

# VI

*Bronwyn Hughes Hall*  
**Innovation, R&D  
et brevets : éclairage  
économétrique**

*Ylenia N. Curci*

Durant une longue et fructueuse carrière Bronwyn H. Hall a apporté une importante contribution à la recherche économique appliquée. Mais ses travaux témoignent avant tout d'un ancrage économétrique fort et d'un intérêt marqué pour l'innovation et sa mesure (notamment le brevet). Ainsi, Hall s'est distinguée par la création d'un logiciel d'économétrie mais aussi par la constitution de nombreuses bases de données relatives à l'innovation des entreprises. Parmi celles-ci, signalons la base de données NBER, amplement utilisée pour les analyses de brevets aux États-Unis. Quant à ces modèles économétriques, ils ont été utilisés dans de nombreux terrains disciplinaires et reproduits par des centaines de chercheurs. Enfin, ses travaux sur les citations des brevets et leur emploi en tant qu'indicateurs de performance des dépenses de recherche et développement, ont également eu un impact scientifique important.

Dans ce chapitre, nous nous limitons à présenter les recherches qui ont le plus marqué la carrière de Hall, et qui ont le plus inspiré la communauté scientifique (certains articles sont ainsi cités plus de 3 000 fois).

### Notice biographique

Bronwyn H. Hall est née le 1 mars 1945. Elle obtient son diplôme universitaire en sciences physiques en 1966 auprès du Wellesley College, une institution de l'État du Massachusetts qui fait partie des Seven Sisters, une association d'universités féminines. En 1977, elle fonde TSP International, une entreprise informatique qui développe et distribue TPS, un logiciel d'analyses économétriques qui a été amplement utilisé jusqu'à l'apparition de STATA (ce dernier ayant été programmé en partie par un ancien employé de TSP international)<sup>1</sup>.

En 1987, elle décroche le poste de professeur extraordinaire à l'Université de Californie, à Berkeley (où elle est aujourd'hui Professeur émérite). En 1988, elle obtient un doctorat de recherche auprès de la Stanford University et, dans la même année, elle commence à travailler auprès du National Bureau of Economic Research (NBER), où elle exerce son activité encore aujourd'hui en tant que chercheur adjoint. Par la suite, en plus de sa charge à Berkeley, Bronwyn Hall est titulaire de la chaire d'Économie de la technologie et de l'innovation à l'Université de Maastricht, Pays Bas. Elle est aussi chercheur adjoint auprès de l'Institute for Fiscal Studies de Londres et chercheur invité au National Institute of Economics and Social Research de Londres. Fin 2014, Bronwyn Hall est un auteur prolifique avec plus de 73 articles, et trois monographies dont le *Handbook of the Economics of Innovation* (avec Nathan Rosenberg, 2010).

Elle est membre du comité consultatif de l'Office européen des Brevets, du Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (Berlin), et de la Solvay Business School (Bruxelles). Elle a donné des cours dans de nombreuses universités européennes mais aussi japonaises ou encore russes.

Ses centres d'intérêt scientifiques recouvrent l'intégralité du processus d'innovation technologique, depuis la R&D jusqu'au brevet, en passant par l'efficacité de politiques publiques d'innovation.

1. Source : Correspondance privée avec M<sup>me</sup> Bronwyn Hall.

# 1. R&D, PRODUCTIVITÉ ET BREVETS

En 1984, Hall, Hausman et Griliches proposent une recherche pionnière dans le domaine des modèles de panel (appliqués à l'analyse de l'innovation). Cette étude reprend le travail précédent de deux chercheurs du NBER (Pakes and Griliches, 1980) et y développe des avancées économétriques significatives (en proposant une généralisation de la loi de Poisson notamment). Il s'agit de l'article le plus cité de Bronwyn Hall car le modèle original élaboré dans cet article peut s'appliquer à l'étude de situations très éloignées de l'innovation. En effet, ce type de modèles économétriques, appelés *data count models* (modèles de comptage), est adapté pour analyser tous les phénomènes caractérisables par une variable dépendante qui prend la forme de nombres entiers non négatifs – comme le nombre de brevets déposés par une entreprise en une année par exemple. Mais au-delà de ces avancées techniques les auteurs montrent aussi que la relation temporelle entre investissement en recherche et développement (R&D) et brevets se délite au fil du temps. Ainsi, les investissements en R&D d'une entreprise les plus récents donnent naissance à moins de brevets que ses investissements antérieurs.

Hall poursuit cette réflexion dans un autre travail en collaboration avec Bound, Cummins, Jaffe et Griliches (1984). Les auteurs y présentent une première représentation exhaustive de l'activité de R&D et de dépôt des brevets dans le secteur manufacturier. En référence à la question qui correspond au titre de leur article – *who does R&D?* – (qui fait de la R&D) ils observent que les activités de R&D existent dans tous les secteurs manufacturiers mais qu'une intensité plus forte est à l'œuvre dans les industries technologiquement « progressistes », telles que l'industrie pharmaceutique, l'industrie chimique, ou les technologies de l'information et de la communication. En outre, l'article met en lumière que les petites et les grandes entreprises connaissent une activité de recherche plus forte que les entreprises de taille moyenne, mais aussi qu'il existe un degré de complémentarité entre l'intensité du capital et l'intensité de R&D. Ces conclusions remettent en question la littérature antérieure quant au lien entre intensité de R&D et taille des entreprises qui pendant longtemps, nourrissait jusqu'alors la conviction qu'en-dessous d'une certaine taille, les entreprises ne pouvaient tirer profit des investissements faits en recherche et développement, probablement en raison des coûts fixes élevés entraînés par cette activité (Kamien and Schwartz, 1975).

Les auteurs posent également la question – *who patents?* (qui brevète ?) – et montrent ici que toutes les entreprises engagées dans des activités de

R&D ne déposent pas systématiquement de brevets. Parmi celles qui déposent des brevets, on trouve à la fois des petites, des moyennes et de grandes entreprises. Les analyses confirment ce que plusieurs recherches précédentes avaient déjà mis en avant : les petites entreprises sont celles dont le ratio brevet déposé/dollar dépensé en R&D (ratio qui peut être vu comme un indicateur de productivité) est le plus élevé. Les auteurs prennent néanmoins beaucoup de recul quant à cette dernière conclusion, mettant à jour une possible distorsion dans l'échantillon. En effet, celui-ci est composé à la fois de deux catégories d'entreprises : celles qui sont cotées (qui peuvent avoir du succès ou pas) et les petites entreprises qui attirent des investisseurs. Les petites entreprises incluses dans l'échantillon sont donc exclusivement celles qui ont un programme recherche et développement particulièrement fructueux et qui ont les meilleurs retours par unité monétaire dépensée. La présence de ces petites entreprises à succès provoque par conséquent une distorsion qui tend à établir un lien nouveau entre la taille de l'entreprise et la capacité à obtenir des retours positifs sur les dépenses de R&D.

Plus récemment, Hall *et al.* (2005) propose d'analyser une hypothèse nouvelle : les investissements en R&D d'une entreprise ne produisent pas nécessairement un bien matériel ; pour autant ils ont quand même de la valeur pour l'entreprise. L'entreprise peut en effet par ses investissements en R&D générer un bien intangible appelé « Stock de connaissances » dont elle peut tirer les fruits ultérieurement. Rendre convenablement compte de la valeur de l'activité de R&D nécessite alors de penser un nouvel indicateur de mesure. Pour Hall les brevets sont adaptés pour cela, et les citations que ceux-ci vont recevoir deviennent alors quant à elles un bon outil d'évaluation de leur qualité. La contribution fondamentale de cet article est donc d'offrir un instrument capable de résoudre le problème de l'hétérogénéité de la qualité des brevets, question qui a pendant longtemps limité leur utilisation dans les études sur la valeur d'entreprise.

### **Encadré 1. Bronwyn Hall : « madame économétrie appliquée »**

Pour Bronwyn Hall, l'économétrie représente le trait d'union entre les sciences physiques et l'économie. Elle a contribué à ce que l'économétrie devienne un instrument applicable dans la recherche économique empirique. C'est à travers la mise au point d'algorithmes pour l'estimation de modèles qui puissent représenter la réalité et par le biais du développement et de la distribution d'un logiciel intuitif d'analyse économétrique qu'elle y est parvenue. « Ces outils » ont, pendant des années, rencontré un vif succès auprès d'étudiants, professeurs et chercheurs.

Son premier article *Estimation and inference in nonlinear structural models*, écrit en 1974 avec E.K. Berndt, R.E. Hall, et J.A. Hausman, a été cité à ce jour plus de 2 500 fois. En 2014, soit 40 ans après sa parution, il faisait encore l'objet de soixante citations. Bronwyn Hall y perfectionne des estimateurs du maximum de vraisemblance et des estimateurs de distance minimale pour des modèles structurels non linéaires. L'algorithme proposé dans l'article requiert une capacité de calcul moindre par rapport aux estimateurs précédents. De plus, il garantit toujours la convergence. Jusqu'alors l'estimation structurelle des modèles économétriques se fondait sur la linéarité du modèle dans les variables aussi bien que dans les paramètres, empêchant de ce fait une approximation vraisemblable avec la réalité, où cette relation était de toute évidence non linéaire. Des exemples probants de cette absence de linéarité se trouvent dans certains modèles fondamentaux de l'analyse économique, comme dans l'estimation des fonctions de production (Battese *et al.*, 1998) ou encore dans l'analyse des choix individuels (Evans *et al.*, 1992). Bronwyn Hall ne se limite donc pas à parachever des instruments économétriques mais elle relève aussi le défi d'appliquer ceux-ci à l'analyse des phénomènes économiques réels. Nous pouvons retrouver un tel effort dans *The relationship between firm size and firm growth in the US manufacturing sector*, publié en 1987 dans le *Journal of Industrial Economics*, article cité plus de 1280 fois. Ici, l'auteur se demande si les petites et moyennes entreprises cotées en bourse ont une croissance plus rapide que les grandes. Dans son article, elle met en évidence la manière dont les analyses ont jusqu'à maintenant négligé la question économétrique essentielle : celle de la mesure de l'état initial et final des entreprises pour en déduire la croissance sur la période. Le choix de cette approche conduit le chercheur à se heurter à un biais de sélection. En effet, une petite entreprise à croissance lente ou négative aura tendance à sortir du marché : elle sera donc exclue de l'échantillon analysé. Dans ce domaine d'étude, Bronwyn Hall a développé un instrument pour vérifier si la sortie du marché – et donc l'exclusion de l'échantillon de telles entreprises – introduit une distorsion dans les statistiques qui peuvent conditionner les résultats.

## 2. BREVETS ET CITATIONS : DES INSTRUMENTS D'ANALYSE

### 2.1. La construction de bases de données robustes

En plus de ses apports théoriques et économétriques, Hall a également considérablement contribué au domaine de l'économie de l'innovation par la constitution d'une base de données originale, développée avec Jaffe et Trajtenberg et qui a nécessité dix ans de collecte d'informations. Cette base a été conçue comme un instrument destiné à la recherche scientifique. Elle est composée de nombreuses informations concernant les brevets délivrés aux États-Unis entre janvier 1963 et décembre 1999, ainsi que toutes les citations tirées de ces brevets entre 1975 et 1999 (soit plus



de 16 millions d'occurrences). La base est accompagnée d'un document "The NBER patent citation data file : Lessons, insights and methodological tools" (Hall *et al.*, 2002) qui en décrit le contenu et qui offre une vue d'ensemble des problèmes multiples rencontrés par ceux qui travaillent avec les citations des brevets, tout en suggérant des démarches originales pour les affronter. Le document explique en outre comment produire des indices utiles qui peuvent être extraits des données des citations. Parmi ceux-ci : le *backward and forward citation lags*, les indices d'originalité et d'autocitation.

Malgré le travail remarquable des auteurs, l'emploi des données des brevets soulève encore nombre de questions. Comme cela a été mis en évidence par Hall elle-même à plusieurs occasions (Hall, 2013 ; Hall *et al.*, 2001), trois difficultés majeures ont été identifiées par les chercheurs qui s'occupent des données de brevets. La première réside dans le manque d'harmonisation lors de l'enregistrement des noms des cessionnaires, à la fois entre les différents offices des brevets mais aussi à l'intérieur d'un même office. La deuxième concerne la difficulté de relier un brevet à son application industrielle. La troisième est incarnée par le fait que les brevets ne rendent pas compte de l'ensemble des inventions (mais malheureusement, le chercheur manque d'informations sur les inventions qui ne sont pas brevetées).

Le premier problème a été partiellement résolu par l'initiative d'harmonisation initiée par l'OCDE et l'EUROSTAT avec la création de la base de données OECD-HAN (*Harmonised Applicants' Names*) (Magerman *et al.*, 2006, European Commission, 2011). Les auteurs ont répondu au deuxième problème de manière très générale, au travers de l'élaboration des six grandes catégories technologiques. Selon les auteurs eux-mêmes : « Il y a toujours une composante arbitraire dans le fait de diviser un système agrégé et d'attribuer les classes de brevets aux différentes catégories technologiques. Il n'y a pas de garantie que la classification ainsi produite soit « juste » ou adéquate pour les emplois que l'on veut en faire ». Dans les années qui ont suivi la publication de la base de données, de nombreuses tentatives de classement des brevets qui puissent refléter leur utilité dans divers secteurs industriels ont été proposées (Johnston, 2002 ; Schmoch *et al.*, 2003 ; Lybbert and Zolas, 2012 ; Costantini *et al.*, 2015). Quant au troisième problème, il n'a pas encore été résolu et à ce jour peu de contributions ont été apportées dans ce domaine (de Rassenfosse, 2010). Selon les auteurs, ce terrain de recherche est encore à défricher.

## 2.2. La mise en évidence de stratégies entrepreneuriales en matière de brevets

“The patent paradox revisited : an empirical study of patenting in the US semiconductor industry, 1979-1995” (Hall et Ziedonis, 2001) est l’un des premiers articles à offrir un cadre rigoureux pour analyser l’emploi des brevets en tant qu’outil stratégique d’entreprise. La recherche montre que l’utilisation stratégique des brevets est un phénomène important dans certains secteurs de haute technologie. L’article illustre comment les brevets ont progressivement changé de rôle pour certaines entreprises : d’instruments de protection de la propriété intellectuelle, ils sont devenus des outils stratégiques pour lutter contre la concurrence. Les auteurs se réfèrent à des enquêtes menées parmi des entreprises spécialisées dans la fabrication de semi-conducteurs. D’après les opérateurs de ce secteur, les brevets sont parmi les instruments les moins efficaces pour dégager de véritables rendements des dépenses en recherche et développement. Néanmoins, de manière paradoxale, aux États-Unis, on a pu assister à une nette augmentation des brevets déposés par les entreprises entre le milieu des années 1980 et le milieu des années 1990. De plus, le nombre des brevets a augmenté selon un rythme plus soutenu que les investissements réels en recherche et développement, en amenant à un redoublement de ce qu’on appelle le « *patent yield* » (le nombre de brevets déposés par unité de R&D). Hall et Ziedonis arrivent à la conclusion que les changements législatifs poussent les entreprises à construire, de manière proactive, de vastes portefeuilles de brevets afin de se protéger des ralentissements des opérations provoquées par les litiges concernant la propriété intellectuelle. Les brevets apparaissent alors comme des outils de négociation en cas de litiges.

Une telle dynamique soulève d’importantes questions. En premier lieu, dans quelle mesure l’utilisation stratégique des brevets a été la cause principale du boom mondial des brevets ? En outre, quel est l’effet de l’utilisation stratégique des brevets sur l’innovation ? Depuis la publication de cet article en 2001, la littérature économique a confirmé l’existence de nouvelles motivations à breveter (Pénin, 2012), mais a aussi identifié plusieurs facteurs qui accompagnent l’augmentation du nombre des brevets, sans toutefois pouvoir préciser s’il s’agit de causes exogènes ou de réponses endogènes (WIPO, 2012).

### 3. R&D PRIVÉ, R&D PUBLIQUE ET POLITIQUE D'INNOVATION

À la fin des années 1990, Bronwyn Hall commence à se consacrer à un sujet de recherche qui jusqu'alors ne pouvait se prévaloir d'aucune étude micro-économétrique sérieuse : l'impact des incitatifs fiscaux sur le niveau de R&D. L'article *How effective are fiscal incentives for R&D? A review of the evidence*, (Hall & Van Reenen, 2000), présente certains résultats des analyses effectuées dans les pays de l'OCDE. Au cœur de la question de recherche posée dans l'article, on retrouve le problème soulevé par Nelson (1959) et Arrow (1962), pour qui le secteur privé n'est pas en mesure de garantir un niveau optimal d'activité de R&D puisque le résultat de cette activité – la connaissance – possède certaines caractéristiques des biens publics (non-rivalité et partielle non-exclusion), qui l'empêche de s'approprier pleinement les bénéfices des connaissances créées.

La théorie économique reconnaît dans les incitatifs fiscaux l'outil de politique publique le plus approprié pour éviter cette défaillance du marché car cette démarche, tout en évitant de financer directement la recherche publique, laisse aux privés le choix sur la manière de conduire et de réaliser des programmes R&D. De nombreux doutes demeurent quant à l'efficacité de cette approche puisque beaucoup d'économistes ont soutenu que, afin de générer un niveau socialement souhaitable de R&D, l'outil de politique publique devrait apporter d'énormes changements dans le domaine de la fiscalité du secteur privé. Pour répondre à ces critiques, l'article décrit et dénigre les méthodologies ainsi que les conclusions développées dans les études sur l'évaluation des effets de la fiscalité de la R&D sur les décisions des entreprises dans plusieurs pays industrialisés, en arrivant aux conclusions que chaque dollar de crédit d'impôt de R&D stimule une dépense additionnelle de R&D équivalente.

Dans un travail de 2002, Bronwyn Hall continue à s'intéresser au niveau optimal des investissements privés en R&D, aux formes externes de financement et au rôle que le secteur public peut jouer dans ce domaine. L'article consiste en un résumé des contraintes relatives aux financements pour les activités de R&D. Dans ce domaine, Hall va au-delà du thème classique des défaillances de marché dans l'appropriabilité de la connaissance et se concentre sur une question soulevée par Arrow dans sa recherche de 1962 : lorsque le sujet qui investit en R&D n'est pas celui qui finance cette activité, il existe un écart supplémentaire entre le taux de rendement privé et le coût du capital généré. Celui-ci dépend de trois types de motifs : i) informations asymétriques entre deux sujets éco-



nomiques ; ii) aléa moral produit par la séparation entre propriété et gestion et iii) préférences divergentes en matière de fiscalité. Le compte rendu développé dans cet article permet de tirer des conclusions concernant les implications des nombreuses formes de financements de R&D pratiquées et représente ainsi un guide utile pour mieux comprendre les différentes possibilités.

Poursuivant son analyse de l'impact de l'action publique sur les investissements en R&D privés, elle s'interroge ensuite quant à la complémentarité/substituabilité entre la recherche publique et la recherche privée, dans un travail en collaboration (David *et al.*, 2000). Les auteurs proposent un cadre renouvelé pour classer et comparer la bibliographie existante dans ce domaine. Selon eux en effet, la bibliographie de référence est composée de 35 ans d'analyses ex-post où l'interaction entre R&D publique et privée se mélange avec de nombreuses autres évaluations ce qui rend difficile la vérification économétrique des influences qu'ont ces phénomènes sur l'objet de l'enquête. Bien que la bibliographie semble s'orienter vers des conclusions qui considèrent que la R&D publique est complémentaire à la R&D privée, les résultats obtenus par différentes études sont loin d'être homogènes et il est difficile d'en faire une comparaison et une généralisation. En effet, le phénomène analysé semble changer considérablement selon la période et le secteur technologique et industriel.

Le résultat de cette étude pousse les auteurs à se poser une question. Le fait que l'on n'observe pas de remplacement net au niveau industriel ni au niveau macroéconomique, peut-il nous faire conclure qu'il existe un effet positif évident entre R&D publique et privée ? Cette question demeure ouverte. Avec prudence, les auteurs suggèrent qu'un plus grand effort est demandé, en ce qui concerne la correction des spécificités des cas analysés qui ont une influence sur le taux de rendement privé attendu.

## Conclusion

Bien que largement publiés et cités, un trait appréciable et récurrent des travaux de Hall réside dans la modestie avec laquelle l'auteur affirme que ses conclusions n'ont pas la prétention d'être une vérité absolue, ni une explication incontestable des phénomènes économiques. Pour autant, l'ensemble de ses travaux présentent trois grandes forces : 1) ils offrent des instruments économétriques d'une large applicabilité, bien que ceux-ci soient présentés dans le cadre de l'économie de l'innovation ; 2) ils fournissent des informations pratiques sur la manière dont les données sont traitées et sur les problèmes qui sont susceptibles de surgir pendant leur

analyse ; 3) ils décrivent et critiquent de larges passages de la littérature concernant l'économie de l'innovation, en fournissant des grilles d'interprétation sur les travaux effectués et en indiquant les directions de recherche futures. En ce sens, comme le confirme le nombre élevé de citations reçues, le travail du professeur Hall maintient constamment un caractère didactique et informatif : chaque article se fonde de manière solide sur la connaissance acquise tout en l'améliorant.

Finalement, si l'on peut attribuer à Bronwyn Hall des contributions majeures dans le domaine de la science économique/économétrique – en premier lieu, sa contribution à l'analyse des modèles de comptage – ses travaux les plus célèbres mettent sa compétence économétrique au service d'un double objectif : rapprocher la science économique de la réalité économique et en tirer des conclusions uniquement lorsqu'il est raisonnable de le faire. Ce faisant, les travaux de Hall n'en ont pas moins inspirés des chercheurs du monde entier intéressés à l'innovation, et leur ont permis d'accéder (gratuitement) à des bases de données de taille impressionnante pour faire progresser la connaissance. Bronwyn Hall représente ainsi sans doute la scientifique qui a le plus contribué à valoriser l'emploi d'informations quantitatives relatives à la R&D et aux brevets, tout en conservant un regard critique et renouvelé sur le brevet et son rôle.

## Travaux cités de l'auteur

- Berndt, E.K., Hall, R.E., Hall, H.B., Hausman, J.A. (1974), « Estimation and Inference in Nonlinear Structural Models », *Annals of Economic and Social Measurement*, vol. 3, n° 4, p. 653-65.
- Bound, J. Cummins, C., Hall, H.B., Jaffe, A., Griliches, Z. (1984), « Who does R&D and who patents ? », in : Griliches, Z. (ed.), *R&D, Patents, and Productivity*, University of Chicago Press, Chicago, p. 21-54.
- David, P. A., Hall, H.B. Toole, A. (2000), « Is Public R&D a Complement or Substitute for Private R&D ? A Review of the Econometric Evidence », *Research Policy*, vol. 29, p. 497-529.
- Hall, H.B. (1987), « The relationship between firm size and firm growth in the US manufacturing sector », *Journal of Industrial Economics*, vol. 35, juin, p. 583-606.
- Hall, H.B. (2002), « The financing of research and development », *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 18, n° 1, p. 35-51.
- Hall, H.B. (2013), « Using patent data as indicators », plenary talk at EMAEE 2013, *8<sup>th</sup> European Meeting on Applied Evolutionary Economics*, Sophia Antipolis, June 10-12 2013. Retrieved on line on November 2014 at : <http://ofce-skema.org/emaee/program/>

- Hall, H.B., Hausman, J.A., Griliches, Z. (1984), « Econometric models for count data with an application to the patents-R&D relationship », *Econometrica*, vol. 52, n° 4, p. 909-938.
- Hall, H.B., Jaffe, A., Trajtenberg, M. (2002), « The NBER patent citation data file : Lessons, insights and methodological tools », in : Jaffe, A., Trajtenberg, M (eds.), *Patents, Citations and Innovations*, The MIT Press, Cambridge, MA, p. 403-459.
- Hall, H.B., Jaffe, A., Trajtenberg, M. (2005), « Market value and patent citations », *Rand Journal of Economics*, vol. 36, p. 16-38.
- Hall, H.B., Van Reenen, J. (2000), « How effective are fiscal incentives for R&D ? A review of the evidence », *Research Policy*, vol. 29, p. 449-469.
- Hall, H.B., Rosenberg, N. (2010), *Handbook of the Economics of Innovation*, vol. I et II, Elsevier.
- Hall, H.B., Ziedonis, R.H. (2001), « The patent paradox revisited : an empirical study of patenting in the US semiconductor industry », 1979-1995, *Journal of Economics*, vol. 32, p. 101-128.

## Autres références bibliographiques

- Arrow, K. (1962), « Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention », in : Nelson, R. (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity*, Princeton University Press, Princeton, N. J., p. 609-626.
- Battese, G.E., Coelli, T.J. (1988), « Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data », *Journal of Econometrics*, vol. 38, p. 387-399.
- Constantini, V., Crespi F. et Curci, Y. (2015), « A keyword selection method for mapping technological knowledge in specific sector through patent data : the case of biofuels sectors », *Economics of innovation and New Technology, Taylor & Francis Journals*, vol. 24, n° 4, juin, p. 282-308.
- European Commission (2011), *Patent Statistics at Eurostat : Methods for Regionalisation, Sector Allocation and Name Harmonisation*, Eurostat Methodologies & Working Papers, Luxembourg : Publications Office of the European Union.
- Evans, W.N., Oates, W.E., Schwab, R.M. (1992), « Measuring peer group effects : a study of teenage behavior », *Journal of Political Economy*, vol. 100, n° 5, p. 966-991.
- Johnston, D. (2002), *The OECD Technology Concordance (OTC) : Patents by Industry of Manufacture and Sector of Use*, OECD Science, Technology and Industry Working Papers.
- Kamien, M.I., Schwartz, N.L. (1975), « Market structure and innovation : A survey », *Journal of Economic Literature*, vol. 13, p. 1-37.
- Lybbert, T.J., Zolas, N.J. (2012), *Getting Patents and Economic Data to Speak to Each Other : An "Algorithmic Links with Probabilities" Approach for Joint Analyses of Patenting and Economic Activity*, WIPO Economics & Statistics Series, Working Paper n° 5, October.

- Magerman, T., Van Looy, B., Song, X. (2006), *Data production methods for harmonized patent statistics : Patentee name harmonization*, K.U.Leuven FETEW MSI Research report 0605, Leuven.
- Nelson, R. (1959), « The Simple Economics of Basic Scientific Research », *Journal of Political Economy*, vol. 49, p. 297-306.
- Pakes, A., Griliches, Z. (1980), « Patents and R&D at the firm level : A first report », *Economics Letters*, vol. 5, p. 377-81.
- Pénin, J. (2012), « Strategic uses of patents in markets for technology : A story of fables firms, brokers and trolls », *Journal of Economic Behavior and Organization*, vol. 85, p. 633-641.
- Rassenfosse, G. (de) (2010), « How much do we know about firms' propensity to patent and should we worry about it ? », paper presented at the Summer Conference 2010 on *Opening Up Innovation : Strategy, Organization and Technology*, Imperial College London Business School, June 16 – 18. Retrieved online on November 2014 at <http://www2.druid.dk/conferences/viewabstract.php?id=501012&cf=43>
- Schmoch, U., LaVille, F., Patel, P., Frietsch, R. (2003), *Linking Technology Areas to Industrial Sectors : Final Reports to the European Commission*, DG Research, November.
- WIPO (2012), « The surge in worldwide patent applications », *Patent Cooperation Treaty (PCT) working group*, 5<sup>th</sup> session, Geneva, may 29 to june 1.