« L'économie industrielle depuis 30 ans : réalisations et perspectives ». Innovation et espace – des externalités aux réseaux

Corinne Autant-Bernard, Pascal Billand et Nadine Massard

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/4155>

DOI : 10.4000/rei.4155

ISSN : 1773-0198

Éditeur

De Boeck Supérieur

Édition imprimée

Date de publication : 15 juin 2010

Pagination : 203-236

ISSN : 0154-3229

Référence électronique

Corinne Autant-Bernard, Pascal Billand et Nadine Massard, « « L'économie industrielle depuis 30 ans : réalisations et perspectives ». Innovation et espace – des externalités aux réseaux », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 129-130 | 1^{er} et 2^e trimestres 2010, document 9, mis en ligne le 15 juin 2012, consulté le 03 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/4155> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.4155>

« L'ÉCONOMIE INDUSTRIELLE DEPUIS 30 ANS : RÉALISATIONS ET PERSPECTIVES » INNOVATION ET ESPACE – DES EXTERNALITÉS AUX RÉSEAUX

Mots-clés : Géographie de l'innovation, innovation, espace, externalités, réseau

Key words : Geography of innovation, Innovation, Space, Externalities, Network

I. — INTRODUCTION

Les études décrivant la structure géographique des activités innovantes au sein des pays sont nombreuses tant dans le contexte américain que dans le contexte européen (1). Toutes ces études observent une forte polarisation spatiale des activités liées à l'innovation. Elles s'accompagnent aussi depuis la fin des années 1980 d'une production théorique assez importante cherchant à décrire les formes du développement local par l'innovation. Systèmes locaux d'innovation, districts, technopoles, parcs scientifiques, milieux innovateurs, clusters de haute technologie..., les termes fleurissent, correspondant souvent à des visions différentes des processus d'innovation et de leur inscription spatiale. De telles différences trouvent leur source dans les traditions théoriques sous-jacentes tout comme dans les ambitions normatives données à ces concepts (Massard et Torre, 2005).

Toutefois, au-delà de ces différences, ces approches présentent un terme commun : elles s'appuient largement sur la notion d'externalités géogra-

(1) Voir Puga (1999), Amiti (1998), OST (1998), Paci and Usai (2000) and Vertova (2004).

phiques. L'impact positif de la proximité géographique sur l'innovation résulterait en effet pour l'essentiel de l'existence d'une limitation à la diffusion des externalités de connaissances dans l'espace. Cette hypothèse simple, dont les implications théoriques sur les « avantages du local » sont assez fortes, a pu conduire à quelques raccourcis dangereux en matière de politiques publiques.

Une revue des travaux empiriques qui se sont développés depuis le début des années 1990, tentant notamment de mesurer la dimension géographique des externalités, apporte de nombreuses nuances à cette hypothèse (Autant-Bernard *et al.*, 2008). Des éléments d'analyse sont fournis permettant de cerner de manière beaucoup plus fine les rapports innovation/espace et le rôle des effets de proximité. Une telle revue permet en particulier de souligner les insuffisances des approches qui étudient la diffusion de connaissances dans l'espace à travers le seul prisme de la notion d'externalité.

En effet, pour quiconque s'intéresse aujourd'hui à la création et à la diffusion de connaissances et à ses applications, il est clair que nous vivons une période d'intenses changements (Wagner, 2004). La principale figure de ce changement est sans doute la nature de plus en plus résiliente de la création de connaissances. Les processus d'innovation impliquent un nombre grandissant d'acteurs divers, de plus en plus interconnectés. Or ces transformations ne sont pas réductibles à des effets d'externalités et sont susceptibles d'affecter à la fois la localisation de la recherche-développement et la nature de la création de connaissances. Elles constituent de nouveaux défis pour la géographie de l'innovation.

Ainsi, partant de la simple mesure de la dimension géographique des externalités de connaissances à des niveaux spatiaux agrégés, les travaux en géographie de l'innovation sont progressivement amenés à se tourner vers l'analyse des mécanismes sous-jacents à la diffusion de connaissances dans l'espace (capacité d'absorption, échanges en face à face, mobilités professionnelles). La mise en évidence de ces mécanismes justifie à son tour les perspectives de recherche orientées vers la compréhension des comportements individuels de coopération en matière d'innovation. Ces comportements fondent la dynamique des réseaux d'acteurs qui caractérise aujourd'hui les phénomènes d'innovation collective et qui cumule des dimensions locales et globales. Une meilleure compréhension des déterminants de la configuration spatiale de ces réseaux apparaît essentielle à une bonne appréciation des rapports innovation-espace.

Cette contribution vise à retracer la logique des recherches menées dans ce domaine ces dernières décennies. Elle est organisée de la manière suivante. La section II décrit plusieurs faits stylisés des évolutions de la géographie de l'innovation sur les 30 dernières années, mettant en exergue l'existence d'une forte concentration et de zones spécialisées. La section III revient rapidement sur les fondements théoriques de l'économie géographique de l'innovation avant de présenter une revue des travaux dont l'objectif est de fournir des preuves empiriques à l'appui de l'hypothèse centrale de ces théories : l'exis-

tence d'externalités géographiques de connaissances. Dans la section IV, nous partons du fait que les externalités ne se diffusent pas de façon uniforme mais transitent par des réseaux de relations interpersonnelles. Nous montrons alors que les avancées vers une meilleure appréhension des mécanismes de production et de diffusion des connaissances conduisent à s'interroger sur l'importance des actions individuelles délibérées de mise en relation. Partant de là, la section V porte sur les nouvelles perspectives offertes par la théorie des réseaux de relations pour traiter du rapport innovation-espace. La section VI conclut.

II. — QUELQUES FAITS STYLISÉS DE LA GÉOGRAPHIE DE L'INNOVATION

La géographie des activités innovantes est marquée par deux caractéristiques essentielles : une très forte concentration spatiale d'une part, et une spécialisation sectorielle de certaines zones géographiques d'autre part.

2.1. Forte concentration des activités d'innovation dans l'espace

L'une des caractéristiques les plus marquantes des activités économiques est leur très forte polarisation spatiale. L'innovation (2) ne fait pas exception et se trouve même plus concentrée que les autres activités de production.

L'hégémonie américaine est de ce point de vue incontestable. 40 % des dépenses privées de recherche de l'OCDE s'y concentrent en 2005, ainsi que 34 % des inventeurs ayant déposé des brevets triadiques (c'est-à-dire auprès de l'OEB, de l'USPTO et du JPO). L'UE apparaît en seconde position, avec un quart des dépenses de R&D de l'OCDE, et également 34 % des brevets triadiques. Certains pays sont également présents dans certains secteurs spécifiques (Japon, Inde, Chine). Au sein de ces pays, la concentration spatiale est également frappante. L'essentiel des innovations est réalisé dans quelques régions seulement. Ainsi, aux États-Unis, l'activité d'innovation est largement concentrée sur les côtes dans les États de Californie, New York et New Jersey.

En Europe, dans un contexte global de stagnation de la part des dépenses de R&D dans le PIB autour de 1,9 %, le schéma de localisation de l'innovation se caractérise aussi par une forte polarisation spatiale repérable à la fois aux niveaux des États membres et des régions. Ainsi, la carte des dépenses régionales en R&D montre que la localisation des activités technologiques forme un

(2) Notons que la notion d'innovation retenue dans l'ensemble des travaux présentés ici recouvre les innovations de produits ou de procédés éventuellement brevetables et qui résultent d'une activité publique ou privée de R&D. Il s'agit donc essentiellement d'innovation technologique.

axe allant des Pays-Bas au sud de l'Allemagne, l'Île de France, le sud-est du Royaume-Uni, la Région Rhône-Alpes et le nord de l'Italie, figure 1. La carte représentant la distribution spatiale du nombre de demandes de brevets conduit à une conclusion renforcée de concentration spatiale au niveau européen ainsi qu'au sein des pays, figure 2 (page suivante).

Ces tendances à l'agglomération des activités innovantes ne sont pas récentes. En étudiant la géographie de ces activités sur les cent dernières

FIGURE 2

années aux États-Unis, Vertova (2002) montre que le phénomène est ancien même s'il tend à se renforcer.

On pourrait penser qu'une telle polarisation spatiale de l'innovation n'est que le résultat de l'agglomération des activités économiques dans leur ensemble. La confrontation de la répartition géographique de l'innovation et de la production indique en effet de fortes similitudes. Les zones où les activités innovantes sont concentrées sont également celles où le niveau global d'activité est important. Cependant, il semble réducteur d'attribuer l'inégale répartition géographique de l'innovation à la seule concentration de la production, et ce pour deux raisons.

D'une part, les lieux de concentration des activités innovantes ne recouvrent pas parfaitement les zones à forte activité économique. Ainsi, l'intensité de la recherche et de l'innovation, en termes relatifs par rapport à la taille économique des États (en termes de PIB), varie fortement d'une région à l'autre. Aux États-Unis, le Massachusetts ressort comme l'État le plus innovateur devant le New Jersey et la Californie pourtant dotés en termes d'activités économiques. En Europe, en 2005, les intensités relatives les plus élevées de R&D (R&D/PIB) parmi les États membres ont été relevées en Suède (3,86 % du PIB) et en Finlande (3,48 %), suivies de l'Allemagne (2,51 %), du Danemark (2,44 %), de l'Autriche (2,36 %) et de la France (2,13 %). Les intensités les plus faibles ont été observées en Roumanie (0,39 % en 2004), à Chypre (0,40 %), en Bulgarie (0,50 %) et en Slovaquie (0,51 %) (3).

D'autre part, la production reste beaucoup moins fortement agglomérée que l'innovation. Feldman (1994) sur le cas américain et Caniels (2000) sur l'Union européenne calculent notamment des indices de concentration (Gini, Herfindhal par exemple), afin de comparer la concentration des activités innovantes à celle du reste des activités économiques. Les indices obtenus pour l'innovation sont toujours nettement supérieurs à ceux obtenus pour la production. Dans le même sens, la comparaison effectuée par l'OCDE (Science Technology Industry Scoreboard (4)) entre les indices de concentration géographique des brevets et ceux de la population ayant suivi des études supérieures montre même que dans la plupart des pays, la population hautement qualifiée (pourtant déjà plus concentrée que les activités productives) reste moins concentrée que les brevets. La carte de la figure 3 (page suivante) comparée à celle de la figure 2 donne la même indication pour l'Europe. La polarisation des activités productives ne permet donc pas d'expliquer en totalité la concentration géographique de l'innovation.

Par ailleurs, il semble exister des spécificités, à la fois nationales et sectorielles, susceptibles d'expliquer l'organisation spatiale de l'innovation. Les niveaux de concentration observés diffèrent en effet d'un pays à l'autre et d'un secteur à l'autre.

Les indices de concentration construits par l'OCDE (5) montrent par exemple que la concentration géographique des brevets est particulièrement nette en Australie, où 89 % des brevets sont le fait d'inventeurs localisés dans moins de 10 % du territoire, au Japon (79 %), au Portugal (73 %), en Corée (72 %). Inversement, certains pays connaissent une concentration moins marquée. C'est le cas de la Pologne (35 %), de la Belgique (39 %), des Pays-Bas (42 %) et de l'Allemagne (43 %). Par ailleurs, parmi les États membres de l'Union européenne, on distingue nettement les pays à structures *multipolaires*

(3) Source : Eurostat.

(4) Cf. (www.oecd.org/sti/scoreboard).

(5) Cf. (www.oecd.org/sti/scoreboard).

FIGURE 3

pour lesquels l'activité de recherche est menée dans plus de trois ou quatre régions de tailles peu différentes : Allemagne, Autriche, Belgique, Italie, Norvège, Suède, Royaume-Uni, des pays à structure *unipolaire* pour lesquels une très large proportion de l'activité de R&D est concentrée dans une seule ou au maximum deux régions : Espagne, Finlande, France et Pays-Bas. Les comparaisons internationales restent toutefois extrêmement difficiles. En effet, les échelles géographiques ne sont pas homogènes. Selon le niveau d'observation retenu, la valeur des indices peut fluctuer fortement.

La concentration spatiale touche aussi très différemment les secteurs industriels. En France par exemple, les activités de recherche liées à l'aérospatiale et à l'informatique sont fortement agglomérées tandis qu'à l'opposé la recherche sur les matériaux et le secteur alimentaire est plus dispersée (Autant-Bernard, 2000). À ces niveaux de concentration variés d'un secteur industriel à l'autre s'ajoutent des effets de spécialisation technologique des territoires à l'origine de formes diversifiées d'agglomérations.

2.2. Existence de formes diversifiées d'agglomérations innovantes

La concentration spatiale des activités d'innovation ne se fait pas de manière homogène et peut revêtir des formes très diverses (Feldman et Massard, 2002). Les zones urbaines innovantes sont en fait de natures différentes. En particulier, on peut distinguer deux grands types d'agglomérations : des grandes agglomérations diversifiées d'une part (associant notamment finance et industries diverses comme dans le cas de New-York) et des agglomérations, souvent de taille plus modeste, très spécialisées. Si ces dernières ne constituent pas des pôles innovants de premier plan au niveau global, elles sont en revanche leaders en matière d'innovation dans une ou quelques industries particulières. La Silicon Valley décrite par A. Saxenian (1994) constitue le cas d'école de ce type d'agglomération, mais bien d'autres régions sont concernées comme par exemple les célèbres districts italiens.

Bien qu'encore une fois les comparaisons internationales soient difficiles, il semble que l'Europe connaisse une plus forte spécialisation que les États-Unis. On peut en effet mettre en parallèle les résultats de M. Caniëls (2000) pour le contexte européen et ceux de M. Feldman (1994) pour les États américains. La région européenne la plus innovante dans une industrie réalise en moyenne la moitié de l'innovation de cette industrie, contre un tiers seulement dans le cas américain. Ce résultat est toutefois fortement conditionné par le nombre de secteurs industriels retenus et par la taille des zones géographiques considérées.

Au-delà de cette distinction simple entre agglomération spécialisée et agglomération diversifiée, l'observation de l'évolution des agglomérations innovantes montre une tendance à la spécialisation fonctionnelle des villes. Ce phénomène, mis en avant par Duranton et Puga (2005), serait dû à un changement dans l'organisation des entreprises, conduisant à une spécialisation des villes par type d'activités plutôt que par secteur. Les villes de taille importante auraient une spécialisation dans les fonctions de services alors que les villes plus petites se spécialiseraient dans les fonctions de production.

Cette tendance à la spécialisation fonctionnelle plutôt que sectorielle devrait s'accompagner d'un renforcement de la concentration spatiale des activités innovantes, certains pays et certaines régions se spécialisant dans les activités de R&D. Une telle tendance devrait aussi renforcer la diversification sectorielle des agglomérations.

III. — DIMENSION SPATIALE DES EXTERNALITÉS ET ÉCONOMIE GÉOGRAPHIQUE DE L'INNOVATION

Pour l'essentiel, les tentatives d'interprétation théorique de ces faits prennent appui sur la notion d'externalités géographiques de connaissances.

3.1. Les fondements théoriques

Les travaux de A. Marshall autour des districts fournissent les premiers fondements des dynamiques micro-économiques fondatrices des agglomérations. Leur remise à l'ordre du jour par le développement de la nouvelle économie géographique renouvelle l'analyse de la relation innovation/espace à partir des années 1990.

Un premier élément fondamental de cette relation concerne la dimension géographique des externalités de connaissances. Plus précisément, alors que Krugman (1991) reprend deux forces d'agglomérations proposées par Marshall : les externalités pécuniaires liées aux relations amont-aval au sein des industries et le rôle du marché du travail, il renonce à prendre en compte les externalités géographiques de connaissances car elles échappent selon lui à la mesure et restent donc impalpables. De leur côté au contraire les théories de la croissance endogène insistent sur le rôle de l'innovation et des processus d'externalités liés à la diffusion de connaissances dans les dynamiques de croissance.

Au final, les approches de la synthèse « économie géographique-croissance endogène » rassemblent ces deux perspectives pour offrir un cadre formalisé d'analyse des dynamiques localisées de croissance fondée sur l'innovation (6). Au-delà des facteurs traditionnels d'agglomération des activités productives, les externalités technologiques sont au centre des explications de la plus forte polarisation des activités innovantes. Les régions bénéficiant de ces retombées technologiques deviennent plus dynamiques en matière d'innovation et plus attractives pour que s'établissent de nouvelles activités. Dans ce cadre, l'hypothèse d'une dimension locale de ces phénomènes est essentielle. Si les externalités sont localisées, une région bénéficiant initialement d'un léger avantage technologique accumule plus rapidement des connaissances. Cela réduit le coût de l'innovation dans cette région, ce qui, en retour, attire davantage de ressources dédiées à l'innovation. Il en résulte une agglomération des activités de recherche et d'innovation dans cette région.

Le second aspect fondamental de la relation innovation/espace concerne la plus ou moins forte spécialisation des entreprises locales nécessaires à l'existence de telles externalités. Pour Marshall (1890), puis Arrow (1962) et Romer

(6) Baldwin et Martin (2004) pour une revue.

(1986), les externalités de connaissances ne peuvent se transmettre qu'en présence d'une certaine proximité technologique (7). C'est alors une forte spécialisation, c'est-à-dire le regroupement d'activités de la même industrie ou d'industries reliées, qui détermine l'intensité des externalités de connaissances, la dynamique de production de ces connaissances et la compétitivité des entreprises et des régions. En revanche, pour d'autres auteurs, les externalités résultent d'un regroupement d'activités différentes. La croissance est alors positivement affectée par le regroupement en un même lieu de firmes d'industries variées. C'est le point de vue de Jacobs (1969). Dans cette perspective, les débats opposent les défenseurs de la diversité aux défenseurs de la spécialisation (Massard et Riou, 2007 pour une revue).

Le second fait stylisé que nous avons mis en évidence, à savoir l'existence de formes différenciées d'agglomération en fonction de leur plus ou moins grande spécialisation, trouve donc une justification théorique à travers l'idée d'externalités MAR ou Jacobs. Les grandes agglomérations diversifiées trouveraient leur origine dans la présence d'externalités de type Jacobs, tandis que l'existence d'aires urbaines spécialisées serait justifiée par des externalités de type MAR.

Ces deux types d'agglomération sont intégrés dans le modèle simple de Duranton et Puga (2001) qui se fonde sur l'existence d'un cycle de l'innovation. En phase d'activité émergente, d'expérimentation, l'entreprise fait face à de nombreuses incertitudes concernant le processus de production le plus efficace ou le type de qualification des employés le plus approprié. Durant cette phase, les firmes vont donc rechercher des environnements diversifiés offrant une proximité à d'autres firmes elles aussi en phase d'expérimentation. Si cette diversité a elle-même un coût du fait de l'éclatement des compétences au sein de l'aire géographique, les firmes n'ont cependant pas besoin de supporter des coûts de délocalisation à chaque nouvelle expérimentation. Cette recherche d'un environnement diversifié prend fin lorsque la firme a enfin trouvé le bon procédé de production. Celle-ci arbitre alors en faveur d'un changement de localisation pour une zone géographique spécialisée dans son procédé de production où les coûts de production sont plus faibles. Les externalités marshalliennes gouvernent alors le choix de localisation. Duranton et Puga (2001) montrent ainsi que des tissus urbains diversifiés et spécialisés peuvent coexis-

(7) Ces externalités sont appelées MAR, en référence aux différents auteurs qui ont contribué à l'élaboration de cette conception. Ces externalités, associées à la concentration géographique d'une même industrie, sont reprises également par M. Porter (1990). Son analyse diffère cependant quant à la structure de marché propice au développement de tels effets de débordement. Pour lui, la concurrence produit un impact positif sur l'innovation et la croissance. La théorie MAR repose au contraire, à l'instar de la vision schumpétérienne, sur l'idée que les monopoles locaux sont préférables à la concurrence, dans la mesure où ils permettent à l'innovateur d'internaliser les externalités. Les résultats de E. Glaeser *et al.* (1992) sur ce point confirment plutôt le rôle positif de la concurrence, *i.e.* les externalités de type Porter.

ter, chacun répondant aux attentes des firmes à des étapes différentes de leur cycle de vie.

Ces considérations théoriques sur le caractère localisé des externalités de connaissances ont donné lieu depuis le début des années 1990 à plusieurs tentatives de validations empiriques.

Notons au préalable qu'en se situant au croisement de l'économie de l'innovation et de l'économie spatiale, la géographie de l'innovation rencontre à la fois les difficultés de modélisation des connaissances et les difficultés de modélisation des phénomènes spatiaux. Les tentatives d'évaluation empirique de l'existence d'externalités technologiques et de leur dimension spatiale ne vont donc pas de soi. En fait, la littérature économétrique sur les externalités de connaissances cherche à rendre compte de ces phénomènes suivant trois directions de recherche : les analyses de concentration, les citations de brevets, les fonctions de production de connaissances localisées.

3.2. Les analyses de concentration

Ces analyses consistent simplement à étudier la répartition géographique des activités de recherche et d'innovation. Dans cette perspective, les travaux de Audretsch et Feldman (1996) et de Caniëls (2000) s'attachent à expliquer la concentration des activités innovantes, en partant de l'idée que si les *spillovers* sont localisés, alors certaines régions doivent bénéficier d'effets cumulatifs favorisant la « production » d'innovations.

Le modèle initial présenté par Audretsch et Feldman (1996) s'appuie sur l'estimation d'un système de deux équations : une équation de la concentration de la production, et une équation de la concentration de l'innovation. Les résultats des estimations économétriques réalisées par ces auteurs à partir de 4 200 innovations commercialisées aux États-Unis en 1982 sont confirmés sur des données européennes des années 1990 par Caniëls (2000) : concernant la concentration de la production, la première équation indique que les industries où la recherche a une place importante ont une plus forte propension à se localiser à proximité les unes des autres (8). De même, les industries où la main-d'œuvre qualifiée représente une part importante des effectifs tendent à se concentrer plus que les autres.

Concernant la concentration de l'innovation, la seconde équation indique qu'en neutralisant l'effet lié à la localisation de la production, les facteurs

(8) Les résultats concernant les autres facteurs de concentration de la production ne sont pas analysés ici dans la mesure où ils ne présentent pas d'intérêt direct pour notre objet d'étude et où le débat qu'ils suscitent est beaucoup plus vaste et fait référence à une littérature déjà très abondante.

sources de connaissances nouvelles poussent malgré tout à la concentration de l'innovation. La concentration des activités innovantes ne s'explique donc pas entièrement par la localisation de la production. Les auteurs en déduisent que c'est moins la localisation de la production qui explique la concentration de l'innovation que les spillovers technologiques.

Plus récemment ce sont des méthodes tentant de mesurer plus directement les flux de connaissances ou leurs effets qui ont été privilégiées.

3.3. Les citations de brevets

L'approche précédente permet d'observer de fortes disparités spatiales, mais elle n'offre pas de modélisation à proprement parler des spillovers. Pour cela, d'autres méthodes ont été envisagées. L'une est suggérée par Jaffe, Trajtenberg et Henderson (1993). Ces auteurs s'opposent au point de vue de Krugman (1991), selon lequel les externalités de connaissances sont impalpables, l'idée est que ces dernières laissent au contraire des traces : les citations de brevets (9), c'est-à-dire les brevets déjà existants auxquels on fait référence lors du dépôt d'un nouveau brevet. L'intérêt de ces données pour l'analyse des spillovers géographiques est de fournir des indications précises sur l'innovateur et sur sa localisation. Si l'importance du caractère tacite des connaissances impose une proximité forte pour permettre l'échange et l'absorption de connaissances, une entreprise sera plus à même d'utiliser le stock de connaissances locales que celui produit à distance. On devrait donc découvrir un lien entre la localisation des nouveaux brevets et la localisation des brevets auxquels ils font référence (brevets cités).

Le principe de cette méthode est le suivant : pour que le lien établi soit pertinent, il faut prendre en compte le fait que les activités technologiques peuvent être au préalable concentrées géographiquement. On a de ce fait des chances d'avoir des brevets situés au même endroit que les brevets qu'ils citent, sans que cela traduise l'existence de spillovers. Il faut donc comparer la probabilité qu'un brevet soit situé à un endroit donné avec la probabilité qu'il soit situé au même endroit que le brevet auquel il fait référence. Jaffe, Trajtenberg et Henderson vont donc construire un échantillon de brevets-

- (9) Le système de brevet prévoit des indications sur les connaissances préalables qui accompagnent une innovation. Ces indications sont de deux ordres : les références à la littérature scientifique et les références à d'autres brevets. Ces citations d'article ou de brevets sont utilisées pour délimiter clairement l'apport spécifique du nouveau brevet. Ainsi, on peut considérer que les citations contenues dans un brevet représentent en fait un stock de connaissances préalables. Les entreprises ou les universités utilisent ce stock de connaissances pour innover. Le caractère « public » de ces connaissances laisse à penser que les citations de brevets sont un moyen de repérage des spillovers technologiques, et notamment de leur dimension géographique. Les travaux qui utilisent ces données se basent sur un seul des deux types de citations : les citations de brevets.

contrôle (10). La dimension locale des spillovers sera alors mise en évidence si la fréquence de co-localisation obtenue pour les citations est significativement plus forte que la fréquence obtenue pour l'échantillon contrôle.

Les résultats obtenus, aussi bien sur données américaines (Jaffe, Trajtenberg et Henderson, 1993; Almeida et Kogut, 1997a et b) que sur données européennes (Maurseth et Verspagen, 1999; Verspagen et Schoenmakers, 2000) valident l'idée d'une influence de la localisation sur l'innovation. Malgré quelques variations entre secteurs industriels et dans le temps, la concordance de localisation entre les brevets cités et les brevets qui les citent est généralement plus forte que la concordance de localisation entre les brevets cités et les brevets-contrôle.

L'utilisation des citations de brevets comme « marqueurs » des spillovers de connaissances a pu être considérée comme un bon révélateur de l'existence d'une dimension géographique. Toutefois, l'extrapolation des résultats obtenus pour les citations de brevets aux modalités de transmission des spillovers est délicate. Elle suppose que les citations de brevets soient un bon indicateur des spillovers. Or il se peut que certaines citations ne traduisent pas des spillovers et inversement, les citations de brevets ne rendent pas forcément compte de tous les spillovers (11).

En outre, la détermination de la localisation n'est pas toujours évidente. Cela explique que d'autres travaux se soient tournés vers des méthodes alternatives. Celles-ci abandonnent l'idée de « marqueurs » des spillovers au profit d'une analyse fondée davantage sur les travaux en économie de l'innovation et plus spécifiquement en économie de la R&D. Il s'agit alors de tester une fonction de production de connaissances incorporant des indicateurs de spatialisation.

3.4. Les fonctions de production de connaissances localisées

Les fonctions de production de connaissances les plus couramment utilisées sont basées sur celle proposée initialement par Griliches (1979). La fonction

- (10) Jaffe, Trajtenberg et Henderson appellent cela le « contrôle de fréquence ». L'échantillon de « brevets-contrôle » est construit comme suit : à chaque brevet (b_i) qui fait référence à un autre brevet (b_c), on associe un brevet (b_j) déposé dans le même domaine technologique et à la même période que b_i , mais qui ne cite pas le même brevet d'origine b_c . Chaque paire de brevet (b_i , b_j) permet alors de comparer la localisation du brevet contrôle (b_j) avec celle du brevet d'origine cité (b_c). Si la localisation est la même, alors les spillovers ne sont pas significativement localisés.
- (11) À partir d'un échantillon de près de 2000 inventeurs, Jaffe, Trajtenberg et Fogarty (2000) ont tenté de repérer si les citations correspondent ou non à des spillovers. Pour cela, ils interrogent les inventeurs sur les liens éventuels qu'ils ont eus avec les déposants à l'origine des brevets qu'ils citent. Il apparaît alors qu'à peu près la moitié des citations ne correspondrait pas à des flux de connaissance. L'importance économique et technologique du brevet semble plus déterminante que l'existence d'un lien réel entre les inventeurs.

de Griliches relie le niveau de production de connaissances ou d'innovation d'une firme à un ensemble de variables explicatives. Aux côtés des variables décrivant les caractéristiques propres de la firme, et les inputs de recherche internes, les externalités sont introduites comme un stock de recherche externe mesuré comme le montant des dépenses de recherche effectuées par d'autres firmes et les universités. Si l'activité de recherche produit des externalités, alors la production d'innovation de la firme doit croître avec l'effort de recherche des autres entités. Mesurer des externalités géographiques dans ce cadre suppose d'introduire la dimension spatiale dans les estimations de telles fonctions de production. Pour cela différentes voies ont été envisagées. La première passe par une mesure de la coïncidence géographique tandis que la seconde confronte différents stocks externes de recherche, mesurés à différents niveaux géographiques (cf. encadré).

La fonction de production de connaissances

La fonction de production de connaissances proposée par Z. Griliches en 1979, est largement utilisée en économie de l'innovation pour fournir une mesure des phénomènes d'externalités. Cette fonction, de type Cobb-Douglas, explique la production d'innovation interne (I_i), à l'aide de variables caractérisant la firme (E_i), les inputs de recherche interne à la firme (R_i) et un stock de recherche externe (R_i^*) :

$$(1) I_i = \alpha (E_i)^{\beta_1} (R_i)^{\beta_2} (R_i^*)^{\beta_3}$$

L'élasticité de l'innovation à une évolution du stock externe (β_3) mesure les effets d'externalités.

Si l'existence des effets externes est largement admise, l'ampleur de leur diffusion spatiale est plus difficile à mesurer. Afin d'introduire la dimension spatiale dans les estimations, deux grandes approches sont proposées dans la littérature.

1. La première consiste à mesurer les effets de la coïncidence géographique entre laboratoires privés et publics de recherche sur l'efficacité innovative (Jaffe, 1989)

Jaffe (1989) construit un indice de la coïncidence géographique entre R&D industrielle et R&D universitaire au niveau des États. Les localisations sont déterminées à l'aide des dépenses publiques de recherche et des effectifs de R&D privée, mesurés au niveau des aires métropolitaines. Cet indice prend la forme d'un coefficient de corrélation non centré :

$$(2) C_i = \sum_s U_{is} TP_{is} / [\sum_s U_{is}^2]^{1/2} [\sum_s TP_{is}^2]^{1/2}$$

avec U_{is} les dépenses de recherche universitaire et TP_{is} le nombre de salariés de la R&D privée dans une aire métropolitaine s située dans un État i . On calcule donc la corrélation entre les dépenses de recherche des universités et le nombre de travailleurs dans la R&D, suivant les zones géographiques.

Jaffe intègre cet indice dans une fonction de production de connaissances à la Griliches, agrégée au niveau des États américains :

$$(3) \log(P_{ik}) = \beta_{1k} \log(I_{ik}) + \beta_{2k} \log(U_{ik}) + \beta_{3k} [\log(U_{ik}) \log(C_{ik})] + e_{ik}$$

avec P , les brevets privés ; I , les dépenses de R&D privées, U , les dépenses de recherche universitaire ; C , la coïncidence géographique entre R&D privée et R&D universitaire à l'intérieur de l'État ; e , une perturbation aléatoire ; i , l'unité géographique d'observation (l'État) et k , l'aire technologique (*i.e.* le secteur industriel).

Jaffe prend également en compte, dans une version plus complète de cette équation, la taille de la population afin d'éliminer les effets dus simplement à la taille de l'État.

Sur la base des travaux de l'économétrie spatiale, Acs, Anselin et Varga (1997) ajoutent à l'indice calculé par Jaffe trois autres indicateurs de la coïncidence géographique :

— une mesure proche de celle de Jaffe, mais utilisant les comtés au lieu des aires métropolitaines. Cet indicateur, noté CUR_s est donné par $\sum \delta R_i \cdot \delta U_i / \delta U_i$, avec i chacun des comtés de l'État s . On mesure ainsi la proportion de régions où la R&D privée et la recherche publique sont colocalisées ;

— une mesure de la gravité : l'indicateur C de l'équation (1) devient alors : $Grav_i = \sum U_j / (d_{ij})^2$ avec i le comté où est localisée la R&D privée et j le comté où est réalisée la recherche publique. d mesure la distance entre les comtés i et j ;

— deux indicateurs de couverture (« covering ») : $Cov_i = \sum \delta_{ij} U_j$. Si la distance entre les comtés i et j est inférieure à 50 (ou 75 miles), alors $\delta_{ij} = 1$, sinon, $\delta_{ij} = 0$. On intègre donc dans la fonction de production de connaissances, un stock de recherche externe, réalisé à l'extérieur de la zone considérée.

2. La seconde méthode étudie les interactions spatiales à différents niveaux géographiques

Dans un second volet de leur travail, Acs *et al.* (1997) prennent en compte des spillovers à différents niveaux géographiques, en intégrant dans l'équation de production de connaissances (K), les dépenses de recherche privées (R) et publiques (U) effectuées à la périphérie de l'aire métropolitaine (50 ou 75 miles). Deux équations principales sont testées :

$$(4) \quad \log(K_i) = \alpha_1 + \beta_1 \log(R_i) + \beta_2 \log(U_i) + e$$

$$(5) \quad \log(K_i) = \alpha_2 + \beta_3 \log(R_i) + \beta_4 \log(R75) + \beta_5 \log(U_i) + \beta_6 \log(U50) + e$$

Le travail d'Autant-Bernard (2000) s'inscrit dans la même perspective, en testant l'équation suivante :

$$(6) \quad \log(I_i) = \alpha_1 + \beta_1 \log(R_i) + \beta_2 \log(R_{v(i)}) + \beta_3 \log(R_{v'(i)}) + \beta_4 \log(VA_i) + u_1,$$

avec I l'output d'innovation (mesuré par les brevets). R le niveau des inputs en recherche, au sein de la zone i , dans les aires limitrophes à la zone i ($v(i)$) et dans les zones limitrophes des zones limitrophes de i ($v'(i)$). α_1 un terme constant et u_1 une perturbation aléatoire, VA un indicateur de valeur ajoutée qui permet de prendre en compte les effets taille des zones.

Une méthode similaire est également utilisée par Bottazzi et Peri (2003). La production de brevets par les régions européennes est expliquée par la recherche menée à différents niveaux géographiques : dans la région, dans les régions situées à moins de 300 km, dans les régions situées entre 300 et 600 km, 600-900, 900-1300, 1300-2000. Une variable muette désignant le pays est ajoutée (country). L'équation testée est :

$$(7) \quad \ln(\text{Patent}_i) = a + b_1 \ln(RD_i) + b_2 \ln(RD_{0-300}) + b_3 \ln(RD_{300-600}) + \dots + d_i \text{Country}_i + u_i$$

Les résultats de ces études confirment globalement l'idée d'une localisation des externalités technologiques : seuls les inputs de recherche de la zone et de la périphérie immédiate influencent significativement l'innovation de la zone (les paramètres décroissent en outre avec la distance). Ces retombées paraissent en général plus fortement localisées pour la recherche privée que pour la recherche publique.

La méthode utilisée a été de surcroît renforcée par l'utilisation des outils de l'économétrie spatiale. Ces derniers contribuent à l'évaluation de l'étendue spatiale des externalités de connaissances, en offrant un ensemble de techniques pour traiter des questions méthodologiques liées à la prise en compte des effets spatiaux, précisément l'autocorrélation spatiale et l'hétérogénéité spatiale (Anselin, 2003). En effet, si l'utilisation de données spatiales offre une richesse d'analyse, permettant notamment de rendre compte des phénomènes de dépendances spatiales, la façon dont ces dépendances doivent être intégrées dans une régression est complexe et comporte des implications pour l'identification des paramètres et les méthodes d'estimation à mettre en œuvre (Lesage, 2008).

Au total, quelle que soit la méthodologie utilisée (analyses de concentration, citations de brevets, fonctions de production de connaissances localisées), un consensus se dégage autour de l'idée d'une dimension locale des externalités de connaissances. Cependant, il apparaît que la diffusion des externalités n'est pas indépendante des caractéristiques internes et des choix des firmes. Différentes méthodes ont été proposées permettant d'explorer plus finement les mécanismes de transmission sous-jacents aux phénomènes d'externalités et prenant en compte plus directement les firmes en tant qu'acteurs.

IV. — L'ENTRÉE DANS LA BOÎTE NOIRE DES MÉCANISMES DE DIFFUSION DES EXTERNALITÉS DE CONNAISSANCES

En s'appuyant sur les citations de brevet ou sur l'estimation de fonctions de production de connaissances, mais aussi parfois sur d'autres méthodes plus spécifiques comme nous le verrons, les travaux de la géographie de l'innovation mettent en lumière différentes sources et modalités de transmission des externalités de connaissances, qui justifieraient leur imparfaite diffusion dans l'espace. Ils montrent d'abord l'importance des capacités d'absorption qui rendent très asymétrique la capacité des agents économiques à bénéficier des flux de connaissances (4.1.). Le rôle des interactions entre les agents participant aux activités d'innovation (4.2.), et de la mobilité de ces agents (4.3.), pour nourrir cette capacité d'absorption est ensuite souligné. La question géographique ne se limite alors plus seulement à la mesure de l'étendue spatiale de la diffusion des externalités mais consiste à repérer en quoi la géographie constitue un support pertinent pour l'établissement de relations effectives entre acteurs.

4.1. Capacité d'absorption

L'assimilation des connaissances technologiques développées ailleurs est une activité coûteuse. Afin de capter les externalités technologiques, il est en effet nécessaire de disposer, en interne, de savoirs et de compétences adéquats. La capacité de R&D interne est donc un complément aux sources externes de connaissances. Cette capacité ne se limite pas à générer une nouvelle informa-

tion, elle permet aussi d'améliorer la capacité de la firme à tirer profit de l'information existante (Cohen et Levinthal, 1989). Différentes études empiriques ont validé cette idée. Ainsi, l'étude de Varga (1998) appliquée au niveau agrégé des territoires confirme le rôle positif de la capacité d'absorption sur les externalités de connaissances aux États-Unis. Varga remarque en effet, au travers d'une fonction de production de connaissances, qu'une masse critique doit être atteinte pour obtenir un effet local substantiel des dépenses publiques de recherche sur le nombre d'innovations commercialisées. De même, dans le contexte européen, Maurseth et Verspagen (1999) observent une corrélation négative entre l'intensité des citations de brevets et l'écart de productivité entre deux régions. Plus les différentiels de productivité entre deux régions sont importants, moins la probabilité qu'une région fasse référence à des brevets déposés dans une autre région est élevée. Cela semble indiquer qu'il est nécessaire de disposer de suffisamment de compétences internes pour pouvoir accéder aux connaissances produites par les régions voisines.

La construction d'une capacité d'absorption locale pose aussi la question des sources potentielles des externalités, et en particulier de leur origine intra ou intersectorielle. Est-il préférable pour une région de s'appuyer sur la spécialisation afin de faciliter les échanges de savoir ou de disposer d'une structure diversifiée de compétences maîtrisées pour améliorer sa capacité d'absorption? De manière générale, il semble que la spécialisation joue négativement sur la capacité locale d'innovation même si les résultats restent assez contrastés. Étudiant une fonction de production de connaissances dans laquelle le niveau d'innovation d'une zone géographique est expliqué par le degré de spécialisation de la zone (RTA du secteur (12)), le niveau de diversité (RTA des secteurs reliés), et le degré de concurrence, Audretsch et Feldman (1999) et Greunz (2004) constatent que les zones diversifiées seraient plus favorables à l'innovation. Cela laisse à penser que l'hypothèse d'externalités de type Jacobs serait prédominante. En revanche, Autant-Bernard (2001) et Bottazzi et Peri (2003), en introduisant un indicateur de proximité technologique dans la fonction de production de connaissances avec différents niveaux géographiques, montrent que la proximité technologique des régions augmente les flux de connaissances. De même, les études sur les citations de brevet attestent plutôt du caractère intra-sectoriel des externalités. Selon Jaffe, Trajtenberg et Henderson (1993) et Verspagen et Schoenmakers (2000), la probabilité de citer un brevet est positivement influencée par la proximité technologique entre le nouveau brevet et le brevet cité.

- (12) Le Revealed Technological Advantage (RTA) est une mesure de spécialisation. En notant P_{id} l'activité d'une région i dans le domaine d , il se définit comme le ratio de deux proportions. La première (le numérateur) est interne à la région : $P_{id} / \sum_d P_{id}$ désigne la part du domaine d dans l'ensemble des activités de la région i . La seconde (le dénominateur) est relative à la zone de référence, généralement la nation : $\sum_i P_{id} / \sum_d P_{id}$ désigne la part du domaine d dans l'ensemble des activités nationales. Si le ratio de ces deux proportions est supérieur à 1, cela signifie que la part du domaine d dans la région i est supérieure à la part que représente ce domaine au niveau national. Il y a donc spécialisation.

Des conclusions générales sont donc difficiles à obtenir dans ce domaine dans la mesure où les deux types d'externalités jouent. La question est de repérer comment elles s'articulent. Plusieurs résultats convergent notamment pour montrer que les externalités de diversité joueraient de façon plus localisée que les externalités de spécialisation (Autant-Bernard et LeSage 2010). Par ailleurs les différences de comportement sectoriel semblent très importantes dans ce domaine comme le montre l'étude réalisée par Massard et Riou (2002) sur la France.

Notons finalement que l'étude menée par Duranton et Puga (2000) sur les phénomènes de délocalisations des établissements des entreprises françaises entre 1993 et 1996 peut aider à interpréter ces résultats contrastés selon les secteurs étudiés. Une grande partie des délocalisations observées suivent le schéma décrit dans le modèle de ces auteurs, c'est-à-dire ont pour origine une zone diversifiée et se dirigent vers une zone spécialisée. En termes de localisation les zones diversifiées attirent les activités émergentes en phase d'expérimentation (qui ont donc encore peu d'effet sur la croissance locale), une fois stabilisées ces activités se localisent ensuite dans des zones plus spécialisées au sein desquelles elles profitent des économies fondées sur la spécialisation pour développer leur croissance. Les déterminants de la capacité d'absorption dépendraient donc des phases du cycle de vie des innovations.

Ces travaux sur le cycle de vie et l'origine sectorielle des externalités de connaissances permettent de préciser les mécanismes générateurs d'externalités. C'est avant tout une proximité à des activités de recherche dans des domaines variés qui importe et ceci en particulier dans les premières phases du cycle de vie de l'innovation (Paci and Usai, 2000 ; Greunz, 2004). La contrainte géographique tendrait à s'atténuer au fur et à mesure du développement de la technologie.

Mais ces précisions laissent ouverte la question des modalités d'appropriation de ces retombées technologiques, plus ou moins localisées à la fois spatialement et sectoriellement. Des réponses sont alors apportées en considérant le rôle des relations interpersonnelles. Pour nombre d'auteurs de la géographie de l'innovation en effet, le caractère localisé des externalités résulte de la dimension tacite des connaissances. Les idées ne seraient pas directement accessibles à tous, mais au contraire, elles seraient, pour partie au moins, incorporées dans les hommes (Lucas, 88). En conséquence, la diffusion de ces connaissances tacites et leur absorption seraient conditionnées par l'existence d'interactions effectives entre les hommes.

Différents travaux ont exploré cette question en considérant deux formes principales d'interactions : le fait que les agents proches se rencontrent régulièrement en face à face et la mobilité interinstitutionnelle et géographique des agents impliqués dans l'innovation.

4.2. Externalités de communication liées aux échanges en face-à-face

En amont des travaux sur la mesure des échanges efficaces pour produire de l'innovation, Charlot et Duranton (2004) se sont attachés à développer une

méthodologie permettant d'isoler les externalités liées à la communication entre salariés au sein des effets globaux de l'environnement local sur la productivité de ces salariés. En d'autres termes les salariés disposent bien d'une connaissance informelle et tacite. Il est toutefois difficile de déterminer les influences respectives des caractéristiques individuelles propres des salariés et de l'environnement local (urbanisation, niveau global de formation des salariés...) sur les capacités à valoriser cette connaissance par l'échange, la communication. En utilisant l'enquête française COI (13) notamment, les auteurs confirment l'existence d'externalités de communication dues aux interactions directes entre salariés et les estiment à 22 % de l'ensemble des effets de l'environnement local sur la productivité des salariés en ville.

Dans une approche plus proche de la géographie de l'innovation, Zucker, Darby et Armstrong (1994) ont aussi cherché à montrer l'importance des interactions directes dans la capacité des acteurs à valoriser les externalités. À travers le cas des biotechnologies en Californie, ils montrent que la proximité géographique n'est pas suffisante pour bénéficier des *spillovers* de connaissances entre recherche publique et recherche privée. Leurs estimations économétriques démontrent que les entreprises qui ont les meilleures performances (nombre de produits en développement, nombre de produits sur le marché et taux de croissance de l'emploi) sont celles qui sont en lien avec des chercheurs universitaires de la même zone géographique (par des co-publications notamment). De plus, en distinguant les chercheurs en relation avec les firmes et les chercheurs purement académiques, les résultats montrent que les chercheurs purement académiques ne produisent pas d'effets bénéfiques pour les firmes. C'est donc bien le fait d'être en relation avec l'université qui permet à la firme de bénéficier des activités de recherche publique, et non le simple fait d'être localisée à proximité. Enfin, dans un travail plus récent Zucker et Darby (2007) poursuivent l'analyse en révélant l'existence d'un véritable cercle vertueux des interactions entre recherche publique et privée : ce n'est pas seulement la recherche privée qui bénéficie de ces relations dans la mesure où les liaisons de coopération en R&D avec les entreprises vont de pair avec une amélioration des productions académiques des chercheurs.

Sur le cas français, d'autres travaux mesurent aussi les relations interpersonnelles à partir des copublications entre chercheurs et enrichissent les fonctions de production de connaissances en prenant en compte ces relations. L'idée est la suivante : la proximité géographique ne joue pas en soi mais en tant que facilitant la mise en place de relations effectives de collaborations entre chercheurs. Autant-Bernard et Massard (2000) traduisent cette idée avec deux hypothèses, H1 : la proximité géographique facilite les interactions, H2 : les interactions effectives sont source d'efficacité accrue en matière d'innovation. Les résultats valident l'hypothèse H1 même si les modalités de cette ins-

(13) Changements Organisationnels liés à l'Informatisation.

cription géographique des collaborations varient suivant la taille de l'agglomération où résident les chercheurs. L'introduction des copublications dans un modèle à fonction de production de connaissances permet ensuite d'estimer dans quelle mesure l'effet de la R&D d'une zone sur la capacité d'innovation d'une autre zone est influencé par l'ampleur des coopérations existant entre ces zones. Cette influence apparaît positive et est plus importante lorsque les interactions sont locales. Ainsi, la proximité géographique ne semble pas se limiter à faciliter la mise en place de collaborations, elle contribue aussi à augmenter les externalités produites par ces collaborations.

Si les rencontres face-à-face dans le cadre de coopérations en R&D sont bien une voie importante de transmission de connaissances, d'autres auteurs considèrent le rôle de la mobilité salariale comme un vecteur essentiel de transmission des spillovers.

4.3. Mobilités professionnelles

Utilisant les citations de brevet, Almeida et Kogut (1997) appliquent la méthode de Jaffe *et al.* (1993) au cas des semi-conducteurs pour étudier les différences régionales en matière de localisation des spillovers. Leur hypothèse est que le vecteur principal de diffusion des spillovers est la mobilité inter-firmes des salariés. Si les spillovers sont localisés cela tient à l'existence de réseaux locaux de marché du travail qui circonscrivent géographiquement cette mobilité.

Pour tester cette hypothèse, Almeida et Kogut repèrent les trajectoires professionnelles des détenteurs de brevets à l'aide des indications fournies dans les brevets sur le nom de l'ingénieur à l'origine de l'innovation et la firme dans laquelle il ou elle travaille. Les résultats indiquent, d'une part, de très grandes disparités régionales dans le degré de mobilité inter-firmes de la main-d'œuvre. Ces disparités coïncident avec les différences en matière de localisation. La Silicon Valley présente notamment une mobilité record au sein de la région. Il semble donc que, plus la mobilité professionnelle est forte, plus les connaissances se transmettent d'une firme à l'autre. D'autre part, la mobilité entre régions est très faible, ce qui explique la dimension locale des spillovers, et l'apparition d'effets cumulatifs.

Pour confirmer ces résultats, Almeida et Kogut observent ensuite si les firmes qui embauchent un nouvel ingénieur, détenteur d'un brevet, ont plus de chance de citer le brevet de cet ingénieur. Pour cela, ils construisent un nouvel échantillon contrôle, reflétant la probabilité de citer le brevet en question, même si l'on n'a pas embauché son auteur. Les résultats des tests sont positifs : les firmes qui embauchent un nouvel ingénieur sont plus enclines à citer le brevet de cet ingénieur que les autres firmes. Il semble donc que l'entrée du nouvel ingénieur stimule l'innovation de la firme dans le domaine technologique correspondant. On retrouve cette idée d'une localisation des externalités comme le résultat d'une mobilité spatialement circonscrite des individus dans les travaux de Zucker, Darby et Armstrong (1994) et Balconi, Breschi et Lissoni (2004).

Au total, un enseignement essentiel des études présentées ci-dessus est que les effets de débordement n'apparaissent pas comme des phénomènes uniformes. Ils passent notamment par des échanges interpersonnels et des flux de main-d'œuvre, et sont indissociables des individus eux-mêmes. L'existence d'une capacité d'absorption paraît nécessaire, à la fois en termes de niveau de connaissances préalable, mais aussi du point de vue de la diversité des connaissances maîtrisées. La prise en compte des sources et des modalités de transmission des externalités est ainsi partie intégrante de l'évaluation de la dimension géographique de ces phénomènes et de leur ampleur. En fait, lorsque l'on introduit la proximité technologique ou les relations interpersonnelles, il apparaît que les *spillovers* ne prennent pas seulement place localement. Les phénomènes locaux, bien réels, se conjuguent, parfois de façon complexe, avec des échanges de connaissances plus distants, basés en particulier sur la proximité technologique et les relations interpersonnelles.

L'amélioration des techniques d'estimation est une voie de recherche en cours qui doit permettre de mieux cerner les différents effets à l'œuvre et d'évaluer de façon plus fine leur dimension géographique. En particulier des améliorations sont attendues en économétrie spatiale. Le développement d'outils adaptés aux données de panel et aux données de comptage, particulièrement utilisées en économétrie de l'innovation, promet un enrichissement substantiel des analyses (Anselin, Florax et Rey, 2004; LeSage, Fischer et Scherngell, 2007).

Mais au-delà de ces avancées techniques, c'est vers de nouveaux questionnements que les recherches actuelles s'orientent. En effet, la prise en compte des échanges interpersonnels et des trajectoires professionnelles entre les firmes peut être intégrée dans un ensemble plus large de travaux qui mettent en évidence l'impact des réseaux sur les capacités des firmes à innover. Du point de vue de la géographie de l'innovation, il ne s'agit plus seulement de mesurer la dimension géographique des externalités mais il s'agit aussi de mesurer l'impact de la géographie en tant que substrat à la structuration résilienne des flux de connaissances.

V. — LA NATURE RÉSILIAIRE DE LA PRODUCTION DE CONNAISSANCES : NOUVEAUX DÉFIS POUR L'ANALYSE DES RAPPORTS INNOVATION-ESPACE

5.1. Réseaux et diffusion spatiale des connaissances

L'intérêt croissant pour les réseaux a été suscité par des changements importants dans les processus de création et de diffusion de connaissances. Une des caractéristiques principales de ces changements est probablement la nature de plus en plus résilienne de la production de connaissances. Cette dernière dépend ainsi de moins en moins de firmes, centres de recherche ou inventeurs isolés, mais repose de manière accrue sur les échanges et la circulation des informa-

tions entre une multiplicité d'acteurs. Un réseau d'innovation peut être défini comme l'ensemble des agents qui participent à la production des innovations et aux liens établis entre ces agents pour la circulation et la création de connaissances. Plusieurs études basées sur les publications, les brevets ou les collaborations en R&D montrent que ces réseaux deviennent de plus en plus complexes, et se caractérisent par :

- un nombre croissant d'agents. Ainsi, à partir de différents indicateurs, plusieurs auteurs concluent à un accroissement significatif des agents impliqués dans les réseaux d'innovation. Ce phénomène est mis en évidence dans les réseaux de collaboration en R&D observés dans l'industrie pharmaceutique à la fin des années 70, 80, et 90 (Roijakkers et Hagedoorn, 2006). On retrouve un résultat semblable dans l'étude de Newman (2004) centrée sur les co-publications, et l'étude de Wagner et Leydesdorff (2005) consacrée aux co-brevets ;

- des interconnexions plus denses et plus complexes au sein des réseaux. En particulier, les collaborations intersectorielles et inter-organisationnelles ont une place accrue (Powell *et al.*, 2005 ; Roijakkers et Hagedoorn, 2006, pour l'industrie pharmaceutique ; Cloudt *et al.*, 2006, pour l'industrie informatique) ;

- une distribution géographique plus étendue. Wagner et Leydesdorf (2005) et Roijakkers et Hagedoorn (2006) observent que les réseaux d'innovation s'internationalisent. Cependant, les études de ces auteurs méritent d'être affinées sur ce point. Ainsi, il se pourrait que les agents soient à la fois plus internationalisés et plus concentrés à l'intérieur de chaque pays. De plus, les collaborations peuvent être plus internationales mais relier entre eux seulement les plus grands pays ou régions.

Ces transformations posent de nouveaux défis à la géographie de l'innovation. Plus précisément, le fait que la recherche scientifique soit de plus en plus réalisée dans le cadre d'une organisation en réseaux est probablement susceptible de modifier la diffusion spatiale des connaissances. Ainsi, Johansson et Quigley (2004) affirment que l'émergence des économies d'agglomération et la diffusion de ces économies externes *via* les réseaux constitueront les éléments clés du développement régional au 21^{ème} siècle. Telle que mesurée dans les travaux de géographie de l'innovation jusqu'à présent, la dimension locale des externalités de connaissances pourrait simplement révéler les effets de la proximité géographique sur les choix de collaboration et ainsi ne pas refléter du tout, l'existence d'externalités spatiales *stricto sensu*. Breschi et Lissoni montrent ainsi que les réseaux de relations interpersonnelles, qui sont le principal vecteur des flux de connaissances, semblent être localement concentrés expliquant à eux seuls l'agglomération spatiale de l'innovation (Breschi et Lissoni 2006). Ainsi, pour comprendre les déterminants de la géographie de l'innovation il ne s'agit plus de mesurer l'ampleur des externalités locales de connaissances, au sens de diffusion libre et gratuite de connaissances, mais il devient indispensable de comprendre les stratégies volontaires mises en œuvre

par les acteurs de l'innovation pour acquérir ces connaissances au sein des réseaux. On passe alors d'une logique de diffusion d'externalités à une logique d'accessibilité aux connaissances par les réseaux (Massard et Mehier, 2009).

Afin de cerner les nouveaux enjeux de la géographie future de l'innovation, nous avons donc besoin de mieux comprendre comment des groupes dispersés de scientifiques et d'innovateurs peuvent se former et collaborer pour créer et diffuser la connaissance et quel est le rôle spécifique de la géographie dans ces processus. Un certain nombre de travaux ont été développés en économie, qui peuvent contribuer à répondre à ces questions. Un premier type de travaux, de nature théorique, relève des modèles économiques de formation des réseaux. Ces travaux mobilisent les outils de la théorie des jeux pour rendre compte des choix stratégiques qui conduisent à l'établissement de liens de collaboration entre acteurs qui peuvent donner lieu à diffusion de connaissances. Récemment certains de ces travaux intègrent la dimension géographique comme un des éléments déterminants de ces choix (§ 5.2.). Un second type de travaux, de nature empirique, évalue les influences respectives de la proximité qui se crée entre acteurs par leur réseau de relations (proximité relationnelle) et de la proximité géographique dans les choix de collaboration (§ 5.3.).

5.2. L'introduction de la dimension géographique dans les modèles économiques de formation des réseaux de collaboration

Les modèles économiques de formation des réseaux traitent de situations où les agents peuvent choisir d'établir des liens bilatéraux avec d'autres acteurs afin d'accéder à des ressources spécifiques. L'ensemble des liens bilatéraux entre les agents forme un réseau. Le texte fondateur de la littérature est celui de Jackson et Wolinsky (1996). Le modèle de connexions présenté par ces auteurs dans ce texte a été repris dans plusieurs travaux ultérieurs, qui ont intégré à ce modèle la dimension géographique comme déterminant des choix de formation des liens.

Dans le modèle de connexion, chaque agent est doté initialement d'informations. Lorsque les agents sont des firmes, les informations peuvent concerner par exemple les technologies, les marchés ou les produits. L'établissement d'un lien entre un agent i et un agent j permet à l'agent i d'accéder non seulement à des informations dont est doté j initialement, mais également à des informations d'agents auxquelles j accède grâce à ses autres liens (*idem* pour l'agent j). En outre, plus un agent i est éloigné d'un agent j dans le réseau de relations, plus la part des informations initiales de j auxquelles i accède est faible. Enfin, l'établissement d'un lien entre deux agents occasionne un coût qui est partagé par les agents impliqués dans le lien. Des travaux empiriques récents (Singh, 2005 ; Breschi et Lissoni, 2007) suggèrent que le modèle de Jackson et Wolinsky peut s'appliquer aux flux de connaissances entre agents participant au processus d'innovation. Ainsi ces travaux montrent que les liens entre les agents sont le support des externalités de connaissances et que les flux

de connaissances d'un agent à l'autre décroissent fortement lorsque la distance entre ces deux agents dans le réseau augmente.

Jackson et Wolinsky s'intéressent aux réseaux qui devraient émerger lorsque les agents ont la possibilité de choisir leurs liens. Ils sont alors conduits à définir une nouvelle notion d'équilibre : la stabilité par paire. Un réseau est stable par paire s'il satisfait deux propriétés : d'une part lorsque deux agents n'ont pas de lien entre eux, au moins l'un d'entre eux n'est pas incité à former ce lien, d'autre part aucun agent n'a intérêt à supprimer un lien dans lequel il est impliqué.

Johnson et Gilles (2000) et Carayol et Roux (2008a) ont introduit la dimension géographique dans le modèle de connexion en faisant dépendre les coûts de formation des liens de la localisation des agents dans l'espace. Chez Johnson et Gilles l'espace est représenté par une ligne de longueur unitaire sur laquelle les agents sont situés à intervalles fixes. Les auteurs supposent que le coût d'un lien entre deux agents croît linéairement avec la distance entre ces deux agents sur la ligne. La fonction de paiement d'un agent a la forme suivante :

$$\pi_i(g) = \sum_{j \neq i} \delta^{d(i,j)} - c \sum_{j \neq i} g_{i,j} \times l(i,j),$$

où δ est un paramètre (de « decay ») compris entre 0 et 1, $d(i,j)$ est la distance géodésique (14) entre i et j dans le réseau g , c est le coût d'un lien, $g_{i,j}$ est égal à 1 si i et j ont formé un lien et $g_{i,j}$ est égal à 0 sinon, $l(i,j)$ est la distance « géographique » entre i et j sur la ligne. La valeur des dotations initiales en information de chaque agent est normalisée à 1. On pose $d(i,j) = \infty$ si i et j ne sont pas connectés dans le réseau g .

Le modèle de Carayol et Roux se distingue du modèle de Johnson et Gilles par le fait que les agents sont situés sur un cercle, à intervalles équidistants, et n'occupent donc pas initialement des positions asymétriques.

Les deux modèles génèrent, pour des intervalles assez large des paramètres, et parmi les réseaux d'équilibre, des réseaux en « petits mondes », c'est-à-dire des réseaux caractérisés par des taux de connexion à proximité très importants et quelques connexions à distance (15). Ainsi, les modèles prédisent que la

- (14) La distance géodésique entre deux agents au sein d'un réseau est mesurée par le nombre de liens constituant le plus court chemin entre ces deux agents au sein du réseau (il s'agit donc d'une mesure de distance relationnelle).
- (15) Un réseau en « petits mondes » satisfait deux propriétés. La première est un diamètre faible du réseau ainsi qu'une faible distance moyenne entre les agents dans le réseau, en sachant que le diamètre d'un réseau est la distance géodésique maximale entre deux agents du réseau. La seconde propriété est un coefficient de clustering élevé relativement aux réseaux générés par un processus aléatoire de formation de liens, le coefficient de clustering mesurant la fréquence avec laquelle deux agents qui ont tous deux un lien avec un troisième agent ont eux-mêmes un lien entre eux.

proximité géographique devrait être un déterminant central dans les choix de collaboration. L'intuition de ce résultat est relativement simple. Toutes choses égales par ailleurs, un agent a davantage intérêt à créer un lien avec un agent proche qu'avec un agent éloigné, car les dotations initiales en information, donc la valeur, de chaque agent sont identiques et le coût de formation d'un lien avec un agent proche est moindre. En même temps, dans une configuration où chaque agent a formé des liens seulement avec ses voisins, la distance moyenne d'un agent avec les autres agents est maximale. Dans ce cas, si le paramètre de « decay » est suffisamment faible, il peut être profitable pour un agent de substituer un lien avec un agent plus éloigné à un lien avec un agent proche car le surplus de coût qui en résulte peut être plus que compensé par la possibilité, grâce à ce lien distant, de profiter de gains plus élevés des connexions indirectes.

En outre, dans ces deux modèles, les auteurs montrent que dans les réseaux d'équilibre les liens distants peuvent être insuffisamment nombreux eu égard à ce qu'il serait socialement nécessaire. La logique sous-jacente à ce problème d'efficacité est la suivante. L'établissement d'un lien à distance par un agent génère une externalité positive pour les agents situés à proximité de cet agent dans le réseau et il se peut qu'aucun agent n'ait intérêt individuellement à établir un tel lien même s'il est socialement efficient de l'établir (l'intérêt d'un lien distant peut être par exemple d'échapper à des « pièges à compétences » qui découlent d'une ouverture insuffisante des agents économiques locaux sur l'extérieur). De plus, il s'avère que lorsqu'un lien distant est formé par un agent, l'incitation des agents ayant un lien avec celui-ci à former eux-mêmes des liens distants diminue, étant donné que ces agents bénéficient indirectement du lien distant établi.

Les modèles de Johnson et Gilles, et Carayol et Roux, présentent l'intérêt de donner des fondements stratégiques aux architectures en « petits mondes » de réseaux sociaux observés dans les études empiriques et de prendre en considération l'impact de la localisation géographique sur la formation des liens de collaboration. En outre, en pointant l'insuffisance possible de liens entre des agents distants, ils peuvent légitimer certains dispositifs mis en place par les pouvoirs publics concernant la politique d'innovation. En particulier, ces modèles trouvent un écho dans la politique de l'Union européenne dans le cadre des Programmes Cadres de Recherche et Développement Technologique (PCRD), consistant à exiger comme critère de financement d'un projet l'appartenance des participants au projet à au moins trois pays différents. Cependant le cadre d'analyse des deux modèles est trop compliqué pour donner des résultats suffisamment précis. En particulier, pour un degré intermédiaire de « decay », il est difficile de prédire quelles seront les connexions établies à distance et quelle proportion représenteront ces dernières dans l'ensemble des connexions.

Plusieurs prolongements à ces travaux cherchent à dépasser ces limites. Le premier type de prolongement réalisé par Jackson et Rogers (2005) consiste à

simplifier les modèles précédents du point de vue de l'hétérogénéité des agents. Plus précisément, Jackson et Rogers construisent un modèle où les agents sont regroupés en « îles » et où le coût de connexion entre deux agents situés sur une même île est moins élevé que le coût de connexion entre deux agents situés sur des îles différentes. Cette modélisation peut être particulièrement appropriée pour analyser les réseaux de collaboration pour l'innovation, dans des situations où les acteurs sont répartis dans des agglomérations ou des clusters d'innovation distincts spatialement. Dans ce cas, plusieurs éléments peuvent amoindrir le coût de collaboration entre les agents appartenant à une même entité (une même île dans le modèle de Jackson et Rogers) : coûts de transport réduits pour organiser des échanges en face-à-face, existence d'une culture commune facilitant la communication... Jackson et Rogers peuvent caractériser tous les réseaux stables par paires dans un tel contexte. Ils montrent que tous ces réseaux (ainsi que tous les réseaux efficients) sont des réseaux « en petits mondes ». Le second type de prolongement conserve l'hétérogénéité complète des agents, mais traite la formation des réseaux comme un processus dynamique. Un premier travail en ce sens, de Carayol et Roux (2008b) modélise la formation des réseaux, sous la forme d'un processus stochastique perturbé de formation de liens, qui permet d'explorer les attributs structurels des réseaux d'équilibre pour différentes valeurs du paramètre de « decay ». Les auteurs montrent que, pour un intervalle assez large de la valeur de ce paramètre, les réseaux d'équilibre sont des configurations de « petits mondes », caractérisés à la fois par une forte proportion de connexions locales et par une faible distance moyenne. Un second travail de Carayol, Roux et Yildizoglu (2008) développe des techniques (algorithmes génétiques et simulations de Monte Carlo), permettant de mieux cerner ces réseaux efficients et de déterminer dans quelle mesure les réseaux formés peuvent être inefficients. On retrouve dans les résultats des auteurs le fait que les réseaux d'équilibre à long terme sont insuffisamment denses et que les connexions à distance peuvent être trop réduites. Un résultat intéressant est que les liens distants devraient être davantage structurés autour d'agents centraux. Les agents centraux pouvant être ceux qui mettent en œuvre le plus grand nombre de connexions au sein du réseau (*degree centrality*) ou ceux qui jouent le rôle de gatekeepers c'est-à-dire qui font les liens entre des groupes d'agents dispersés et qui permettent ainsi à l'information de se diffuser (*betweenness centrality*). Ainsi, lorsque c'est un même agent au sein d'un groupe qui établit les liens avec les autres groupes, cet agent est central tant du point de vue du *degree* que du *betweenness*. Ce résultat va dans le sens d'une des recommandations d'un rapport à la Commission européenne concernant les PCRDT (Malerba *et alii*, 2006), qui préconise de favoriser le développement d'agents d'excellence en termes scientifiques et technologiques comme agents centraux dans les réseaux de collaboration formés par les projets de R&D financés par la Commission européenne dans le cadre des PCRDT.

Les modèles précédents possèdent plusieurs caractéristiques communes qui peuvent prêter à discussion. En particulier, ils ne prennent pas en compte la modification des connaissances des agents au cours des processus d'interac-

tions. Or plusieurs auteurs, en particulier Nooteboom (2004), ont par exemple souligné que les collaborations répétées entre des partenaires réduit la distance cognitive entre eux. Ceci peut diminuer l'intérêt de leur collaboration future, dans la mesure où chacun des partenaires dispose de moins de connaissances nouvelles à faire partager à l'autre.

Dans cette perspective, le modèle de Cowan *et al.* (2006), qui intègre le caractère dynamique et dépendant du passé du processus de formation d'un réseau, est intéressant. Dans ce modèle, la formation et la destruction de liens entre les firmes est un processus continu. En outre, ce processus est façonné par la modification des caractéristiques propres des firmes au cours des processus de collaboration. Plus précisément, à chaque étape du processus, chaque firme détient un certain stock de connaissances et choisit le partenaire avec lequel elle va chercher à collaborer. Au travers de ces collaborations, les firmes combinent leurs connaissances pour créer de nouvelles connaissances et innover. Chacune des collaborations a une probabilité de réussir. Si la collaboration réussit, de nouvelles connaissances sont créées, qui servent d'input au processus d'innovation. De plus, les connaissances créées sont ajoutées au stock de connaissances des deux firmes. La répétition d'une collaboration entre deux firmes joue de manière contradictoire sur l'intérêt de cette collaboration. En premier lieu, la répétition de la collaboration entre deux firmes se traduit par un rapprochement de leurs stocks de connaissances, ce qui affecte négativement l'output d'innovation résultant de la collaboration. En second lieu, la répétition d'une collaboration réduit l'incertitude et favorise la prévisibilité des comportements du partenaire, ce qui rend la collaboration plus facile et accroît ainsi sa probabilité de succès.

La dimension géographique n'est pas introduite explicitement dans ce modèle. Mais ce dernier pourrait être réexaminé en prenant en compte cette dimension. En particulier, Cowan *et al.* considèrent que le fait d'avoir collaboré aux périodes précédentes est le seul facteur qui permette de faire diminuer l'incertitude concernant le risque d'échec d'une collaboration. Or, la proximité géographique entre deux agents est aussi susceptible d'être un facteur générateur de confiance dans la relation. Cette proximité peut notamment faciliter la circulation d'informations sur la fiabilité des partenaires potentiels ou accroître la possibilité de sanction en cas de comportement déloyal. Dans ce cadre, les agents devraient avoir une propension plus importante à nouer des relations avec des agents proches. La proximité géographique peut donc alors jouer un rôle de substitut à la proximité technologique pour assurer la réussite des collaborations. On retrouve ici un résultat des approches empiriques montrant le caractère plus restreint localement des collaborations interindustrielles par rapport aux collaborations au sein d'une même industrie qui peuvent se développer à plus grandes distances (Autant-Bernard, 2000).

En fait la proximité relationnelle (ou proximité sociale) de deux agents, définie comme la distance (géodésique) entre ces deux agents dans le réseau, et la proximité géographique sont toutes deux susceptibles de jouer un rôle déter-

minant dans les choix de collaboration. D'où l'intérêt des études empiriques cherchant à examiner qui de la proximité relationnelle ou de la proximité géographique joue le rôle le plus significatif dans les choix de collaboration.

5.3. La mesure des influences respectives de la proximité géographique et de la proximité relationnelle dans le choix des liens de collaboration

Des travaux récents considèrent l'importance croissante de la diffusion des connaissances à travers les réseaux de collaborations en R&D et tentent d'estimer le rôle de la distance géographique comparativement à la distance sociale ou relationnelle entre individus.

Basée sur les citations comme mesure de la diffusion de connaissances entre inventeurs et utilisant des données individuelles, une première série de travaux étudie les effets de la proximité sociale et géographique sur la probabilité de citer un brevet. Ils concluent à la prédominance des effets de proximité sociale sur les effets de proximité géographique (Singh, 2005 ; Sorenson, Rivkin, Fleming, 2006 ; Gomes-Casseres, Hagedoorn, Jaffe, 2006). Le fait que les individus aient déjà coopéré ensemble, ou qu'ils soient faiblement distants (distance géodésique) au sein des réseaux de co-inventions, augmente fortement la probabilité de se citer entre inventeurs.

De leur côté Breschi et Lissoni (2003, 2006) révisent la méthodologie d'analyse de la localisation des citations de brevets développée par Jaffe *et al.* (1993) en prenant en compte les réseaux de relations établies entre entreprises par le biais de la mobilité des chercheurs. Ils trouvent que la structure des citations observée s'explique largement par ces relations de mobilité et dans la mesure où la mobilité géographique de ces inventeurs « multi-firmes » est relativement limitée, le réseau des citations en résultant s'avère fortement localisé. Leur conclusion est donc une nouvelle fois que la proximité géographique n'est pas une condition suffisante pour l'accès à la connaissance locale ; cet accès nécessite un réseau actif d'échange de connaissances. Le rôle de la proximité géographique, tout comme celui de la proximité technologique, tel que mis en avant dans l'étude de Jaffe *et al.*, ne sont en fait que des révélateurs des effets d'une autre variable plus déterminante : la proximité sociale entre inventeurs, mesurée par leur place dans les réseaux d'échanges actifs établis grâce à la mobilité inter-firmes des chercheurs.

L'approche mise en œuvre par Maggioni, Nosvelli et Uberti (2007) diffère dans la mesure où ils utilisent des données agrégées au niveau des régions européennes. Estimant une fonction de production de connaissances, ils soulignent l'importance de la distance spatiale. En particulier leurs résultats montrent que les phénomènes d'auto-corrélation spatiale dominent les phénomènes d'auto-corrélation basée sur des matrices de distance relationnelle, supportant ainsi l'idée que la propension des régions à breveter dépend plus nettement des spillovers de connaissances locaux que des flux de connaissances résultant de collaborations à distance. Ces études cependant, analysent les collaborations

sans prendre totalement en compte la dimension réseau. Les co-inventions sont seulement considérées comme des relations bilatérales entre individus de telle sorte que la position des individus au sein des réseaux formés par ces collaborations n'est pas prise en compte.

Par ailleurs, compte tenu de l'importance démontrée de la structuration des relations scientifiques et technologiques en réseaux sur les capacités à innover, d'autres auteurs, peu nombreux encore, s'intéressent, en amont aux déterminants de cette structuration en référence à la littérature sur la formation des réseaux présentée ci-dessus. Ainsi, Hanaki *et al.* (2008) utilisent les données de co-inventions du NBER (National Bureau of Economic Research) dans le domaine des TIC entre 1985 et 1995 pour mesurer les effets de réseaux de style « cyclic closure (16) » ou « preferential attachment (17) » dans les choix d'établissement de nouvelles collaborations entre firmes. L'estimation des effets géographiques ne montre pas d'effets significatifs de cette variable. Cependant cette estimation est basée sur une simple mesure de co-localisation des sièges sociaux au sein d'un même comté.

S'appuyant aussi sur les approches théoriques qui explicitent les fondements micro-économiques de la formation des réseaux, Autant-Bernard *et al.* (2007) utilisent un modèle de choix discret de coopération inter-firmes pour l'innovation avec l'objectif plus affirmé de confronter l'importance des effets spatiaux relativement aux effets de réseaux. À partir de données décrivant les projets coopératifs proposés à la Commission européenne dans le cadre du 6^{ème} PCRD en micro et nanotechnologies, des variables de distance spatiale et de distance sociale sont introduites pour expliquer les choix des partenaires. Les résultats montrent que la position des firmes au sein des réseaux coopératifs précédemment constitués (dans le cadre du 5^{ème} PCRD), est déterminante dans les choix de coopération. Des effets d'auto-renforcement autour d'acteurs centraux dans les réseaux dominent largement les choix de coopération au niveau européen tandis que les effets de la proximité géographique n'apparaissent que lorsqu'on considère les coopérations intra-nationales.

Comparativement aux nombreuses analyses empiriques des déterminants des coopérations inter-firmes qui ne prennent en compte que les caractéristiques des paires, on remarque donc le nombre encore très limité d'études empiriques prenant en compte directement les effets réseaux et confrontant positionnement géographique et positionnement au sein des réseaux dans les déterminants des coopérations. Les difficultés du recueil de données systématiques de relations géo-localisées indispensables pour mener ce type d'ana-

- (16) Dynamique qui s'appuie sur l'idée « les amis de mes amis sont mes amis » et qui au sein d'un réseau conduit à ce que chacun ait une probabilité plus forte d'établir un lien avec un partenaire de ses propres partenaires.
- (17) Il s'agit ici d'un processus cumulatif qui se fonde sur l'attractivité plus forte exercée par les acteurs qui ont déjà le plus de partenaires.

lyses ainsi que les difficultés méthodologiques de représentation des réseaux de collaborations en R&D (cf. Billand *et al.*, 2008) expliquent sans doute cette rareté.

VI. — CONCLUSION

Partant du constat de la forte concentration géographique des activités d'innovation et de l'accent porté par les théories explicatives sur l'existence d'externalités de connaissances localisées, le courant de la géographie de l'innovation s'est largement focalisé pendant les années 1990 sur la mesure empirique de la dimension spatiale des externalités. Ces recherches ont à la fois confirmé l'existence d'une contrainte spatiale à la diffusion des connaissances et montré que celle-ci s'articule avec d'autres facteurs complexes pour fonder la structuration géographique des activités d'innovation. Il devient alors nécessaire de se tourner vers l'analyse des mécanismes sous-jacents à la diffusion de connaissances dans l'espace (capacité d'absorption, échanges en face-à-face, mobilités professionnelles). La mise en évidence de ces mécanismes justifie à son tour les perspectives de recherche orientées vers la compréhension des comportements individuels de coopération en matière d'innovation.

Ces recherches plus récentes utilisant des données micro-économiques de coopération ou de mobilité afin de tracer des graphes relationnels entre acteurs de la science et de la technologie et d'en évaluer les implications spatiales sont encore très rares. Leur développement dans les années qui viennent devra permettre de répondre plus précisément à trois enjeux essentiels en termes de politiques publiques. 1) Il s'agit tout d'abord de savoir apprécier dans quelle mesure l'espace géographique explique les réseaux de collaboration en R&D et inversement dans quelle mesure la structuration spatiale de ces réseaux est un déterminant de leur performance. 2) La capacité des acteurs à participer à ces réseaux dépend de leur pouvoir attractif en tant que partenaires. Construire cette capacité à intégrer les réseaux globaux de la recherche et de la technologie devient donc un enjeu important. En conséquence l'exploration des implications de telles exigences sur les choix de localisation et les effets d'agglomération en découlant devient une nécessité pour comprendre la future géographie de l'innovation. 3) Enfin, un autre enjeu essentiel pour la détermination de politiques publiques locales est d'analyser les meilleures pratiques permettant de bénéficier localement de la connaissance créée dans ces équipes dispersées spatialement.

BIBLIOGRAPHIE

- ACS Z.-J., AUDRETSCH D.-B. and FELDMAN M.-P. (1991), « Real Effects of Academic Research : Comment », *The American Economic Review*, vol. 82, n° 1, March, pp. 363-367.
- ALMEIDA P. and KOGUT B. (1997a), « The Exploration of Technological Diversity and the Geographic Localization of Innovation », *Small Business Economics*, n° 9, pp. 21-31.
- ALMEIDA P. and KOGUT B. (1997b), « Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in Regional Networks », *Management Science*, n° 45, pp. 905-917.
- AMITI M. (1998), « New trade theory and industrial location in the EU : a survey of evidence », *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 14, n° 2.
- ANSELIN L., FLORAX R., and REY S. (eds) (2004), *Advances in Spatial Econometrics*, Springer.
- ANSELIN L. (2003), « Spatial Externalities », *International Regional Science Review*, vol. 26, n° 2, avril.
- ANSELIN L., VARGA A. and ACS Z. (1997), « Local Geographic Spillovers Between University Research and High Technology Innovations », *Journal of Urban Economics*, n° 42, pp. 422-448.
- ARAUZO CAROD J.-M. et MANJON ANTOLIN M.-C. (2004), « Firm Size and Geographical Aggregation : An Empirical Appraisal in Industrial Location », *Small Business Economics*, Springer, vol. 22(3-4), pp. 299-312, 04.
- ARROW K.-J. (1962), « Economic welfare and the allocation of resources of invention », in Nelson R.-R. (ed.), *The rate and direction of inventive activity : economic and social factors*, Princeton University Press, Princeton, pp. 609-626.
- AUDRETSCH D.-B. and FELDMAN M.-P. (1996), « R&D Spillovers and the Geography of Innovation and Production », *The American Economic Review*, vol. 86, n° 3, juin, pp. 630-640.
- AUDRETSCH D.-B. and FELDMAN M.-P. (1999), « Innovation in Cities : Science-Based Diversity, Specialization, Localized Competition », *European Economic Review*, n° 43, pp. 409-429.
- AUTANT-BERNARD C. (2000), *Géographie de l'innovation et externalités locales de connaissance : une étude sur données françaises*, thèse pour le doctorat en Sciences économiques, université Jean Monnet Saint-Étienne.
- AUTANT-BERNARD C. (2001), « The geography of knowledge spillovers and technological proximity », *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 10.
- AUTANT-BERNARD C. (2006), « Where do firms choose to locate their R&D? A spatial conditional logit analysis on French data », *European planning studies*, 14, 9, oct. 2006, pp. 1187-1208.
- AUTANT-BERNARD C. and LESAGE J. (2010), « Quantifying knowledge spillovers using spatial econometric tools », *Journal of Regional Science*, forthcoming.
- AUTANT-BERNARD C. and MASSARD N. (2000), « Scientific interactions, geographic spillovers and innovation. An empirical study on the French case », 40th European Regional Science Association Congress, Barcelone, 29 août-1^{er} sept.
- AUTANT-BERNARD C. et MASSARD N. (2007), *The location of new biotechnology SMEs. Empirical evidence from the French case*. 47th congress of the European Regional Science Association, Paris, 29 août-2 sept.
- AUTANT-BERNARD C., BILLAND P., FRACHISSE D. and MASSARD N. (2007), « Social distance versus spatial distance in R&D cooperation : Empirical evidence from European collaborations choices in micro and nanotechnologies », *Papers in Regional Science*, 86 (3) August, pp. 495-519.
- AUTANT-BERNARD C., MASSARD N. et CHARLOT S. (2008), « Les déterminants géographiques de l'innovation : diffusion spatiale des connaissances et choix de localisation », in T. Madiès et J.-C. Prager (2008), *Innovation et compétitivité des régions*, rapport Conseil d'Analyse Économique, La Documentation française, pp. 227-266.
- BALCONI, BRESCHI S., LISSONI F. (2004), « Networks of inventors and the role of academia : an exploration of Italian patent data », *Research Policy*, Elsevier, vol. 33(1), pp. 127-145, January.

- BALDWIN R.-E. and MARTIN P. (2004), « Agglomeration and regional growth », *Handbook of Regional and Urban Economics*, in J.-V. Henderson & J.-F. Thisse (ed.), *Handbook of Regional and Urban Economics*, edition 1, vol. 4, chapter 60, pp. 2671-2711 Elsevier.
- BILLAND P., FRACHISSE D. et MASSARD N. (2008), « Affiliation network : representations and analysis ». 13th Coalition Theory Network Workshop, Venise, 24-25 janvier.
- BOTTAZZI L. and PERI G. (2003), « Innovation and spillovers in regions: Evidence from European patent data », *European Economic Review*, 47-4, pp. 687-710.
- BRESCHI S., LISSONI F. (2003), « Mobility and Social Networks: Localised Knowledge Spillovers Revisited », *CESPRI Working Papers*, 142, CESPRI.
- BRESCHI S., LISSONI F. (2006), « Mobility of inventors and the geography of knowledge spillovers. New evidence on US data ». *ADRES conference*, Saint-Étienne, 14-15 septembre.
- BRESCHI S., LISSONI F. (2007), « Cross-firms inventors and social networks: localised knowledge spillovers revisited », *Annales d'Économie et de Statistiques* (à paraître).
- CANIELS M. (2000), *Knowledge spillovers and economic growth*, Edward Elgar, Northampton MA, USA.
- CARAYOL N., ROUX P. (2008a), « The strategic formation of inter-individual collaboration networks. Evidence from co-invention patterns », *Annales d'Économie et de Statistiques*, 87-88, pp. 275-301.
- CARAYOL N., ROUX P. (2008b), « Knowledge flows and the geography of networks. A strategic model of small worlds formation », *Journal of Economic Behavior and Organization* (à paraître).
- CARAYOL N., ROUX P., YILDIZOGLUT M. (2008), « Inefficiencies in a model of spatial networks with positive externalities », *Journal of Economic Behavior and Organization*, 67(2), pp. 495-511.
- CHARLO S., DURANTON G. (2004), « Communication externalities in Cities », *Journal of Urban Economics*, 56, 581-613.
- CHARLOT S., DURANTON G. (2006a), « Cities and Workplace Communication: Some Quantitative Evidence », *Urban Studies*, vol. 43, n° 8, 1369-1394.
- CHARLOT S., DURANTON G. (2006b), « Les modes de communication et leurs complémentarités: quand l'espace compte toujours », *Revue Économique*, vol. 57, n° 6, 1427-1447.
- CLOODT M., HAGEDOORN J. et ROIJAKKERS N. (2006), Trends and patterns in inter-firm R&D networks in the global computer industry : a historical analysis of major developments during the period 1970-1999, *Business History Review*, 80, pp. 725-746.
- COHEN W. and LEVINTHAL D.-A. (1989), « Innovation and learning: the two faces of R&D », *The Economic Journal*, n° 99, september, pp. 569-596.
- COWAN R., JONARD N. et ZIMMERMANN J.-B. (2006), « Evolving Networks of Inventors », *Journal of Evolutionary Economics*, 16:1-2, pp. 155-174.
- DURANTON G. et PUGA D. (2000), « Diversity and specialisation in cities: Why, where and when does it matter? », *Urban Studies*, 37(3):533-555.
- DURANTON G. et PUGA D. (2001), « Nursery Cities: Urban diversity, process innovation and the life-cycle of products », *American Economic Review*, 91(5), pp. 1454-1477.
- DURANTON G. et PUGA D. (2005), « From sectoral to functional urban specialisation », *Journal of Urban Economics*, 57, pp. 343-370.
- FELDMAN M. (1994), *The Geography of Innovation*, Economics of Science, Technology and Innovation, vol. 2, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, p. 155.
- FELDMAN M. and MASSARD N. (ed.) (2002), *Institutions and systems in the geography of innovation*, Kluwer Academic Publishers.
- GLAESER E. et al. (1992), « Growth in Cities », *Journal of Political Economy*, 100(6), pp. 1126-1152.
- GOMES-CASSERES B., HAGEDOORN J. and JAFFE A. (2006), « Do alliances promote knowledge flows ? », *Journal of Financial Economics*, 80:1, pp. 5-33.
- GREUNZ L. (2004), « Industrial structure and innovation – Evidence from European regions », *Journal of Evolutionary Economics*, 14-5, pp. 563-592.
- GRILICHES Z. (1979), « Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth », *The Bell Journal of Economics*, vol. 10, n° 1, pp. 92-116.
- HANAKI N., NAKAJIMA R. et OGURA Y. (2008), « The dynamic of R&D collaboration in the IT industry », Available at SSRN: (<http://ssrn.com/abstract=1000103>).

- JACKSON M., WOLINSKY A. (1996), « A strategic model of economic and social networks », *Journal of Economic Theory*, 71 : 44-74.
- JACKSON O.-J., ROGERS B.-W. (2005), « The economic of small worlds », *Journal of the European Economic Association*, 3 (2-3), 617-627.
- JACOBS J. (1969), *The economies of cities*, Random House.
- JAFFE A.-B. (1989), « Real Effects of Academic Research », *The American Economic Review*, vol. 79, n° 5, December, pp. 957-970.
- JAFFE A.-B., TRAJTENBERG M. and FOGARTY M.-S. (2000), « The meaning of patent citations: report of the NBER/case-Western reserve survey of patentees », *NBER Working paper Series*, Working Paper, n° 7631, avril, Cambridge.
- JAFFE A.-B., TRAJTENBERG M. and HENDERSON R. (1993), « Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations », *The Quarterly Journal of Economics*, August, pp. 577-598.
- JOHANSSON B. and QUIGLEY J. (2004), « Agglomeration and Networks in Spatial Economies », *Papers of Regional Science*, 83 : 165-176.
- JOHNSON C., GILLES R.-P. (2000), « Spatial social networks », *Review of Economic Design*, 5, 273-299.
- KRUGMAN P. (1991), *Geography and Trade*, Leuven University Press, Leuven, Belgium, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 4th edition, p. 136.
- LESAGE J., (2008), « An introduction to spatial econometrics », *Revue d'Économie Industrielle*, 123, 3^{ème} trim.
- LESAGE J., FISCHER M. and SCHERNGELL T. (2007), « Knowledge spillovers across Europe: Evidence from a Poisson spatial interaction model with spatial effects », *Papers in Regional Science*, 86 (3) August, pp. 393-422.
- LUCAS R. (1988), « On the mechanics of economic development », *Journal of Monetary Economics*, 22, pp. 3-42.
- MAGGIONI M., NOSVELLI M., UBERTI E. (2007), « Space vs. networks in the geography of innovation: A European analysis », *Papers in Regional Science*, 86(3).
- MALERBA F., VONORTAS N., BRESCHI S., CASSI L. (2006), *Evaluation of progress toward a European Research Area for Information Society Technologies*, Report for the European Commission, January.
- MARSHALL A. (1890), *The Principles of Economics*, NY : MacMillan.
- MASSARD N. and MEHIER C. (2009), « Proximity and Innovation Through an “Accessibility to Knowledge Lens” », *Regional Studies*, 43, 1, pp. 77-88.
- MASSARD N. et TORRE A. (2005), « Innovation et proximité », in B. Pecqueur et J.-B. Zimmermann (ed.), *Economies de proximité*, Hermès, Paris.
- MASSARD N., RIOU S. (2002), « L'impact des structures locales sur l'innovation en France : spécialisation ou diversité ? », *Région et Développement*, 16, pp. 111-36.
- MAURSETH B. and VERSPAGEN B. (1999), « Knowledge spillovers in European its consequences for systems of innovation », *ECIS Working Paper*, n° 98-001, octobre, p. 21.
- NEWMAN M.-E.-J. (2004), « Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration », *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*, 1001, 5200-5205.
- NOOTEBOOM B. (2004), *Inter-Firm Collaboration. Learning and Networks. An Integrated Approach*, Routledge.
- OST (1998), *The dynamics of S&T activities in the EU regions*, TSER project 1093.
- PACI R., USAI S. (2000), « Externalities, knowledge spillovers and the spatial distribution of innovation », *Geo Journal*, 49, pp. 381-390.
- PORTER M.-E. (1990), *The competitive advantage of nations*, London : MacMillan Press.
- POWELL W.-W., KOPUT K.-W., SMITH-DOERR L. (1996), « Inter-organizational collaboration and the locus of innovation: Network of learning in biotechnology », *Administrative Science Quarterly*, 41 : 116-145.
- PUGA D. (1999), « Rise and fall of regional inequalities », *European Economic Review*, vol. 43, n° 2, pp. 303-344.
- ROIJAKKERS N., HAGEDOORN J. (2006), « Inter-firm R&D partnering in pharmaceutical biotechnology since 1975 : Trends, patterns, and networks », *Research Policy*, 33 : 1153-1165.
- ROMER P. (1986), « Increasing returns and long run growth », *Journal of Political Economy*, 94, pp. 1002-1037.

- SAXENIAN A.-L. (1994), *Regional Advantage : culture and competition in Silicon Valley and Route 128*, Cambridge, MA : Harvard University Press.
- SINGH J. (2005), « Collaboration networks as determinants of knowledge diffusion patterns », *Management Science*, 51 (5), 756-770.
- SORENSEN O., RIVKIN J.-W., FLEMING L. (2006), « Complexity, networks and knowledge flow », *Research Policy*, 35, 2006, 994-1017.
- VARGA A. (1998), *University Research and Regional Innovation : A Spatial Econometric Analysis of Academic Technology Transfers*, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- VERSPAGEN B. and SCHOENMAKERS W. (2000), « The spatial dimension of knowledge spillovers in Europe: evidence from firm patenting data », paper presenter at the *AEA conference on Intellectual Property Econometrics*, Alicante, avril, p. 18.
- VERTOVA G. (2002), « A historical investigation of the geography of innovative activities », *Structural Change and Economic Dynamics*, Elsevier, vol. 13(3), pp. 259-283, September.
- WAGNER C.-S. (2004), *International collaboration in science : a new dynamic for knowledge creation*, Doctoral thesis, University of Amsterdam.
- WAGNER C.-S., LEYDESDORFF L. (2005), « Network structure, self-organisation, and the growth of international collaboration in science », *Research Policy*, 34 : 1608-1618.
- ZUCKER L., DARBY M. (2007), « Virtuous circles in science and commerce », *Papers in Regional Science*, 86 (3) August, pp. 445-470.
- ZUCKER L.-G., DARBY M.-R. and ARMSTRONG J. (1994), « Intellectual Capital and the Firm: the Technology of Geographically Localized Knowledge Spillovers », *NBER Working Paper Series*, Working Paper, n° 4946, NBER, Cambridge, p. 59.