R-D, ce qui décourage les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D. En revanche, un taux d'intérêt réel élevé peut s'avérer nécessaire pour que les ménages épargnent davantage de façon à répondre à une demande accrue au chapitre des investissements dans les M-M et des dépenses en R-D. Par conséquent, nous pouvons observer une covariation entre le taux d'intérêt réel, d'une part, et les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D, d'autre part. Dans le présent document, nous nous concentrons sur l'effet à long terme du taux d'intérêt réel et utilisons le rendement moyen des obligations négociables du gouvernement du Canada à 10 ans, corrigé selon l'IPPI pour l'ensemble des industries de la fabrication, comme mesure du *taux d'intérêt réel*.

La dépréciation du capital en M-M est incluse pour qu'il soit tenu compte de la demande d'investissement dans les M-M qui est attribuable au remplacement, car cette part des investissements dans les M-M vise simplement à maintenir le niveau de production constant.

3.3. Résultats empiriques

Le tableau 2 présente les résultats de l'estimation du modèle VAR d'après les méthodes des MCO et du MVIC. Il convient de noter que les coefficients de toutes les variables sont les mêmes et que les valeurs de p sont légèrement différentes dans les deux ensembles d'estimations. Les résultats des deux ensembles d'estimation montrent que : 1) le PIB a un effet positif et statistiquement significatif sur les dépenses en R-D et sur les investissements dans les M-M, tant à court terme qu'à long terme; 2) la variable des compétences a un effet positif et statistiquement significatif à court terme et à long terme sur les dépenses en R-D, mais pas sur les

investissements dans les M-M[8]; 3) la variable de la concurrence a un effet positif et statistiquement significatif sur les investissements dans les M-M, mais pas sur les dépenses en R-D; 4) l'effet du taux de change réel sur les dépenses en R-D et sur les investissements dans les M-M est négatif et statistiquement significatif à court terme, mais il n'est pas statistiquement significatif à long terme[9]; 5) le taux d'intérêt réel a un effet positif et statistiquement significatif sur les dépenses en R-D[10], à court terme et à long terme, mais pas sur les investissements dans les M-M; 6) la dépréciation du capital en M-M a un effet positif et statistiquement significatif sur les investissements dans les M-M à court terme et à long terme, mais pas sur les dépenses en R-D. Les résultats du test de la causalité à la Granger (les hypothèses nulles étant $\gamma_{11} = 0$ et $\gamma_{12} = 0$ dans l'équation pour la R-D et $\beta_{21} = 0$ et $\beta_{22} = 0$ dans l'équation pour les M-M) montrent que les dépenses en R-D sont la cause (au sens de Granger) des investissements dans les M-M, tandis que les investissements dans les M-M ne sont pas la cause (au sens de Granger) des dépenses en R-D.

Le tableau 3 présente les résultats de l'estimation au moyen du MVCE (2). Deux différences ressortent entre les résultats de l'estimation obtenus au moyen du MVCE et ceux obtenus au moyen du modèle VAR quant à l'effet des variables exogènes. Premièrement, l'effet de la variable de la concurrence sur les investissements dans les M-M n'est pas statistiquement significatif au seuil de 10 % dans l'estimation du MVCE. Deuxièmement, la dépréciation du capital en M-M a un effet négatif et statistiquement significatif sur les dépenses en R-D dans l'estimation du MVCE. Cet effet négatif de la dépréciation du capital en M-M sur les dépenses en R-D n'est toutefois pas si direct. Pour mieux comprendre ce résultat, nous pouvons supposer que les investissements totaux dans les M-M peuvent être décomposés en deux catégories : les investissements dans le nouveau capital en M-M et les investissements visant à remplacer le capital en M-M cédé. Dans la première catégorie, les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D devraient être complémentaires, comme il est expliqué dans la nouvelle théorie de la croissance, tandis que dans la seconde, les investissements dans les M-M ne requièrent aucune autre dépense en R-D, mais font concurrence avec les activités de R-D pour les ressources. La dépréciation accrue des M-M entraînerait davantage d'investissements de la seconde catégorie et signifierait donc une diminution des ressources pour la R-D (toutes choses étant égales par ailleurs). En réalité, nous ne disposons pas des données décomposées sur les investissements dans les M-M, de sorte que les deux effets opposés pourraient se neutraliser mutuellement et ne pas ressortir dans les analyses empiriques. C'est probablement ce qui s'est produit dans l'estimation du modèle VAR. L'effet négatif de la dépréciation des M-M sur les dépenses en R-D devient statistiquement significatif dans l'estimation au moyen du MVCE, peut-être parce qu'il y est tenu compte de la relation de complémentarité à long terme entre les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D.

Concentrons-nous maintenant sur la causalité entre les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M dans l'estimation du MVCE. Comme le montre le tableau 3, les coefficients dans les équations de cointégration (ou les termes de correction d'erreurs) sont statistiquement significatifs, avec les bons signes dans les deux équations, ce qui signifie que les deux variables réagissent positivement l'une à l'autre de façon à maintenir leur relation d'équilibre à long terme. Les tests de causalité à court terme montrent que les investissements dans les M-M ne sont pas la cause (au sens de Granger) des dépenses en R-D, tandis que les dépenses en R-D influent négativement (au sens de Granger) sur les investissements dans les M-M. Nous constatons toutefois que la causalité négative s'opère des investissements dans les M-M vers les dépenses en R-D à court terme lorsque la dépréciation des M-M est exclue de l'équation de la R-D. La causalité négative entre les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M pourrait signifier que les deux types d'activités se disputent les ressources à court terme. Cet argument est corroboré par Chiao (2001), qui affirme que les projets d'investissement (y compris les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M) sont assujettis à la suffisance de bon nombre de ressources, notamment financières, physiques et humaines, dans une mesure qui peut modifier la relation entre la R-D et l'investissement matériel, tant actuelle qu'au fil du temps. En conséquence, il peut par exemple se produire un effet d'éviction ou une substituabilité entre les dépenses en R-D et les investissements matériels (y compris dans les M-M) actuels ou à court terme, attribuable en partie à l'allocation optimale des ressources actuelles et futures. En résumé, les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M sont mutuellement complémentaires à long terme, mais sont en concurrence pour les ressources à court terme.

3.4. Le rôle des compétences

Le tableau 2 et le tableau 3 montrent que la variable des compétences a un effet statistiquement significatif sur les dépenses en R-D, mais pas sur les investissements dans les M-M. Ces résultats ne concordent pas avec l'hypothèse dite de la complémentarité du capital et des compétences[11]. Cette divergence pourrait s'expliquer par le fait qu'il est présumé dans notre modèle que les compétences sont exogènes aux investissements dans les M-M et qu'une telle supposition laisse de côté les rétroactions possibles entre les compétences et les investissements dans les M-M. Pour examiner cette question, nous supposons que la variable des compétences est aussi endogène, et nous réécrivons comme suit le système du MVCE (2) :

$$
(3)\quad \begin{cases}
\Delta \ln\left(RD_{it}\right) = \widetilde{\alpha}_{1i} + \delta_1\left[\ln\left(RD_{it-1}\right) - \lambda_1 \ln\left(\text{compétences}_{it-1}\right)\right] + \delta_2\left[\ln\left(MM_{it-1}\right) - \lambda_2 \ln\left(\text{compétences}_{\text{it}-1}\right)\right] \\
\quad + \sum_{m=1}^{M}\left(\tilde{\beta}_{1m}\Delta \ln\left(RD_{it-m}\right) + \tilde{\gamma}_{1m}\Delta \ln\left(MM_{it-m}\right) + \tilde{\theta}_{1m}\Delta \ln\left(\text{compétences}_{it-m}\right)\right) \\
\quad + \sum_{p=1}^{P}\left(\tilde{a}_{1p}\Delta \ln\left(x_{pit}\right) + \tilde{b}_{1p}\Delta \ln\left(x_{pit-1}\right)\right) + \xi_{it} \\
\Delta \ln\left(MM_{it}\right) = \widetilde{\alpha}_{2i} + \delta_3\left[\ln\left(RD_{it-1}\right) - \lambda_1 \ln\left(\text{compétences}_{it-1}\right)\right] + \delta_4\left[\ln\left(MM_{it-1}\right) - \lambda_2 \ln\left(\text{compétences}_{it-1}\right)\right] \\
\quad + \sum_{m=1}^{M}\left(\tilde{\beta}_{2m}\Delta \ln\left(RD_{it-m}\right) + \tilde{\gamma}_{2m}\Delta \ln\left(MM_{it-m}\right) + \tilde{\theta}_{2m}\Delta \ln\left(\text{compétences}_{\text{it}-m}\right)\right) \\
\quad + \sum_{p=1}^{P}\left(\tilde{a}_{2p}\Delta \ln\left(x_{pit}\right) + \tilde{b}_{2p}\Delta \ln\left(x_{pit-1}\right)\zeta_{it}\right) \\
\Delta \ln\left(\text{compétences}_{it}\right) = \widetilde{\alpha}_{3i} + \delta_5\left[\ln\left(RD_{\text{it}-1}\right) - \lambda_1 \ln\left(\text{compétences}_{it-1}\right)\right]\delta_6\left[\ln\left(MM_{it-1}\right) - \lambda_2 \ln\left(\text{compétences}_{it-1}\right)\right] \\
\quad + \sum_{m=1}^{M}\left(\tilde{\beta}_{3m}\Delta \ln\left(RD_{it-m}\right) + \tilde{\gamma}_{3m}\Delta \ln\left(MM_{it-m}\right) + \tilde{\theta}_{3m}\Delta \ln\left(\text{compétences}_{\text{it}-m}\right)\right) \\
\quad + \sum_{p=1}^{P}\left(\tilde{a}_{3p}\Delta \ln\left(x_{pit}\right) + \tilde{b}_{3p}\Delta \ln\left(x_{pit-1}\right)\right) + \varsigma_{it}
\end{cases}
$$

Il convient de noter la présence de deux termes de correction d'erreurs dans le modèle, l'un étant la relation de cointégration à long terme entre la R-D et les compétences, et l'autre, la relation de cointégration à long terme entre les M-M et les compétences [12]. Les coefficients de cointégration, λ_1 et λ_2, devraient être positifs, ce qui dénoterait une complémentarité des compétences avec la R-D et avec les M-M. Les valeurs de δ_1 et δ_4 devraient être négatives, ce qui signifie que la causalité à long terme s'opère positivement depuis les compétences vers la R-D et les M-M, respectivement. Les valeurs de δ_5 et de δ_6 devraient être positives, démontrant une causalité à long terme qui opère positivement depuis la R-D et les M-M, respectivement, vers les compétences.

Pour établir la causalité à long terme des M-M à la R-D, nous pouvons modifier les deux équations de cointégration dans l'équation de R-D comme suit :

$$
\delta_1\left[\ln\left(RD_{it-1}\right) - \tfrac{\lambda_1}{\lambda_2}\ln\left(MM_{\text{it}-1}\right)\right] + \left(\delta_2 + \delta_1\tfrac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)\left[\ln\left(MM_{\text{it}-1}\right) - \lambda_2 \ln\left(\text{compétences}_{\text{it}-1}\right)\right]
$$

ce qui signifie que la valeur de δ_1 indiquerait également la causalité à long terme opérant des M-M à la R-D si λ_1/λ_2 est statistiquement significatif. De façon similaire, la valeur de δ_4 indiquerait la causalité à long terme opérant de la R-D aux M-M si λ_2/λ_1 était statistiquement significatif.

Le tableau 4 présente les résultats de l'estimation par la méthode des MCO effectuée au moyen du modèle MVCE (3). Il convient de noter que les effets de toutes les variables exogènes sur les dépenses en R-D et sur les investissements dans les M-M demeurent pratiquement inchangés. En outre, les causalités à long terme et à court terme entre les M-M et la R-D sont les mêmes que dans l'estimation précédente, c'est-à-dire que les deux variables s'induisent positivement l'une l'autre à long terme, tandis qu'il n'y a pas de causalité à court terme allant des M-M à la R-D et qu'il y a une causalité négative allant de la R-D aux M-M. En ce qui concerne l'effet des compétences et l'effet sur les compétences, les résultats du test montrent que les compétences induisent positivement la R-D au sens de Granger à court terme, mais aucune causalité n'est observée ni de la R-D ni des M-M vers les compétences, ni des compétences vers les M-M. À long terme, les compétences et les M-M s'induisent les unes et les autres positivement au sens de Granger, les compétences induisent la R-D positivement, mais la R-D ne favorise pas les compétences. L'observation d'une causalité positive à long terme entre les compétences et les M-M rapproche le présent document de l'hypothèse de la complémentarité entre le capital et les compétences, ainsi que des travaux empiriques publiés dans la littérature.

Enfin, dans la prochaine sous-section, nous examinons la solidité de la relation bidirectionnelle entre les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M au sein des différentes catégories d'industries.

3.5. Industries productrices de M-M et industries utilisatrices de M-M

Dans la présente sous-section, nous visons à répartir toutes les industries de la fabrication en deux groupes (les industries productrices de capital en M-M et les industries utilisatrices de capital en M-M), et nous examinons les différences possibles quant aux dépenses en R-D et aux investissements en M-M, ainsi que les effets entre les groupes. Quatre industries sont considérées comme des industries productrices de capital, soit la fabrication de machines; la fabrication de produits informatiques et électroniques; la fabrication de matériel, d'appareils et de composants électriques; et la fabrication de matériel de transport. Toutes les autres industries de la fabrication sont considérées comme des industries utilisatrices de capital.

Nous faisons une estimation au moyen du MVCE (3) pour les deux groupes pris séparément. Le PIB total pour les quatre industries productrices de capital en M-M est ajouté dans le modèle en tant que variable exogène pour les industries utilisatrices de capital en M-M. Cette variable indique la production totale de M-M au Canada et devrait être positivement corrélée avec les investissements dans les M-M dans les industries utilisatrices de capital. Le tableau 5 présente une estimation effectuée au moyen du MVCE (3) selon la méthode des MCO pour les industries utilisatrices de capital. Les résultats montrent que l'effet du PIB total des industries productrices de capital (PIBP) est positif et statistiquement significatif pour l'investissement dans les M-M par les industries utilisatrices de capital. Ses effets sur les dépenses en R-D des industries utilisatrices de capital sont négatifs, mais ne sont pas statistiquement significatifs. Le signe négatif est conforme à la théorie selon laquelle les investissements dans les M-M et les dépenses en R-D se disputent les

ressources à court terme. Les inférences tirées du tableau 5 sur l'effet de toutes les autres variables exogènes et sur les causalités à court terme et à long terme entre la R-D et les M-M sont les mêmes pour toutes les industries.

La valeur totale des investissements dans les M-M des industries utilisatrices de capital est ajoutée comme variable exogène dans l'estimation effectuée au moyen du MVCE (3) pour les industries productrices de capital. Cette variable permet d'obtenir la demande totale de M-M provenant des industries manufacturières utilisatrices de capital. Les résultats de l'estimation par la méthode des MCO figurent au tableau 6. Comme le montre le tableau, la valeur totale des investissements dans les M-M des industries utilisatrices de capital a un effet positif et statistiquement significatif sur les investissements en M-M dans les industries productrices de capital. Ce résultat pourrait être un effet issu de la demande. Les industries productrices de capital pourraient investir davantage dans les M-M pour répondre à la demande accrue de leurs produits. Le comportement en matière d'investissement dans les M-M au sein des industries productrices de capital est différent de celui observé dans toutes les autres industries sous plusieurs aspects. Premièrement, il n'y a pas de causalité de la R-D aux M-M, ni à court terme ni à long terme, dans les industries productrices de capital. Deuxièmement, l'effet du PIB n'est pas statistiquement significatif, et troisièmement, l'effet des compétences devient statistiquement significatif. En revanche, le comportement en matière de dépenses en R-D dans les industries productrices de capital est le même que dans toutes les autres industries. Il est important de mentionner que, dans les industries productrices de capital, les dépenses en R-D réagissent négativement aux fluctuations de l'investissement dans les M-M, ce que démontrent les coefficients négatifs des investissements dans les M-M, de la dépréciation des M-M et des investissements totaux dans les M-M dans les industries utilisatrices de capital. En résumé, les investissements dans les M-M au sein des industries productrices de capital sont motivés par la demande (investissements dans les M-M dans les industries utilisatrices de capital) plutôt que par l'offre (propres dépenses en R-D), tandis que les dépenses en R-D ne font que suivre.

4 MCO : méthode des moindres carrés ordinaires; MCP : méthode des moindres carrés pondérés; MC2S : méthode des moindres carrés en deux stades; MCP2S : méthode des moindres carrés pondérés en deux stades; MVIL : méthode du maximum de vraisemblance à information limitée; MC3S : méthode des moindres carrés en trois stades; MVIC : méthode du maximum de vraisemblance à information complète.

5 Nous incluons le PIB directement dans les modèles au lieu d'utiliser le ratio entre la R-D et le PIB et le ratio entre les investissements dans les M-M et le PIB, ce qui reviendrait à restreindre les coefficients du PIB à un dans les deux équations et pourrait constituer une surestimation de l'effet d'échelle.

6 Il est assez courant d'utiliser le niveau de scolarité pour faire une distinction entre les travailleurs qualifiés et les travailleurs non qualifiés; voir par exemple Duffy et coll. (2004).

7 Pour obtenir des renseignements détaillés sur l'élaboration d'indicateurs d'effets de la réglementation, voir Conway et coll. (2006). Il convient toutefois de mentionner que l'échelle de l'indicateur d'effet de la réglementation va de 0 à 1, soit du moins contraignant au plus contraignant, une valeur élevée à cet indicateur dénotant un environnement moins concurrentiel. En conséquence, en vue de faciliter l'interprétation, l'intensité concurrentielle correspond, pour les besoins de notre analyse empirique, à l'inverse de l'indicateur d'effet de la réglementation, de sorte qu'une valeur élevée signifie une concurrence plus intense.

8 D'autres analyses de l'effet des compétences sur la R-D et sur les M-M seront présentées plus loin dans le présent document.

9 Le taux de change réel est le rapport entre le dollar canadien et le dollar américain, ce qui signifie qu'il s'accroît à mesure que le dollar canadien se déprécie. Sous l'effet négatif du taux de change réel, les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M diminuent lorsque le dollar canadien se déprécie par rapport au dollar américain.

10 Alexandrakis (2003) arrive aux mêmes conclusions sur la relation entre le taux d'intérêt réel à long terme et la R-D en utilisant des données américaines.

11 L'hypothèse, qui été abondamment traitée depuis Griliches (1969), veut que la complémentarité soit plus forte entre le capital et la main-d'œuvre qualifiée qu'entre le capital et la main-d'œuvre non qualifiée. Des données empiriques appuient cette hypothèse; voir par exemple Flug et Hercowitz (2000), Duffy et coll. (2004), Papageorgiou et Chmelarova (2005), et Krusell et coll. (2000).

12 Une autre caractéristique possible serait l'ajout d'un seul terme de correction d'erreurs portant sur les trois variables endogènes. Cette pratique ne permet toutefois pas de comprendre les liens de causalité entre chacune des paires.

4. Résumé et conclusion

Dans le présent document, nous examinons les facteurs qui déterminent les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M, en mettant particulièrement l'accent sur la relation bidirectionnelle entre ces deux variables, au moyen de données sur les industries canadiennes de la fabrication. Cette question présente de l'intérêt pour deux raisons. D'une part, l'innovation (mesurée par exemple au moyen des dépenses en R-D) et l'adoption et la diffusion de nouvelles technologies (mesurées par exemple au moyen des investissements dans les M-M) ont été définies comme des moteurs importants de l'amélioration de la productivité. D'autre part, il semble y avoir consensus autour du fait que les sous-investissements tant dans la R-D que dans les M-M ont grandement contribué à creuser l'écart de productivité par rapport aux États-Unis, particulièrement dans le secteur de la fabrication.

Par conséquent, pour un pays comme le Canada, il est essentiel de dégager les facteurs déterminants de l'activité de R-D et des investissements dans les M-M pour comprendre et analyser les problèmes de productivité du pays et pour concevoir les politiques et stratégies appropriées.

Dans ce but, nous avons élaboré un modèle vectoriel à correction d'erreurs (MVCE) pour explorer le lien de causalité entre les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M, et entre ces deux variables et les compétences (mesurées comme la proportion d'heures travaillées par des employés titulaires d'au moins un diplôme universitaire). Dans le même cadre, nous avons aussi dégagé les autres déterminants de la R-D et des M-M. Nos principaux résultats empiriques se résument comme suit. Premièrement, nous avons constaté que les dépenses en R-D et les investissements dans les M-M s'induisent positivement (au sens de Granger) à long

terme, mais que la causalité se produit négativement dans les deux sens à court terme, peut-être en raison des contraintes de ressources. Deuxièmement, nous avons constaté que les compétences sont un déterminant clé et de la R-D et des M-M à long terme, et qu'elles favorisent aussi positivement la R-D à court terme. En outre, il existe une rétroaction positive à long terme, des M-M aux compétences. Enfin, il nous est apparu que le produit intérieur brut (PIB), la concurrence, les taux de change réels et la dépréciation du capital en M-M seraient d'autres importants déterminants de la R-D et des M-M au fil du temps.

Bibliographie

Alexandrakis, C. 2003. « R&D and Real Interest Rate in the U.S.: Theory and Empirics », *Working paper 03-15*, Emory University.

Baussola, M. 2000. « The Causality Between R&D and Investment », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 9, nº 4, p. 385-399.

Beggs, J. 1984. Commentaire sur : Mairesse, J. et A. Siu. 1984. « An Extended Accelerator Model of R&D and Physical Investment », dans Z. Griliches (dir.), *R&D, Patents, Productivity*, Chicago, The University of Chicago Press, p. 271-297.

Bernstein, J., et M. Nadiri. 1984. « Rate of Return, Research and Development and Structure of Production », dans J. Bernstein et M. Nadiri (dir.), *Temporary Equilibrium and Costs of Adjustment*, Boston, MIT Press.

Chiao, C. 2001. « The Relationship between R&D and Physical Investment of Firms in Science-Based Industries », *Applied Economics*, vol. 33, nº 1, p. 23-35.

Conway, P., D. De Rosa, G. Nicoletti et F. Steiner. 2006. « Regulation, Competition and Productivity Convergence », OECD Economics Department Working Paper No 509.

Duffy, J., C. Papageorgiou et F. Perez-Sebastian. 2004. « Capital-Skill Complementarity? Evidence from a Panel of Countries », *Review of Economics and Statistics*, vol. 86, nº 1, p. 327-344.

Griliches, Z. 1969. « Capital-Skill Complementarity », *Review of Economics and Statistics*, vol. 51, nº 4, p. 465-468.

Grossman, G., et E. Helpman. 1991. *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge (Mass.) and London, MIT Press.

Flug, K., et Z. Hercowitz. 2000. « Equipment Investment and the Relative Demand for Skilled Labour: International Evidence », *Review of Economics Dynamics*, vol. 3, nº 3, p. 461-485.

Krusell, P., L. Ohanian, J. Rios-Rull et G. Violante. 2000. « Capital-Skill Complementarity and Inequality: A Macroeconomic Analysis », *Econometrica*, vol. 68, nº 5, p. 1029-1053.

Lach, S., et R. Rob. 1996. « R&D Investment and Industry Dynamics », *Journal of Economics and Management Strategy*, vol. 5, p. 217-249.

Lach, S., et M. Schankerman. 1989. « Dynamics of R&D and Physical Investment in the Scientific Sector », *Journal of Political Economy*, vol. 97, p. 880-904.

Mairesse, J., et A. Siu. 1984. « An Extended Accelerator Model of R&D and Physical Investment », dans Z. Griliches (dir.), *R&D, Patents, Productivity*, Chicago, The University of Chicago Press, p. 271-297.

Nickell, S., et D. Nicolitsas. 1996. « Does Innovation Encourage Investment in Fixed Capital? », *Working Paper*, nº 309, CEPR.

Papageorgiou, C., et V. Chmelarova. 2005. « Nonlinearities in Capital-Skill Complementarity », *Journal of Economic Growth*, vol. 10, nº 1, p. 59-89.

Romer, P. 1990. « Endogenous Technical Change », *Journal of Political Economy*, vol. 98, nº 5, p. 71-102.

Schmookler, J. 1966. *Invention and Economic Growth*, Cambridge (MA), Harvard University Press.

Toivanen, O., et P. Stoneman. 1998. « Dynamics of R&D and Investment: UK Evidence », *Economics Letters*, vol. 58, p. 119-126.

Tableaux

Tableau 1 : Critère de sélection de l'ordre des décalages dans le modèle VAR

Décalage	LogV	RV	EPF	CIA	CIS	CIHQ
0	−661,9818	SO	0,027979	2,099362	2,470072	2,242816
1	−3,733303	1258,756	0,004131	0,186355	0,583544	0,340055
2	19,77013	44,80772 *	0,003902 *	0,129327 *	0,552996 *	0,293275 *
3	23,25816	6,629296	0,003908	0,130824	0,580972	0,305018

* Représente l'ordre du décalage choisi par le critère.

RV : test séquentiel du rapport de vraisemblance modifié (seuil de 5 % pour chaque test)
EPF : erreur de prédiction finale
CIA : critère d'information d'Akaike
CIS : critère d'information de Schwarz
CIHQ : critère d'information de Hannan Quinn

Tableau 2 : Résultats de l'estimation effectuée au moyen du modèle VAR à formulation *différentielle* (valeurs de *p* entre parenthèses)

	Décalage	OLS				MVIC			
		$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	Test de Wald [*]	$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	Test de Wald [*]	$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	Test de Wald [*]	$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	Test de Wald [*]
$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	−1	−0,0893 (0,0062)		−0,0145 (0,1666)		−0,0893 (0,0000)		−0,0145 (0,2130)	
	−2	−0,1537 (0,0000)		0,0228 (0,0288)		−0,1537 (0,0000)		0,0228 (0,0478)	
$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	−1	0,0679 (0,3231)		−0,6896 (0,0000)		0,0679 (0,4061)		−0,6896 (0,0000)	
	−2	0,0268 (0,6673)		0,0461 (0,0216)		0,0268 (0,7402)		0,0461 (0,0176)	
$\Delta \ln(\mathrm{PIB})$	0	0,4528 (0,0041)	6,4683 (0,0110)	0,1169 (0,0208)	10,4515 (0,0012)	0,4528 (0,0177)	3,9960 (0,0456)	0,1169 (0,0013)	13,0759 (0,0003)
	−1	0,1147 (0,4734)		0,1145 (0,0258)		0,1147 (0,5933)		0,1145 (0,0219)	
$\Delta \ln(\mathrm{Compétences})$	0	0,4201 (0,0053)	15,8011 (0,0001)	−0,0138 (0,7749)	0,0492 (0,8245)	0,4201 (0,0271)	12,3111 (0,0005)	−0,0138 (0,7592)	0,0502 (0,8228)
	−1	0,5061 (0,0012)		−0,0028 (0,9558)		0,5061 (0,0249)		−0,0028 (0,9475)	
$\Delta \ln(\mathrm{Concurrence})$	0	0,0056 (0,8673)	0,0621 (0,8032)	0,0046 (0,6690)	2,8130 (0,0935)	0,0056 (0,9208)	0,0284 (0,8663)	0,0046 (0,6172)	3,2971 (0,0694)
	−1	−0,0175 (0,5974)		0,0212 (0,0459)		−0,0175 (0,6788)		0,0212 (0,0371)	
$\Delta \ln(\mathrm{Change})$	0	−0,0060 (0,0029)	0,4828 (0,4871)	−0,0012 (0,0569)	0,0983 (0,7539)	−0,0060 (0,0085)	0,3315 (0,5648)	−0,0012 (0,1135)	0,0607 (0,8054)
	−1	0,0074 (0,0013)		0,0014 (0,0515)		0,0074 (0,0050)		0,0014 (0,1022)	
$\Delta \ln(\mathrm{Intérêt})$	0	0,0148 (0,0012)	16,3601 (0,0001)	0,0021 (0,1474)	0,0652 (0,7984)	0,0148 (0,0037)	13,8045 (0,0002)	0,0021 (0,2224)	0,0536 (0,8170)
	−1	0,0097 (0,0164)		−0,0016 (0,2099)		0,0097 (0,0440)		−0,0016 (0,2406)	
$\Delta \ln(\mathrm{Dépréciation})$	0	0,5524 (0,1996)	0,0184 (0,8922)	7,5717 (0,0000)	123,43 (0,0000)	0,5524 (0,2259)	0,0158 (0,8999)	7,5717 (0,0000)	139,44 (0,0000)
	−1	−0,5071 (0,1869)		−6,3813 (0,0000)		−0,5071 (0,2611)		−6,3813 (0,0000)	
Effet de l'industrie		Inclus		Inclus		Inclus		Inclus	
Test de causalité $\chi^2(2)$		$\gamma_{11} = 0$ et $\gamma_{12} = 0$ 1,0774 (0,5835)		$\beta_{21} = 0$ et $\beta_{22} = 0$ 7,1780 (0,0276)		$\gamma_{11} = 0$ et $\gamma_{12} = 0$ 0,8443 (0,6556)		$\beta_{21} = 0$ et $\beta_{22} = 0$ 5,6837 (0,0583)	
R^2 ajusté		0,08		0,85		0,08		0,85	
Échantillon		684		684		684		684	

[*] Test $a_1 + b_1 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation de la R-D et $a_2 + b_2 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation des M-M. La variable à tester correspondante suit la distribution χ^2 et le degré de liberté est de 1.

Tableau 3 : Résultats de l'estimation effectuée au moyen du MVCE (valeurs de *p* entre parenthèses)

	Équation de cointégration : $\ln(\mathrm{RD}_{it-1}) - 1{,}1298 \times \ln(\mathrm{MM}_{it-1})$ (0,0000)							
	Décalage	MCO				MVIC			
		$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	Test de Wald *	$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	Test de Wald *	$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	Test de Wald *	$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	Test de Wald *
Équation de cointégration		−0,1728 (0,0000)		0,0138 (0,0384)		−0,1728 (0,0000)		0,0138 (0,0702)	
$\Delta \ln(RD)$	−1	0,0077 (0,8151)		−0,0222 (0,0453)		0,0077 (0,6993)		−0,0222 (0,0991)	
	−2	−0,0655 (0,0432)		0,0158 (0,1491)		−0,0655 (0,0015)		0,0158 (0,1776)	
$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	−1	0,0082 (0,8999)		−0,6849 (0,0000)		0,0082 (0,9192)		−0,6849 (0,0000)	
	−2	0,0618 (0,2965)		0,0433 (0,0309)		0,0618 (0,3938)		0,0433 (0,0267)	
$\Delta \ln(\mathrm{PIB})$	0	0,4318 (0,0038)	6,8572 (0,0088)	0,1186 (0,0187)	10,6110 (0,0011)	0,4318 (0,0154)	4,7045 (0,0301)	0,1186 (0,0016)	13,3909 (0,0003)
	−1	0,1209 (0,4244)	6,8572 (0,0088)	0,1140 (0,0261)	10,6110 (0,0011)	0,1209 (0,5341)	4,7045 (0,0301)	0,1140 (0,0237)	13,3909 (0,0003)
$\Delta \ln(\mathrm{Compétences})$	0	0,3665 (0,0102)	14,7696 (0,0001)	−0,0095 (0,8432)	0,0191 (0,8900)	0,3665 (0,0215)	12,1782 (0,0005)	−0,0095 (0,8329)	0,0189 (0,8907)
	−1	0,4813 (0,0011)	14,7696 (0,0001)	−0,0008 (0,9874)	0,0191 (0,8900)	0,4813 (0,0084)	12,1782 (0,0005)	−0,0008 (0,9855)	0,0189 (0,8907)
$\Delta \ln(\mathrm{Concurrence})$	0	0,0313 (0,3215)	0,8361 (0,3605)	0,0025 (0,8145)	1,9307 (0,1647)	0,0313 (0,5360)	0,4004 (0,5269)	0,0025 (0,7853)	2,3200 (0,1277)
	−1	0,0105 (0,7379)	0,8361 (0,3605)	0,0190 (0,0747)	1,9307 (0,1647)	0,0105 (0,7987)	0,4004 (0,5269)	0,0190 (0,0584)	2,3200 (0,1277)
$\Delta \ln(\mathrm{Change})$	0	−0,0057 (0,0028)	0,5009 (0,4791)	−0,0013 (0,0516)	0,1028 (0,7485)	−0,0057 (0,0079)	0,3497 (0,5543)	−0,0013 (0,1122)	0,0624 0,8027)
	−1	0,0071 (0,0012)	0,5009 (0,4791)	0,0015 (0,0465)	0,1028 (0,7485)	0,0071 (0,0071)	0,3497 (0,5543)	0,0015 (0,0993)	0,0624 (0,8027)
$\Delta \ln(\mathrm{Intérêt})$	0	0,0134 (0,0020)	15,5541 (0,0001)	0,0022 (0,1261)	0,1111 (0,7389)	0,0134 (0,0047)	13,3822 (0,0003)	0,0022 (0,2011)	0,0894 (0,7649)
	−1	0,0092 (0,0156)	15,5541 (0,0001)	−0,0016 (0,2190)	0,1111 (0,7389)	0,0092 (0,0445)	13,3822 (0,0003)	−0,0016 (0,2562)	0,0894 (0,7649)
$\Delta \ln(\mathrm{Dépréciation})$	0	0,4300 (0,2915)	8,7888 (0,0030)	7,5815 (0,0000)	124,42 (0,0000)	0,4300 (0,3480)	8,4913 (0,0036)	7,5815 (0,0000)	132,99 (0,0000)
	−1	−1,4307 (0,0002)	8,7888 (0,0030)	−6,3076 (0,0000)	124,42 (0,0000)	−1,4307 (0,0007)	8,4913 (0,0036)	−6,3076 (0,0000)	132,99 (0,0000)
Effet de l'industrie		Inclus		Inclus		Inclus		Inclus	
Test de causalité χ^2 (2)		$\gamma'_{11} = 0$ et $\gamma'_{12} = 0$ 1,0909 (0,5796)		$\beta'_{21} = 0$ et $\beta'_{22} = 0$ 7,2855 (0,0262)		$\gamma'_{11} = 0$ et $\gamma'_{12} = 0$ 0,7389 (0,6911)		$\beta'_{21} = 0$ et $\beta'_{22} = 0$ 5,2337 (0,0730)	
R^2 ajusté		0,18		0,85		0,18		0,85	
Échantillon		684		684		684		684	

* Test $a'_1 + b'_1 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation de la R-D et $a'_2 + b'_2 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation des M-M. La variable à tester correspondante suit la distribution χ^2 et le degré de liberté est de 1.

Tableau 4 : Résultats de l'estimation effectuée au moyen du MVCE selon la méthode des MCO, compétences endogènes (valeurs de *p* entre parenthèses)

Équation de cointégration 1: $\ln(\mathrm{RD}_{it-1}) - 1{,}1655 \times \ln(\mathrm{Compétences}_{\mathrm{it}-1})$ (0,0000)				Équation de cointégration 2: $\ln(\mathrm{ME}_{it-1}) - 0{,}7516 \times \ln(\mathrm{Compétences}_{\mathrm{it}-1})$ (0,0032)			
	Décalage	$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	Test de causalité $\chi^2(2)$	$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	Test de causalité $\chi^2(2)$	$\Delta \ln(\mathrm{Compétences})$	Test de causalité $\chi^2(2)$
Équation de cointégration 1		−0,1923 (0,0000)	$\delta_1 = 0, \delta_2 = 0$ 87,4415 (0,0000)	0,0110 (0,1141)	$\delta_3 = 0, \delta_4 = 0$ 14,4771 (0,0007)	−0,0012 (0,8387)	
Équation de cointégration 2		0,1035 (0,0170)		−0,0553 (0,0002)		0,0234 (0,0507)	
$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	−1	0,0148 (0,6520)		−0,0210 (0,0570)	$\tilde{\beta}_{21} = 0, \tilde{\beta}_{22} = 0$ 6,5221 (0,0383)	0,0064 (0,4743)	$\tilde{\beta}_{31} = 0, \tilde{\beta}_{32} = 0$ 0,7466 (0,6885)
	−2	−0,0633 (0,0492)		0,0147 (0,1749)		0,0053 (0,5502)	
$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	−1	0,0407 (0,5418)	$\tilde{\gamma}_{11} = 0, \tilde{\gamma}_{12} = 0$ 0,6820 (0,7110)	−0,6688 (0,0000)		0,0107 (0,5614)	$\tilde{\gamma}_{31} = 0, \tilde{\gamma}_{32} = 0$ 0,3721 (0,8302)
	−2	0,0362 (0,5452)		0,0342 (0,0904)		0,0039 (0,8152)	
$\Delta \ln(\mathrm{Compétences})$	−1	0,3265 (0,0264)	$\tilde{\theta}_{11} = 0, \tilde{\theta}_{12} = 0$ 5,3314 (0,0696)	−0,0157 (0,7516)	$\tilde{\theta}_{21} = 0, \tilde{\theta}_{22} = 0$ 1,2604 (0,5325)	−0,1571 (0,0001)	
	−2	−0,0706 (0,6569)		−0,0588 (0,2718)		−0,0486 (0,2675)	
$\Delta \ln(\mathrm{PIB})$	0	0,4817 (0,0014)		0,1270 (0,0121)		0,0454 (0,2727)	
	−1	0,1864 (0,2164)		0,1319 (0,0095)		0,0278 (0,5039)	
$\Delta \ln(\mathrm{Concurrence})$	0	0,0239 (0,4559)		0,0037 (0,7313)		−0,0029 Δln(COM) (0,7389)	
	−1	−0,0264 (0,4085)		0,0037 (0,7308)		0,0028 (0,7467)	
$\Delta \ln(\mathrm{Change})$	0	−0,0060 (0,0022)		−0,0015 (0,0214)		0,0008 0,1439)	
	−1	0,0047 (0,0311)		0,0012 (0,1141)		−0,0029 (0,0000)	
$\Delta \ln(\mathrm{Intérêt})$	0	0,0094 (0,0279)		0,0019 (0,1799)		−0,0053 (0,0000)	
	−1	0,0087 (0,0198)		−0,0012 (0,3369)		−0,0030 (0,0055)	
$\Delta \ln(\mathrm{Dépréciation})$	0	0,3464 (0,3983)		7,5152 (0,0000)		0,9767 (0,3584)	
	−1	−0,8543 (0,0498)		−6,0772 (0,0000)		−0,1445 (0,2284)	
Effet de l'industrie		Inclus		Inclus		Inclus	
R^2 ajusté		0,18		0,86		0,05	
Échantillon		684		684		684	

Tableau 5 : Résultats de l'estimation effectuée au moyen du MVCE pour les industries utilisatrices de capital

	Équation de cointégration : $\ln(\mathrm{RD}_{\mathrm{it}-1}) - 1{,}0715 \times \ln(\mathrm{MM}_{it-1})$ (0,0000)						
	Décalage	$\Delta \ln(\mathrm{RD})$			$\Delta \ln(\mathrm{MM})$		
		Coefficient	Valeur de P	Test de Wald [*]	Coefficient	Valeur de P	Test de Wald [*]
Équation de cointégration		−0,1852	0,0000		0,0136	0,0536	
$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	−1	0,0040	0,9136		−0,0200	0,0821	
	−2	−0,0624	0,0860		0,0170	0,1312	
$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	−1	0,0392	0,6286		−0,6874	0,0000	
	−2	0,0718	0,3158		0,0400	0,0717	
$\Delta \ln(\mathrm{PIB})$	0	0,6340	0,0049	3,8941 (0,0485)	0,2121	0,0024	11,4019 (0,0007)
	−1	0,0174	0,9396	3,8941 (0,0485)	0,1338	0,0610	
$\Delta \ln(\mathrm{Compétences})$	0	0,3756	0,0254	11,8136 (0,0006)	−0,0094	0,8566	0,1497 (0,6988)
	−1	0,5379	0,0021	11,8136 (0,0006)	−0,0225	0,6776	
$\Delta \ln(\mathrm{Concurrence})$	0	0,0602	0,1536	2,6581 (0,1030)	−0,0040	0,7597	0,0256 (0,8730)
	−1	0,0378	0,3619	2,6581 (0,1030)	0,0010	0,9368	
$\Delta \ln(\mathrm{Change})$	0	−0,0078	0,0026	1,0841 (0,2978)	−0,0016	0,0494	1,8083 (0,1787)
	−1	0,0104	0,0004	1,0841 (0,2978)	0,0005	0,5604	
$\Delta \ln(\mathrm{Intérêt})$	0	0,0162	0,0060	8,5294 (0,0035)	0,0035	0,0549	1,8159 (0,1778)
	−1	0,0071	0,1703	8,5294 (0,0035)	−0,0002	0,9107	
$\Delta \ln(\mathrm{Dépréciation})$	0	0,2856	0,5867	7,4590 (0,0063)	7,7951	0,0000	79,0222 (0,0000)
	−1	−1,4294	0,0028	7,4590 (0,0063)	−6,6398	0,0000	
$\Delta \ln(\mathrm{GDPP})$	0	−0,1653	0,4752	2,3218 (0,1276)	0,1163	0,1057	10,3722 (0,0013)
	−1	−0,3024	0,1813	2,3218 (0,1276)	0,1904	0,0067	
Effet de l'industrie		Inclus			Inclus		
Test de causalité χ^2 (2)		$\gamma'_{11} = 0$ et $\gamma'_{12} = 0$ 1,1560 (0,5610)			$\beta'_{21} = 0$ et $\beta'_{22} = 0$ 6,4264 (0,0402)		
R^2 ajusté		0,18			0,86		
Échantillon		532			532		

[*] Test $a_1 + b_1 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation de la R-D et $a_2 + b_2 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation des M-M. La variable à tester correspondante suit la distribution χ^2 et le degré de liberté est de 1.

Tableau 6 : Résultats de l'estimation effectuée au moyen du MVCE pour les industries productrices de capital

	Équation de cointégration : $\ln(\mathrm{RD}_{it-1}) - 1{,}1576 \times \ln(\mathrm{MM}_{it-1})$ (0,0000)						
	Décalage	$\Delta \ln(RD)$			$\Delta \ln(\mathrm{MM})$		
		Coefficient	Valeur de P	Test de Wald [*]	Coefficient	Valeur de P	Test de Wald [*]
Équation de cointégration		−0,0751	0,0355		0,0098	0,5911	
$\Delta \ln(\mathrm{RD})$	−1	0,0008	0,9925		0,0607	0,1737	
	−2	0,0044	0,9596		0,0327	0,4688	
$\Delta \ln(\mathrm{MM})$	−1	−0,0249	0,7511		−0,7652	0,0000	
	−2	0,0061	0,9360		−0,0002	0,9969	
$\Delta \ln(\mathrm{PIB})$	0	0,2660	0,0386	19,9550 (0,0000)	−0,1246	0,0594	1,2657 (0,2606)
	−1	0,5098	0,0001		0,0241	0,7166	
$\Delta \ln(\mathrm{Compétences})$	0	0,4583	0,0456	6,5102 (0,0107)	0,0881	0,4535	3,1628 (0,0753)
	−1	0,2882	0,1956		0,1795	0,1173	
$\Delta \ln(\mathrm{Concurrence})$	0	−0,0372	0,2816	1,2145 (0,2705)	0,0059	0,7385	1,2842 (0,2571)
	−1	−0,0170	0,6087		0,0228	0,1833	
$\Delta \ln(\mathrm{Change})$	0	−0,0005	0,8101	0,0175 (0,8947)	−0,0004	0,7097	0,4516 (0,5016)
	−1	0,0003	0,9094		0,0011	0,3300	
$\Delta \ln(\mathrm{Intérêt})$	0	−0,0002	0,9728	1,2608 (0,2615)	−0,0021	0,3759	1,2612 (0,2614)
	−1	0,0072	0,0779		−0,0015	0,4703	
$\Delta \ln(\mathrm{Dépréciation})$	0	0,8265	0,0437	0,1456 (0,7028)	6,9144	0,0000	84,4213 (0,0000)
	−1	−0,9669	0,0201		-5,1550	0,0000	
$\Delta \ln(\mathrm{Utilisatrices})$	0	−0,1547	0,0910	1,3100 (0,2524)	0,1560	0,0010	2,7893 (0,0949)
	−1	0,0072	0,9451		−0,0454	0,3993	
Effet de l'industrie		Inclus			Inclus		
Test de causalité χ^2 (2)		$\gamma'_{11} = 0$ et $\gamma'_{12} = 0$ 0,1274 (0,9383)			$\beta'_{21} = 0$ et $\beta'_{22} = 0$ 2,2123 (0,3308)		
R^2 ajusté		0,23			0,92		
Échantillon		152			152		

[*] Test $a'_1 + b'_1 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation de la R-D et $a'_2 + b'_2 = 0$ pour chaque variable exogène dans l'équation des M-M. La variable à tester correspondante suit la distribution χ^2 et le degré de liberté est de 1.