Les villes de la science contemporaine, entre logiques locales, nationales et globales

Une approche bibliométrique

Denis Eckert, Michel Grossetti,
Laurent Jégou et Marion Maisonobe

Dans le cadre de cet ouvrage, qui centre son propos sur la construction des territoires nationaux de la science, en insistant sur les dynamiques de long terme, quelle est l'opportunité et l'apport d'une analyse qui porte, à l'échelle mondiale, sur l'évolution récente de la géographie de l'activité scientifique ? Pourquoi prendre comme objet d'étude l'ensemble des villes qui, dans le monde, participent aux activités de la science académique ?

La réponse à ces questions est largement apportée par les discours contemporains sur la science, discours pas forcément étayés par des données solides. Il se trouve qu'on a un peu vite, au cours des quinze dernières années, annoncé la concentration croissante de l'activité scientifique dans quelques grands pôles scientifiques. C. Matthiessen *et al.* (2010) ont par exemple cru identifier un rôle croissant des grandes métropoles scientifiques, en dénombrant les publications réalisées dans ces centres. Érigé un peu vite en résultat solide, ce type d'analyse a servi à légitimer des politiques de concentration des moyens dans un nombre limité de pôles. Cela a été le cas des tous récents Idex en France, du lancement des clusters d'excellence en Allemagne, ou, au Japon, de la politique favorisant les universités impériales. La concentration de l'activité scientifique dans un nombre limité de lieux serait finalement l'aboutissement des logiques de la science globale ; et toute politique nationale décente et réaliste se devrait d'accompagner et renforcer ce mouvement en soutenant les pôles scientifiques principaux dans chaque pays. Cette représentation forte (et, nous le verrons, pourtant fausse) a été renforcée par des thèses qui présentent la science actuelle comme un espace plastique et mondialisé de collaborations et d'opportunités, où l'importance des structures nationales ne pourrait que régresser. C'est la vision qu'a soutenue la géographe américaine C. Wagner en 2008 dans sa vision d'un « *New Invisible College* » (Wagner 2008).

Ces représentations se nourrissent de la vision d'un monde structuré par les « *global cities* », plus ancrées dans des réseaux mondiaux que dans des territoires nationaux, et par les flux d'individus, d'information et de capitaux qui parcourent le globe, en prenant appui sur quelques points nodaux. Là encore, cette vision a une traduction en termes de politiques scientifiques, puisque l'on voit se multiplier les actions et financements poussant de plus en plus de chercheurs à la mobilité internationale, ou cherchant à attirer des chercheurs étrangers de renom ; cette promotion de la mobilité devenant un but en soi.

Finalement, la concentration en quelques lieux, la déterritorialisation des réseaux et des coopérations, et la circulation généralisée des chercheurs deviendraient une sorte d'horizon ultime de l'activité scientifique, et annonceraient la fin de son histoire. Si l'on en croit les très nombreux porteurs de ces discours, l'objet même d'étude de cet ouvrage est caduc : les politiques scientifiques nationales, les processus de construction, État par État, des systèmes scientifiques et de leurs territoires n'ont plus aucune importance dans un monde de la science où les repères territoriaux et nationaux sont appelés à s'effacer.

C'est cet « air du temps » que l'on voudrait vigoureusement mettre à l'épreuve des faits, en mobilisant les données spatialisées les plus rigoureuses possibles. Une façon de saisir l'organisation spatiale des activités scientifiques dans la période récente est de se fonder sur les données de publication. Cela revient à adopter une entrée spatialisée dans un domaine de recherche bien établi, la bibliométrie (Gingras, 2014). Le recensement des publications dans des bases de données mondiales permet en effet de conduire des analyses statistiques intéressantes, à condition naturellement de tenir compte des limites de ces données. Les spécialistes de bibliométrie, et l'ensemble des *Science Studies*, en sont familiers qui ont longtemps négligé l'entrée spatiale, s'intéressant plus aux évolutions des domaines de recherche, à des mesures de « performance », ou aux carrières des chercheurs, malgré l'existence de travaux pionniers sur l'évolution des contributions des différents pays (et notamment de ceux du Sud) aux publications scientifiques (par exemple ceux de Michel Zitt en France – voir Zitt *et al.* 2000).

Répondre à ces questions est très difficile, car cela implique un travail fin au niveau des villes, ce qui jusque-là a été très peu fait et qui pose beaucoup de problèmes méthodologiques quand on utilise les sources bibliométriques (multiples affiliations, codage géographique cohérent).

Il existe toutefois un mouvement général récent d'analyse de l'organisation spatiale des activités scientifiques (Bonaccorsi et Daraio 2005 ; Bornmann, Leydesdorff, Walch-Solimena et Ettl 2011 ; Leydesdorff et Persson 2010 ; Hoekman, Frenken et Van Oort 2010). Si beaucoup de ces travaux s'intéressent surtout à des thèmes de recherche spécifiques, il en est qui analysent toutes disciplines confondues l'évolution de l'activité scientifique dans un pays, ce qui permet d'examiner les dynamiques urbaines en neutralisant ce qui relève des évolutions des pays. Ainsi, Zhou et Glänzel (2009), ainsi qu'Arvanitis (Arvanitis *et al.* 2012), montrent que la croissance de la Chine s'accompagne d'une déconcentration des activités entre les différentes régions du pays. D'autres travaux, analysant les dépôts de brevets (Hong 2008) montrent également qu'avec le développement de la science chinoise, la concentration géographique initiale

s'atténue. L'exemple de la Chine suggère qu'il est préférable de raisonner en fonction de plusieurs échelles spatiales, au moins celle des pays et celles des villes. Nous avons nous-mêmes contribué à ces recherches en effectuant un travail approfondi de localisation des publications scientifiques, et leur regroupement dans des entités urbaines cohérentes (Grossetti *et al.* 2013a et 2013b).

Ce chapitre reprend et prolonge ce travail d'analyse géographique des publications scientifiques fondé sur un regroupement par agglomérations urbaines. Grâce à un long travail de géocodage réalisé dans le cadre d'un projet soutenu par l'ANR [1], nous disposons de données de publications spatialisées couvrant l'ensemble de la planète. Nous nous appuierons sur ces données pour dresser un état des lieux de l'organisation spatiale des activités scientifiques. Nous commencerons par présenter les méthodes que nous utilisons. Ensuite nous rappellerons succinctement l'existence d'une tendance à la régression de la concentration des publications dans les villes les plus importantes et la diversification des lieux de production de la science, telle qu'elle est visible dans les bases de données internationales. Puis, nous nous centrerons sur les réseaux de collaboration scientifique pour montrer que l'accroissement des publications réalisées par des équipes de pays différents, la tendance à l'internationalisation des activités scientifiques, ne correspond pas à un déclin des cadres nationaux. Au contraire, ceux-ci tendent à se renforcer au même rythme que la tendance à l'internationalisation, dans une croissance plus générale des collaborations entre des équipes de villes différentes. Enfin, nous examinerons de façon plus détaillée des cas de pays qui font par ailleurs l'objet d'études spécifiques dans les autres chapitres.

1 Méthodologie

Notre étude se fonde sur les données de la base de données bibliographique du Web of Science, ou WoS (Thomson Reuters). Cette base recense depuis les années 1960 les publications (articles, notes et revues) parues dans les « principales revues scientifiques et technologiques internationales », c'est-à-dire celles qui sont les plus citées par les chercheurs eux-mêmes.

Cette base de données recense plus d'un million de publications en 2007. Nous avons travaillé sur des données qui courent de 1999 à 2008 ; en comparant deux séries de trois ans (1999-2000-2001 et 2006-2007-2008). Ces données ont fait l'objet d'un lourd travail d'indexation géographique (localisation au niveau le plus fin possible). Le choix de ne pas remonter jusqu'aux années 1960, donc de se priver d'une profondeur historique intéressante, est lié aux limites de la base. Ce n'est que depuis relativement peu de temps (une vingtaine d'années) que, très généralement, les pratiques de publication et de signature des chercheurs ont changé. De plus en plus de chercheurs des sciences expérimentales et formelles, quelque soit leur pays de résidence, publient désormais en anglais et dans des revues répertoriées dans le Web of Science, alors qu'il y a cinquante ans l'importance des publications dans des ouvrages et revues nationales (en français, allemand, russe, etc.) non-répertoriées dans ce type de base était beaucoup plus grande. La « normalisation » des pratiques de publication scientifique

1. Projet « Geoscience », dans le cadre de l'appel à projet « Sciences, technologies et savoirs en sociétés. Enjeux actuels, questions historiques ».

rend donc, depuis les années 1990, de la représentativité de l'information contenue dans le Web of Science meilleure. Par ailleurs, également depuis les années 1990, le nombre de revues indexées par le WoS a considérablement augmenté ; il prend notamment en compte beaucoup plus de revues hors de ses cibles d'origine (pour des raisons commerciales et historiques, l'Institute of Scientific Information visait avant tout les marchés anglophones des disciplines comme les sciences de la vie et la biomédecine). Le WoS représente donc mieux, à partir des années 1990, l'activité de la science « académique », celle qui rend son travail visible à partir des publications dans des revues scientifiques.

Un certain nombre de biais est donc inévitable. La base ne rend pas compte des résultats de recherche qui prennent la forme de brevets, d'applications industrielles, donc de tout ce qui relève de processus d'innovation technique, de transferts recherche-industrie. Par ailleurs, les résultats publiés sous forme d'ouvrages sont peu ou pas pris en compte, et de surcroît la base ne recense qu'une minorité de publications non anglophones. Il faut donc, par exemple, que les chercheurs chinois se mettent à publier massivement en anglais et dans des revues de référence connues du monde anglo-américain pour que la science chinoise devienne réellement visible dans le WoS.

Il n'en reste pas moins que cette approche bibliométrique – et ce type de sources – est la seule qui permette de mettre en évidence à l'échelle mondiale, et de manière comparable entre pays et continents, les structures territoriales de la science. Les évolutions analysées le seront dans les limites chronologiques imposées par la qualité croissante de la base, c'est à dire sur un intervalle d'une dizaine d'années. Cela permet néanmoins déjà de juger de la pertinence des discours dominants sur la déterritorialisation des relations scientifiques et la concentration prétendument inéluctable de l'activité scientifique à l'époque contemporaine.

Établir des statistiques géographiques des publications scientifiques implique deux types de choix, l'un concernant la façon de compter les publications, l'autre le regroupement des adresses en agglomérations urbaines.

1.1 Compter les publications par entités spatiales : le fractionnement des publications

Le choix de l'unité de comptage doit tenir compte du fait que la plupart des publications scientifiques ont plusieurs auteurs, regroupés en affiliations (leur laboratoire ou institution d'appartenance) : les adresses renvoient donc à des villes différentes et souvent à des pays différents. Chaque publication peut ainsi être attribuée à plusieurs espaces géographiques simultanément, ce qui pose des problèmes de comptage et de dédoublement des mêmes publications. Ainsi, si un article comprend un premier groupe d'auteurs d'une commune de la banlieue de Madrid, Leganes, un deuxième groupe d'une autre banlieue de Madrid, Lugo, et un autre de Londres, comment faut-il compter ? Une fois pour le Royaume-Uni et une fois pour l'Espagne ? Ou deux fois pour l'Espagne ? Le comptage à l'échelle des villes pose le même problème. Faut-il compter deux fois l'agglomération de Madrid ou une seule fois ? On voit bien que la méthode de comptage influe sur le résultat final, que l'on parle du total national ou du total pour chaque ville. Par ailleurs, le comptage sans aucune pondération favo-

rise les grandes agglomérations du fait de leur implication plus systématique dans les collaborations interrégionales et internationales.

Pour éviter ces écueils, nous avons opté pour le comptage par publications fractionnées. Il existe plusieurs façons d'opérer ce fractionnement. Dans ce texte nous avons opté pour le « *whole normalized counting* » en prenant les agglomérations comme base (Gauffriau *et al.* 2008). Dans l'exemple que nous avons pris, où nous avions deux agglomérations (Londres et Madrid), chacune d'entre elles se voit attribuer une moitié de la publication. On peut donc simultanément faire toutes sortes de sommes en conservant le rapport avec le nombre réel de publications à l'échelle mondiale (puisque la somme des fractions est bien le nombre total d'articles publiés dans le monde). Le comptage par publications fractionnées nous est apparu comme le plus rigoureux et le plus respectueux de la réalité des activités scientifiques, et permettant le plus de traitements de nature géographique (regroupements spatiaux par agglomération, par région, par pays...). Pour mesurer les collaborations entre villes, nous utilisons également un comptage fractionné par villes, c'est-à-dire que si une publication est cosignée par n villes, chaque paire de villes se voit attribuer une valeur de $2 / n (n - 1)$. La somme des valeurs des paires d'une même publication est ainsi égale à 1.

1.2 Géocoder les adresses et construire des agglomérations : combiner les critères

À partir des dizaines de milliers d'adresses différentes trouvées dans le WoS, nous avons procédé à un géocodage des lieux mentionnés. Nous sommes arrivés à localiser plus de 98 % des publications en exploitant le champ « adresse » des notices d'articles. Les « localités scientifiques » que nous avons déterminées constituent les points de publication les plus précis que notre méthode de codage a permis de situer. Mais le niveau de précision obtenu varie sensiblement suivant les villes et les pays considérés car généralement, l'adresse contenue dans ce champ correspond à la municipalité où se trouve l'organisme de recherche, qui est une entité spatiale dont la taille peut varier considérablement d'un pays à l'autre. Prenons trois exemples : les chercheurs des laboratoires moscovites travaillent dans une municipalité très grande (1 000 km^2), leur adresse renvoie donc à une seule ville : Moscou. En revanche, les chercheurs parisiens travaillent dans un espace très fragmenté : leur adresse professionnelle peut être la commune-centre de l'agglomération, c'est-à-dire Paris (100 km^2 seulement), ou l'une des centaines de municipalités qui font partie de l'agglomération parisienne. Les localités scientifiques les plus importantes autour de Paris-centre sont Orsay, Gif-sur-Yvette, Palaiseau, Villejuif, Créteil, Châtenay-Malabry. En 2008, elles totalisaient 3 426 publications, soit presque la moitié des publications de Paris-centre. Un autre exemple est la région urbaine de Washington. Dans un espace de quelques dizaines de kilomètres carrés, bien plus petit que la municipalité de Moscou, on trouve trois centres majeurs : la ville de Washington DC proprement dite (2 500 publications), mais avant elle le grand centre universitaire de Bethesda dans le Maryland (3 178) et, un peu derrière, College Park (1 236). Il est donc indispensable de construire des entités urbaines à peu près comparables si l'on veut donner une certaine substance à la notion de « villes scientifiques » et analyser l'évolution de leur position dans le système de la science mondiale. Ne prendre en compte que Paris-centre ou le seul

district fédéral de Washington reviendrait à sous-estimer gravement l'importance de ces deux régions urbaines dans la production scientifique mondiale.

Comment faire alors pour regrouper les localités publiantes en entités urbaines, et ce pour l'ensemble des pays du monde ? Notre ambition a été de produire des critères universels, et non pas des découpages correspondant à une juxtaposition de critères nationaux (prendre les aires métropolitaines pour les États-Unis, les aires urbaines pour la France, etc., et finalement faire comme si ces délimitations étaient comparables). Après la confrontation de différents jeux de données mondiaux, nous avons conclu que les meilleures données pour délimiter rapidement l'ensemble des villes du monde étaient celles relatives à la densité de population (données par carroyage très fines), et plus spécifiquement un indicateur de variation locale (indice local de Moran), qui permet de repérer les noyaux de densité urbains significatifs, même dans les régions à forte densité moyenne de population (Eckert *et al.* 2013). Ce traitement permet de trouver un critère de délimitation homogène pour les agglomérations importantes. Pour les entités plus petites, un critère plus simple (un seuil de 40 km entre deux localités productrices de publications) nous a permis de délimiter de « petites » agglomérations scientifiques. Les données relatives à deux « petits » centres scientifiques distants de moins de 40 km ont donc été regroupées.

Nous avons pu ainsi créer des regroupements de localités, en simplifiant et en homogénéisant l'information de départ. De ce fait, nous avons constaté que 95 % de l'activité scientifique mondiale était concentrée, en 2007, dans 1 258 agglomérations ainsi définies.

Tableau 1 – Évolution de la concentration des publications mondiales sur les agglomérations les plus importantes (1999-2008)

Agglomérations	Part du total mondial des publications 1999-2001 (%)*	Part du total mondial des publications 2006-2008 (%)*
10 premières	17,2	15,5
20 premières	25,6	23,4
30 premières	31,4	28,8
50 premières	39,5	37,4
100 premières	53,2	51,3
200 premières	70	68,2
% cumulé des 300 premières	80,3	78,4

Source : Web of Science (totalité)

(*) Comptage par fractions de publications, moyennes mobiles sur trois ans. Les lignes du tableau ne s'additionnent pas

2 La déconcentration des publications dans l'ensemble des agglomérations du monde

Une façon simple d'évaluer la concentration est de calculer la proportion des publications mondiales que l'on peut attribuer aux plus grandes agglomérations scientifiques mondiales (tableau 1). Les résultats sont sans ambiguïté : la tendance à la déconcentration est générale [2].

Sur une période relativement courte (moins d'une décennie), la contribution des principales agglomérations mondiales à la production scientifique diminue. Les dix premières d'entre elles comptent pour un peu plus de 15 % du total, perdant presque deux points par rapport au début de la décennie. La tendance est générale, que l'on considère la barre des trente, cinquante, cent premières agglomérations mondiales, ou plus loin encore dans le classement. Cela signifie que l'activité scientifique est en voie de diffusion générale. Ce processus n'est pas récent : il est lent et continu. Nous avons pu l'observer depuis la fin des années 1980, quand les dix premières agglomérations mondiales pesaient encore 21 % du total. Elles ont donc perdu cinq points en vingt ans, preuve que la théorie de la concentration de la science dans les grandes métropoles ne résiste pas à l'analyse.

Cette déconcentration des publications au niveau des villes va de pair avec une déconcentration au niveau des pays. Les rapports publiés par Thomson Reuters (série des *Global Research Reports*, mis en ligne fin 2010) sur l'évolution des publications des différents pays mettent en évidence un rééquilibrage entre les différentes parties du monde avec un accroissement de la contribution de nombreux pays « émergents » au total des publications scientifiques. Le rapport concernant les États-Unis commence ainsi : « Les États-Unis ne sont plus le colosse de la science qui dominait le paysage de la recherche il y a trente ans par sa production d'articles scientifiques. Il partage son royaume, de manière de plus en plus égale, avec l'Union européenne à vingt-sept et la région Asie-Pacifique. » (Adams et Pendlebury 2010.) Les auteurs de ce rapport observent le même mouvement de rééquilibrage, bien que plus tardif et moindre, en ce qui concerne les citations obtenues par les publications, donc en prenant en compte un critère de visibilité académique des recherches produites.

Le tableau 2 présente nos calculs concernant les trente pays comptabilisant le plus de publications en 2007, calculs qui convergent parfaitement avec les analyses précédentes.

2. Pour une analyse plus complète, utilisant les données restreintes aux sciences de la nature et de la technique, voir Grossetti *et al.* 2013.

.

Tableau 2 – Évolution entre 2000 et 2007 de la part des trente pays les plus « productifs » dans les publications mondiales

Pays	Part pays / monde 2000 (%)*	Part pays / monde 2007 (%)*
États-Unis	35,1	29,7
Chine	2,8	6,9
Royaume-Uni	8,6	6,7
Japon	7,2	5,9
Allemagne	6,7	5,9
France	4,9	4,2
Canada	3,7	3,7
Italie	3,1	3,4
Espagne	2,1	2,5
Inde	1,6	2,2
Australie	2,1	2,2
Corée du Sud	1,3	2,2
Pays-Bas	1,8	1,8
Brésil	1,1	1,7
Russie	2,3	1,6
Taïwan	1	1,5
Turquie	0,6	1,3
Pologne	0,9	1,2
Suède	1,3	1,1
Belgique	0,9	0,9
Israël	0,9	0,8
Suisse	0,8	0,8
Grèce	0,5	0,7
Iran	0,1	0,7
Autriche	0,7	0,7
Danemark	0,7	0,6
Finlande	0,7	0,6

Mexique	0,4	0,5
République tchèque	0,4	0,5
Singapour	0,3	0,5

Source : Web of Science (totalité)

(*) Comptage par fractions de publications, moyennes mobiles sur trois ans

Premier constat : la déconcentration est aussi marquée au niveau des pays. En 2000, trois pays (États-Unis, Royaume-Uni et Japon) produisaient à eux seuls 50 % des publications. Il en fallait dix pour obtenir 75 % des publications et vingt pour atteindre 90 %. La carte ci-dessous (figure 1a) montre, de manière plus détaillée, le poids de la triade Amérique du Nord-Europe-Japon.

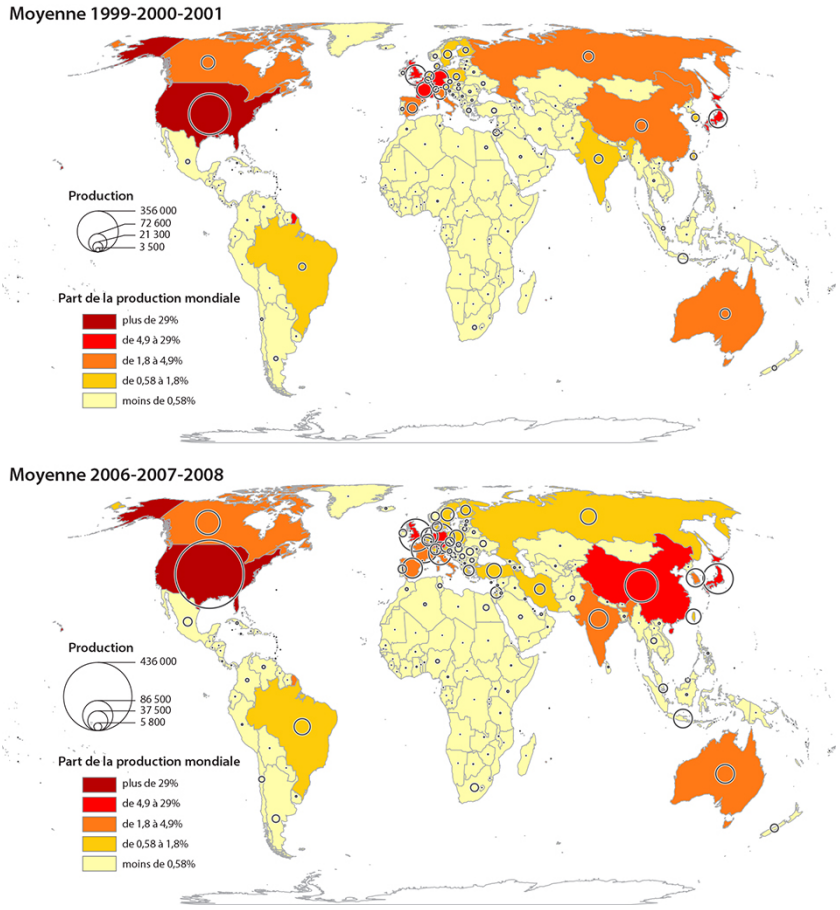


FIGURE 1 – (a) production mondiale d'articles en 2000 ; (b) production mondiale d'articles, évolution 2000-2007 (Cercles valeurs 2007, aplats en évolution)

En 2007, cinq pays (États-Unis, Chine, Royaume-Uni, Japon et Allemagne) produisent 55 % de la science mondiale, douze pour 75 % et 25 pour 90 %. Comme le montre la figure 2b, même si la Triade demeure très importante, la montée rapide d'autres pays d'Asie à côté du Japon (Chine, Corée, Taïwan) ou de pays du Moyen-Orient, de l'Inde, du Brésil, est frappante et contribue à l'élaboration d'une « carte scientifique » multipolaire. Par ailleurs, les évolutions que ces tableaux indiquent peuvent être résumées en deux grandes tendances. La première est l'accroissement de la convergence entre le *Web of Science* et la réalité des pratiques des chercheurs. Cette convergence résulte d'une part de la diversification des revues prises en compte par la base, et d'autre part, de la propension croissante des chercheurs à privilégier des revues indexées dans cette base de données. L'effet spécifique de cette première tendance est la réduction progressive de la surestimation du poids des États-Unis (et dans une moindre mesure du Royaume-Uni), dont les revues étaient initialement surreprésentées. Une partie de la régression apparente du poids des États-Unis est donc probablement un effet de cette meilleure représentativité de la base de données. Une deuxième tendance est l'accroissement et la diffusion des activités scientifiques dans le monde. Tous les indicateurs de cette activité – le nombre de chercheurs académiques, le nombre d'universités, le nombre d'étudiants, etc. – convergent pour mettre en évidence un « équipement » progressif de la plupart des pays en universités et en laboratoires, équipement dont le degré varie en fonction des évolutions économiques. En simplifiant, le nombre des publications tend vers une fonction linéaire du PIB. Les évolutions des rapports de richesse trouvent une traduction dans les activités de recherche : progression des pays émergents, notamment asiatiques, mais aussi de l'Europe du Sud (Grèce, Espagne, Portugal) ; régression relative des pays les plus anciennement présents dans les bases de données (États-Unis, Europe du Nord et de l'Ouest) ; régression dans les anciens pays soviétiques restés en dehors de l'Europe (Russie).

Il y a donc clairement un rééquilibrage des publications scientifiques entre les pays. On pourrait penser que la « centralité » de certains pays se maintient par la notoriété de leurs travaux, que l'on peut mesurer par la quantité de citations dont bénéficient des articles. Mais là encore, des travaux ont montré qu'en même temps que la concentration des publications s'atténue, les citations ont tendance à être moins concentrées que par le passé. Ce constat a été établi aux États-Unis (Adams et Pendlebury 2010), mais plus généralement à l'échelle mondiale (Larivière *et al.* 2009).

Ce processus de déconcentration à l'échelle des pays explique une partie de la déconcentration au niveau des villes. En effet, une analyse réalisée sur un sous-ensemble de pays ayant suffisamment de villes présentes dans les 500 premières montre que la croissance des publications des villes s'explique à 75 % par la dynamique plus générale du pays dans lequel elles sont situées (Grossetti *et al.* 2013a). Il serait donc théoriquement possible que, une fois pris en compte les rééquilibrages entre pays, on observe une concentration croissante dans quelques grandes villes scientifiques, phénomène que Matthiessen et ses coauteurs ont pensé identifier (Matthiessen *et al.* 2010). Pour tester cette hypothèse, nous allons examiner la façon dont évolue la part des grandes agglomérations scientifiques dans le total des publications de leurs pays respectifs (tableau 3).

Tableau 3 – Évolution de la part des grandes agglomérations mondiales dans leur production nationale entre 2000 et 2007

Agglomérations	Part agglomération / pays 2000 (%)*	Part agglomération / pays 2007 (%)*	Évolution agglomération / pays 2000-2007 (%)*
Tokyo	32,5	34,3	1,8
New York	7	6,5	– 0,4
Londres	26,2	25,6	– 0,7
Boston	5,8	5,7	– 0,1
Pékin	25	21,3	– 3,7
Paris	37,2	34,8	– 2,3
Washington-Bethesda	5,1	4,6	– 0,6
Los Angeles	4,3	4,4	0,1
Baie De San Francisco	4,6	4,4	– 0,2
Séoul	55,4	58,3	2,9
Kyoto-Osaka	19,9	19,5	– 0,4
Chicago	3,3	3,1	– 0,2
Philadelphie	3,2	3	– 0,2
Toronto	22,2	21,8	– 0,5
Research Triangle Park (Caroline du Nord)	2,3	2,4	0,1
Shanghai	10,7	10,3	– 0,3
Moscou	45,4	43,9	– 1,5
Taipei	52,7	46,2	– 6,5
Berlin	10	10,6	0,5
Madrid	27	24,3	– 2,7
Sydney	26,3	26,8	0,6
Baltimore	2	2	0
Montréal	15,3	15,1	– 0,2
Melbourne	23,9	24,9	1
Houston	1,7	1,9	0,1
Milan-Pavie	16,7	16,1	– 0,6
Manchester-Liverpool	7,3	8	0,7

Hong Kong	16,9	7,5	– 9,3
Munich	9,1	8,8	– 0,2
San Diego – La Jolla	1,8	1,7	– 0,1

Source : Science Citation Index Expanded (Web of Science)

(*) Comptage par fractions de publications, moyennes mobiles sur trois ans.

Il faut exclure la ville-État de Singapour des trente et une agglomérations les plus importantes en 2007 car sa production scientifique ne peut être déconcentrée. Sur les trente autres, vingt-quatre voient leur part régresser dans leur ensemble national ou se stabiliser et six voient leur part s'accroître. Parmi ces dernières, Séoul est un cas particulier : après une décroissance relative conséquente au cours des années 1990 (politique volontariste en faveur de la ville de Taejon), elle regagne quelques points dans la période récente. Melbourne est dans une situation un peu similaire avec une variation moindre. Certaines agglomérations américaines gagnent quelques points alors que les deux principales (New York et Boston) en perdent un peu, mais là aussi les amplitudes sont très faibles. Berlin est un cas très particulier de ville devenue capitale durant les années 1990 et porteuse des dynamiques de l'Europe de l'Est. Parmi celles dont le poids régresse, Pékin, Paris, Moscou, Madrid et Taipei sont les plus visibles. Pékin, Taipei et Madrid sont dans des pays dont la part mondiale augmente, mais le nombre de leurs publications s'accroît moins vite que celui d'autres villes des mêmes pays. Paris et Moscou sont non seulement dans des pays qui régressent (au moins dans la deuxième période pour la France), mais elles sont aussi confrontées à un phénomène de rééquilibrage au profit d'autres villes. L'amplitude des variations de la carte scientifique des pays est aussi très variable. Si la Chine, la France, l'Espagne, la Russie, le Royaume-Uni (ou même la Corée du Sud ces vingt dernières années) sont engagées dans des processus continus de déconcentration et de dynamisation des villes « secondaires », les autres pays concernés (États-Unis, Japon) connaissent des variations limitées et leur carte scientifique semble stable. L'Italie et l'Allemagne demanderaient un examen plus détaillé : leurs capitales n'étaient pas au départ dans une situation de domination très marquée et ces évolutions que nous observons sont le résultat de tendances distinctes qui se combinent. Nous reviendrons plus loin sur certains des pays concernés. Retenons que la dynamique de déconcentration interne aux pays n'est pas liée à la dynamique globale des équilibres entre les pays et que la plupart des grandes agglomérations scientifiques perdent de leur poids relatif au sein de leurs pays.

3 Les différentes échelles spatiales de coopération scientifique

Nos données sur les villes permettent aussi d'étudier leurs relations, en examinant les réseaux dessinés par les cosignataires d'articles de recherche. Voit-on se développer depuis la fin des années 1990 des réseaux « mondialisés » de collaboration ? Ou bien retrouve-t-on des résultats classiques comme le fait qu'une grande part des collaborations s'effectue dans un cadre national et dans des ensembles régionaux de pays (Frame et Carpenter 1979 ; Schubert et Braun 1990 ; Luukkonen, Persson et Sivertsen

1992 ; Zitt, Bassecoulard et Okubo 2000 ; Glänzel 2001 ; Hoekman, Frenken et Van Oort 2009) ? Les traitements présentés dans le tableau 4 sont une réponse à cette question.

Tableau 4 – Les types de collaborations et leur évolution

Périodes % publications (moyennes mobiles)	% publications signées par des équipes d'une seule ville	% publications signées par des équipes de plusieurs villes d'un même pays	% publications signées par des équipes de plusieurs villes de plusieurs pays	Total (%)
1999-2001	72,51	13,94	13,54	100,00
2006-2008	67,90	16,27	15,83	100,00

Remarquons d'abord la proportion importante de publications signées par des équipes d'une seule agglomération urbaine. Elles représentent les deux tiers du total même si cette proportion a un peu régressé dans la période étudiée. Il apparaît également que les collaborations nationales se sont accrues au même rythme que les collaborations internationales, les deux évolutions s'effectuant au détriment des publications signées par des équipes d'une seule ville. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, il n'y pas vraiment eu de tendance des chercheurs à rechercher des collaborations à l'étranger au cours des dix dernières années. La croissance des collaborations internationales est une partie de la croissance générale des collaborations entre agglomérations différentes, qu'elles soient ou non du même pays.

Pour aller plus loin, nous allons plus précisément nous intéresser au réseau des 508 agglomérations mondiales qui publient le plus en 2006-2008. Elles relèvent de 59 pays différents et regroupent environ 86 % des publications. Les deux graphiques suivants représentent pour les années 2000 et 2007, en moyenne mobile sur trois années, les principaux flux de collaborations, ces derniers étant évalués par les cosignataires d'articles. Seuls les flux les plus importants (ceux qui pour chaque période, regroupent 25 % du total des cosignataires) sont représentés dans les figures 2 et 3.

Ces deux graphiques mettent en évidence l'importance des contextes nationaux, les liens les plus forts se trouvent à l'intérieur des frontières nationales. Cela apparaîtrait encore plus nettement en utilisant une mesure d'écart à l'indépendance au lieu du nombre brut de collaborations figurant sur la représentation. Le niveau national est clairement dominant aux deux périodes. Si les États-Unis constituent un réseau dense, ce n'est pas le cas de l'Europe, ou chaque pays est bien distinct. L'espace européen prend davantage la forme d'un regroupement de structures nationales que celle d'un réseau intégré. Cette observation rejoint les résultats d'Hoekman *et al.* à propos des collaborations scientifiques européennes (Hoekman, Frenken et Van Oort 2009).

Par ailleurs, le réseau se densifie entre les deux périodes et la centralité relative des villes les plus importantes régresse légèrement, ce qui suggère qu'une tendance à l'aplatissement des hiérarchies accompagne la tendance à la déconcentration de la production (tableaux 5 et 6). Sur le tableau 5 figurent les mesures globales du réseau

de collaborations aux deux périodes étudiées. Les éléments du tableau confortent l'hypothèse d'une densification du réseau : les villes périphériques ou isolées tendent à s'intégrer davantage au réseau entre les deux périodes.

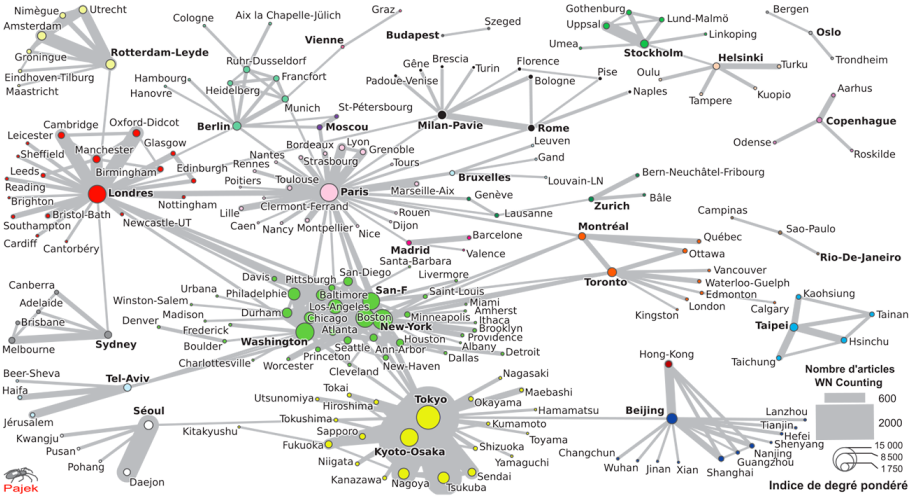


FIGURE 2 – Les principaux flux de collaborations entre les villes en 2000

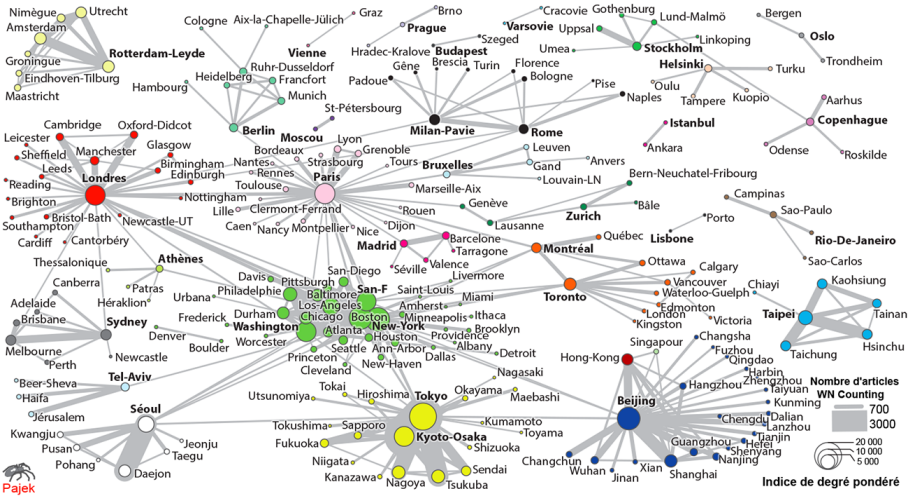


FIGURE 3 – Les principaux flux de collaborations entre les villes en 2007

Tableau 5 – Évolution du réseau de collaborations scientifiques mondiales

Les 508 agglomérations les plus publiantes en 2007*	2000*	2007*	Taux d'évolution
Nombre de liens **	79 500	98 656	0,24
Densité du réseau**	0,617	0,766	0,24
Degré moyen**	312,9	388,4	0,24

(*) Moyennes mobiles sur 3 ans. (**) Les indices ne sont pas pondérés par la valeur des liens

Plus précisément, la connectivité du réseau telle qu'elle est indiquée par les indices de densité et de degré (le premier mesure le nombre de connexions effectuées sur le nombre de connexions possible et le second, le nombre moyen de connexions des villes) augmente de 24 % entre les deux périodes. Ainsi, les trois quarts des connexions possibles entre les 508 villes sont réalisés au cours de la deuxième période. Il faut préciser que les mesures indiquées par le tableau 5 ne tiennent pas compte de la valeur des liens (nombre de cosignataires entre deux villes) mais seulement de leur existence (y a-t-il eu au moins une publication cosignée entre ces deux villes ?).

En 2007, nous ne sommes pas loin d'une situation où toutes les 508 villes sont reliées entre elles par au moins une connexion. Toutefois, il se pourrait que, si l'on tient compte de la valeur des liens (qui indique le nombre total de cosignataires entre chaque couple de villes), nous observions que la tendance à la densification du réseau s'accompagne d'une tendance au renforcement de la centralité des plus grandes villes. Pour tester cette hypothèse, nous avons réalisé le tableau 6 qui indique, au contraire, qu'en part relative, l'intensité des relations dans lesquelles sont engagées les 100 premières villes diminue légèrement au profit du reste de la hiérarchie. Néanmoins, les 100 premières villes sont concernées par la majeure partie des échanges (58,74 %).

Tableau 6 – Distribution de la valeur des collaborations dans le réseau

Part dans le total des collaborations (%)	2000*	2007*
Des 100 premières villes	60,40	58,74
Des villes de 100 à 200	19,17	19,56
Des villes de 200 à 300	10,43	11,04
Des villes de 300 à 400	6,53	6,71
Des villes de 400 à 500	3,47	3,95
Total	100	100

(*) Note manquante

Pour le problème que nous nous posons, les méthodes de partitionnement de type « détection de communauté » sont en mesure d'apporter des réponses instructives. En effet, comme le suggèrent les représentations graphiques, on discerne dans le réseau de collaboration des proximités « régionales » (les pays scandinaves, l'Europe centrale, la connexion entre les États-Unis et le Canada, etc.). Depuis l'article pionnier de Frame et Carpenter paru en 1979, plusieurs travaux en bibliométrie ont mis en avant l'existence de grandes régions cohésives en appliquant des méthodes de partitionnement au réseau des collaborations scientifiques internationales. Cette famille de travaux fait ressortir des « *clusters* », ou groupes cohésifs de pays, c'est-à-dire des ensembles de pays qui collaborent intensément (Frame et Carpenter 1979 ; Schubert et Braun 1990 ; Glänzel 2001). Au cours des années 2000, des chercheurs en informatique et mathématiques ont mis au point et implémenté, dans les logiciels d'analyse de réseaux, des algorithmes nouveaux qui visent justement à délimiter des ensembles cohésifs dans les réseaux (Fortunato 2010). Nous avons choisi de confronter le réseau de collaboration à l'une de ces méthodes appelée « méthode de Louvain » (Blondel *et al.* 2008). L'algorithme sur lequel elle s'appuie consiste à maximiser, pour chaque groupe de villes, la valeur de l'indice de modularité des groupes qui est un indice de cohésion. L'objectif visé est que la densité relationnelle soit plus forte à l'intérieur des groupes qu'entre les groupes. Le résultat est présenté dans la figure 4.

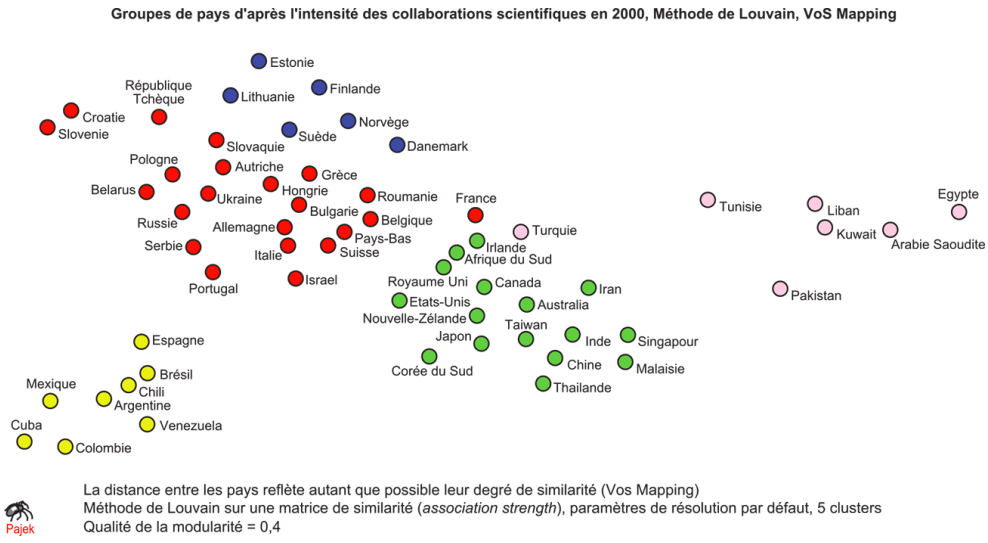


Figure 4 – Clusters de collaboration internationaux

En appliquant cette méthode au réseau des collaborations internationales entre 59 pays en 2000 (les 59 pays qui abritent les 508 agglomérations considérées), nous avons détecté cinq groupes : un groupe scandinave (bleu), un groupe de pays européens (rouge), un groupe de pays hispanophones (jaune), un groupe de pays du Proche et Moyen-Orient (rose), et enfin le groupe comprenant les États-Unis qui inclut le Commonwealth et l'Asie (vert).

Cependant, les groupes ne sont pas isolés les uns des autres, et certains pays ont des relations privilégiées avec des pays à l'extérieur de leur groupe. En effet, la qualité de modularité atteinte par l'algorithme est inférieure à 0,5 ce qui indique que les groupes détectés ne sont pas extrêmement cohésifs. Ce phénomène est visible sur la figure suivante. La distance entre les points sur la figure témoigne de la plus ou moins grande proximité des pays entre eux. Cette distance rend compte de la proximité des pays les uns par rapport aux autres quel que soit leur groupe d'appartenance. Cette représentation a été obtenue avec l'algorithme de visualisation VoS mapping (Van Eck *et al.* 2010). La distance entre les villes dépend de leur indice de similarité, ou « *association strength* » (Van Eck et Waltman 2009). C'est aussi en se fondant sur les matrices de similarité que nous avons détecté les groupes. Pour 2000 et 2007, on obtient des résultats comparables avec une qualité de modularité identique. La seule différence notable, c'est la transition des pays d'Europe de l'Est (Russie, Ukraine, Pologne, Biélorussie) vers le groupe scandinave.

Nous pouvons déduire de cette analyse que si le réseau mondial des collaborations s'est densifié, on observe de moins en moins de membres isolés dans la structure d'ensemble du réseau, telle qu'elle est perceptible à travers les affinités entre les pays et ce d'après l'intensité de leurs relations. Cette structure est par ailleurs restée globalement stable entre 2000 et 2007. L'évolution de la répartition des collaborations souligne une importance toujours majeure des contextes nationaux. Ces résultats suggèrent que la croissance des collaborations ne se fait pas au détriment des collaborations intranationales.

4 Structures nationales et macrorégionales

On est revenu plusieurs fois dans ce texte sur l'importance des contextes nationaux. La science n'est en effet pas détachable des contextes institutionnels (nationaux, supranationaux) dans lesquels elle est organisée. De ce fait, la question de ses structures territoriales peut être interrogée, pays par pays. La série de cartes présentée *infra*, et un tableau de données mesurant le degré de concentration métropolitaine, permettent de décrire plus précisément les structures spatiales de la science, dans chacun des espaces considérés. Le fait le plus marquant est la grande variété des situations (tableau 7 et cartes 5 à 10). Si on se limite aux 11 premiers pays producteurs d'articles répertoriés dans le WoS, on trouve d'impressionnantes différences : 3 pays connaissent un phénomène de primatie très accentué avec plus de la moitié de la production scientifique réalisée dans deux villes seulement (Japon, Australie, Russie). À l'inverse, il faut 8 (Inde), 10 (Allemagne) et surtout 19 villes (États-Unis) pour arriver à ce seuil de 50 %. Les autres pays de la liste sont en position intermédiaire, dont la France, la Chine ou le Royaume-Uni. La conclusion la plus évidente est qu'il n'y a aucun lien entre l'activité d'un système scientifique et son organisation spatiale, la concentration ou dissémination de ses lieux d'activités. Les États-Unis, pays leader, sont de ce point de vue une nation extrêmement polycentrique (il faut cumuler la production des 71 premières villes scientifiques pour arriver à 80 % du total national) alors qu'au Japon on arrive au même seuil avec 9 agglomérations seulement. En Europe, les dissemblances sont nettes aussi : s'opposent, à importance à peu près égale, les concentrations assez fortes du Royaume-Uni ou de la France (une quinzaine de villes

réalisent 80 % de l'activité) à la plus égale répartition en Allemagne (avec 24 centres scientifiques). On voit aussi que l'idée d'une corrélation du dynamisme en termes de publication avec le degré de concentration spatiale est illusoire : parmi les pays les plus concentrés de notre tableau, l'Australie et la Russie ont des dynamiques très différentes : la première progresse en pourcentage du total mondial (2,1 à 2,2 %) tandis que la Russie régresse nettement (2,3 à 1,6 %) entre 1999 et 2007 (tableau 2). La seule corrélation évidente concernerait les pays en croissance forte qui connaissent une montée rapide du nombre de publications associée à une déconcentration géographique notable sur dix ou vingt ans (Grossetti *et al.* 2013a ; Arvanitis *et al.* 2012) : Chine, Brésil, Turquie, Espagne...

Tableau 7 – La concentration métropolitaine de la science dans les onze premières nations scientifiques

Pays	Nombre d'articles moyen	50 %	80 %	95 %
États-Unis	349 335	19	71	173
Chine	101 350	5	15	35
Royaume-Uni	98 905	5	15	30
Japon	86 484	2	9	30
Allemagne	86 091	10	24	41
France	58 917	4	13	32
Canada	54 349	4	10	21
Australie	32 609	2	5	11
Brésil	24 738	4	17	43
Russie	23 835	2	11	36
Inde	15 952	8	34	90

Données : Web of Science 2006-2008 (toutes disciplines confondues)

Tableau 8 – L'évolution de la concentration métropolitaine dans quatre pays européens : France, Espagne, Allemagne, Royaume-Uni (extraction du tableau 3)

Part de la capitale*	2000	2007
Paris	37,2	34,8
Londres	26,2	25,6
Madrid	27,0	24,3
Berlin	10,0	10,6

**En pourcentage du total national*

On peut, pour terminer cette réflexion, mettre un rapide coup de projecteur sur les quatre pays européens et voir comment évolue le poids de leur capitale par rapport au reste du système scientifique national : la France, l'Espagne, l'Allemagne et le Royaume-Uni (tableau 8).

Dans les trois pays historiquement les plus centralisés (France, Espagne, Royaume-Uni), et où la capitale est de loin le producteur scientifique le plus important, on note une légère mais significative déconcentration. Ce mouvement, observé sur la première décennie du siècle actuel, est la suite d'une évolution entamée plus anciennement, entre les années 1980 et 1990 (Grossetti, Losego et Milard, 2009). Tout se passe comme si l'avantage d'être le centre politique et institutionnel majeur pesait moins que par le passé, peut-être du fait d'une décentralisation progressive des institutions scientifiques et du rôle croissant des centres universitaires non liés à la capitale. L'Allemagne est un contre-exemple flagrant de cette tendance, avec une légère augmentation du poids de Berlin. Mais là le poids de la réunification et de la restructuration institutionnelle de l'Est de l'Allemagne a sans doute pesé.

Conclusion générale

Quel peut être l'apport de nos constatations pour la réflexion générale sur la constitution des espaces nationaux de la science ? Cette étude met en évidence des effets de structure sur la distribution de l'activité scientifique, où apparaît l'influence de très long terme des histoires institutionnelles sur la localisation de la recherche. On ne peut en effet comprendre les différences très considérables entre les pays où l'activité est très concentrée en peu de métropoles (Russie, France, Royaume-Uni) et ceux où le système scientifique est beaucoup plus polycentrique (Allemagne, États-Unis) qu'en analysant l'histoire du monde académique dans chacun de ces pays. Les structures présentes sont le résultat de la composition de plusieurs facteurs. La structure des systèmes urbains nationaux en eux-mêmes, dans le cas de l'Australie, du Royaume-Uni, du Japon ou de la France, fait qu'à un système des villes fortement hiérarchisé correspond un niveau de concentration de l'activité élevé. À l'inverse, l'Allemagne au système urbain polycentrique a un système scientifique également assez peu concentré. Les États-Unis sont sans conteste le cas le plus original, avec un décalage entre un système métropolitain très marqué et un réseau de villes scientifiques où le poids des grandes métropoles est finalement assez restreint.

Sur la période récente, nos résultats mettent en évidence deux tendances très importantes qui contredisent les discours les plus courants :

- une tendance à la déconcentration de la géographie de la production scientifique et à la diversification des villes qui y contribuent : de plus en plus de villes participent à la l'activité ;
- le maintien, voire le renforcement, des contextes nationaux pour les collaborations scientifiques.

À rebours des discours sur l'inéluctable concentration et la suprématie croissante des très grands pôles scientifiques, l'analyse bibliométrique menée à l'échelle mondiale pour la première fois et sur la base d'entités urbaines clairement identifiées, démontre

l'aplatissement graduel des hiérarchies entre les villes et la diversification des espaces de production du savoir, tant dans les pays en voie de développement rapide de leur système scientifique que dans ceux dont le système de recherche est plus anciennement établi.

De même, contrairement à la vision d'une science totalement globalisée, l'analyse systématique des réseaux de cosignataires d'articles démontre le maintien et parfois l'accroissement de l'importance des cadres nationaux. Ces réseaux de cosignataires montrent la coexistence d'échelles multiples de collaboration qui vont de l'intra-urbain (collaborations locales) à l'international en passant par le niveau national et macrorégional. Tous ces niveaux progressent aux dépens des articles écrits sans collaboration.

En combinant donc l'analyse de structure (répartition de l'activité) et l'analyse des évolutions récentes, on constate que l'impact des phénomènes d'échelle nationale reste très important, sans que cela bien sûr ne vienne contredire les tendances à l'internationalisation de l'activité scientifique. Logiques nationales, ancrages locaux dans les systèmes urbains et développement tous azimuts des collaborations ne sont donc, dans le paysage actuel, nullement incompatibles.

.

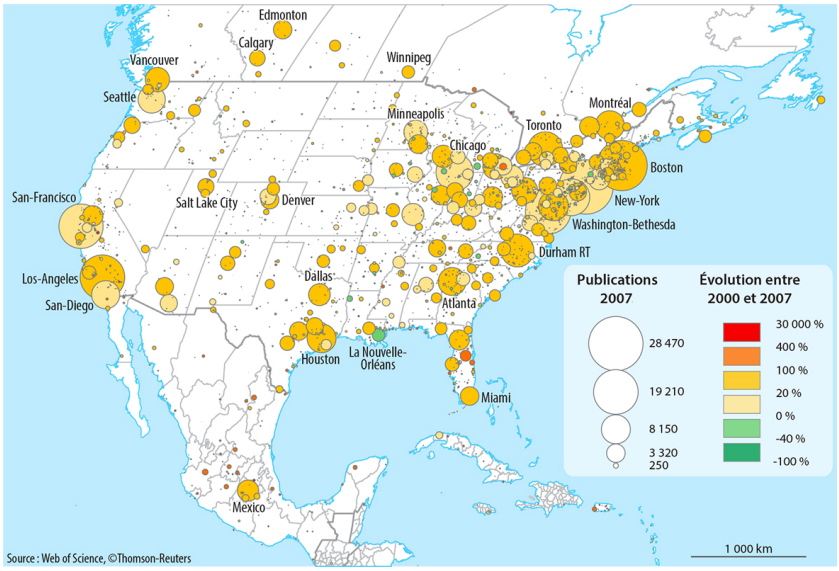


Figure 5 – Amérique du Nord

Commentaire : La carte de l'Amérique du Nord est écrasée par l'importance de la production des villes étasuniennes, qui cumulées pèsent 35 % du total mondial. La carte nous montre (et les statistiques de concentration métropolitaine le confirment) que le maillage du territoire des États-Unis par les villes scientifiques est très serré. Calée bien sûr dans ses grandes masses sur la distribution de la population dans les États (et du poids des villes des villes côtières), cette carte n'est pas néanmoins le reflet des grandes concentrations métropolitaines ou de la carte des universités connues mondialement : de multiples centres petits et moyens apparaissent, bien sûr dans le Centre-Est, mais aussi compris dans des États assez peu peuplés (notamment du Nord-Ouest : Nebraska, Wyoming, Montana…). Seul le Nevada a une distribution de la production scientifique réduite à sa plus simple expression et à deux ou trois centres. Le fait majeur est donc le caractère profondément polycentrique de la science américaine, pour de multiples raisons institutionnelles, où le caractère fédéral du pays joue un rôle important.

.

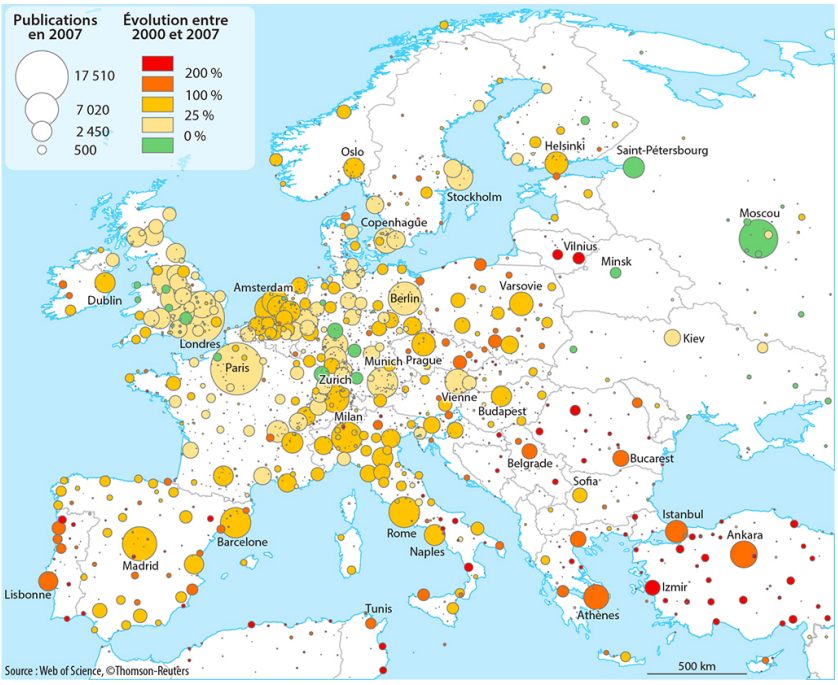


Figure 6 – Europe

Commentaire : La production scientifique en Europe suit largement l'organisation des systèmes urbains. On voit bien, malgré certains effets de concentration métropolitaine dans les grandes villes de quelques pays (France, Grèce, Espagne, surtout Russie), à quel point l'activité scientifique est multipolaire. Du point de vue de l'évolution sur la décennie, le cœur de l'Europe communautaire (avec la Suisse) est caractérisée par une évolution plutôt lente, tandis que les fortes croissances sont plutôt à voir dans les (Portugal, Turquie, nouveaux membres orientaux de l'UE). Ukraine, Russie, Biélorussie restent marquées par des évolutions beaucoup moins positives.

.

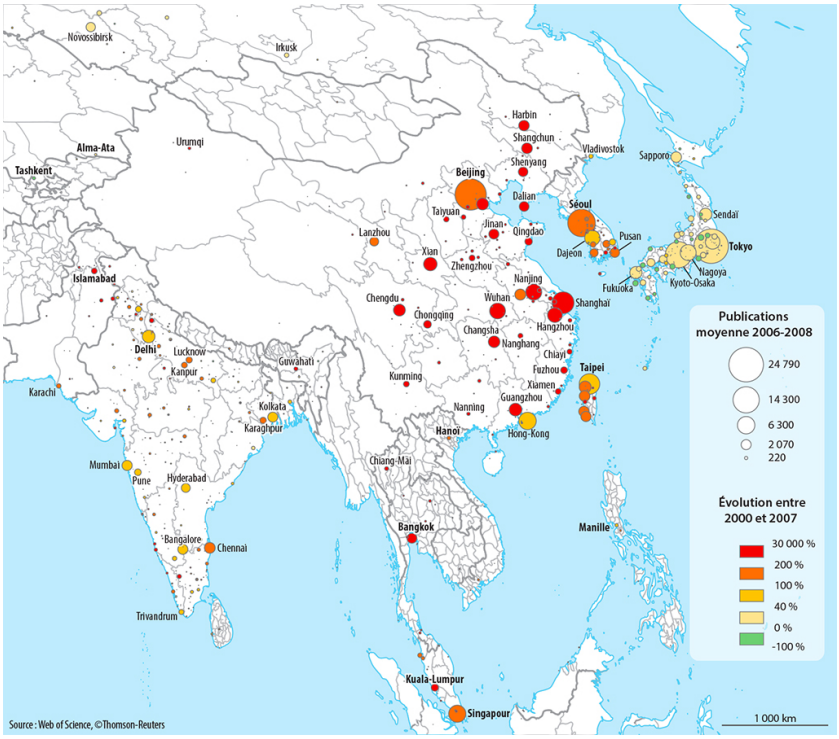


Figure 7 – Inde

Commentaire : L'Inde fait partie des pays asiatiques dont le système universitaire est ancien. Pays aujourd'hui « émergent », la croissance de la science n'y est néanmoins pas aussi rapide que dans quelques autres nations de la zone (Corée du Sud, Chine bien sûr). Ce qui frappe, c'est le caractère multipolaire de la carte scientifique : même si des métropoles connues sont bien identifiables (Delhi – Mumbai – Calcutta), plusieurs grands ensembles denses sont visibles (Penjab, Sud de l'Inde) et le maillage du territoire par des centres à l'activité significative est remarquable.

.

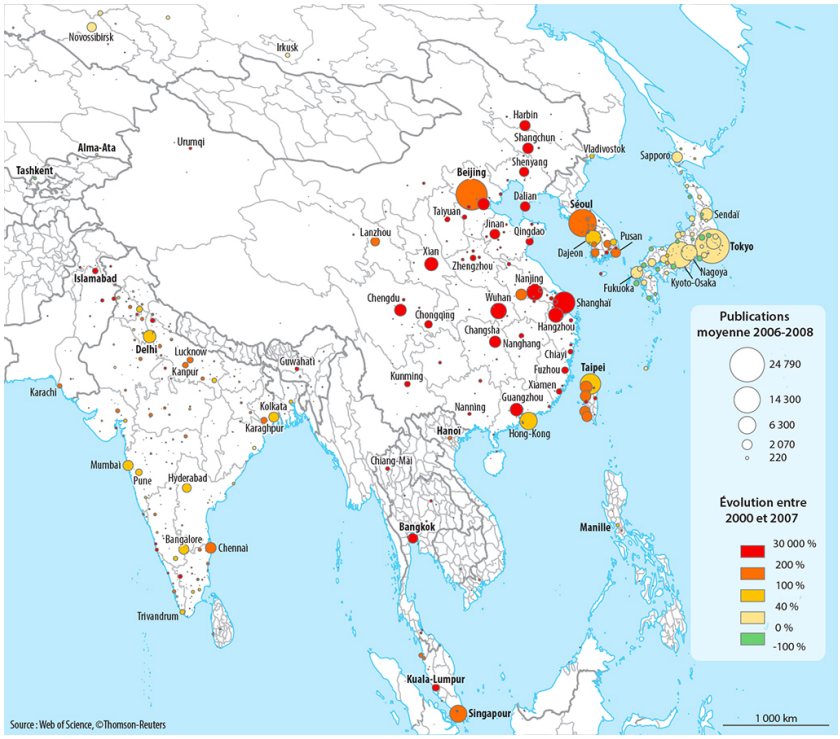


Figure 8 – Chine

Commentaire : On parle abondamment de la Chine, pays dont la croissance en général et singulièrement la croissance scientifique sont spectaculaires depuis plus d'une décennie. Ce que montrent les données de publication, c'est que la croissance des plus grands centres est plus lente que les centres secondaires ou plus petits encore. La répartition des articles chinois publiés dans le Wos, après avoir été très concentrée autour des années 1999-2000 dans 3 grands pôles scientifiques (Beijing, Shanghai, Hong Kong), est beaucoup plus fidèle à la distribution des grands centres métropolitains, le poids des capitales provinciales (qui sont généralement de très grandes villes) est nettement plus fort que 10 ans avant. La croissance et la déconcentration sont donc allées de pair.

.

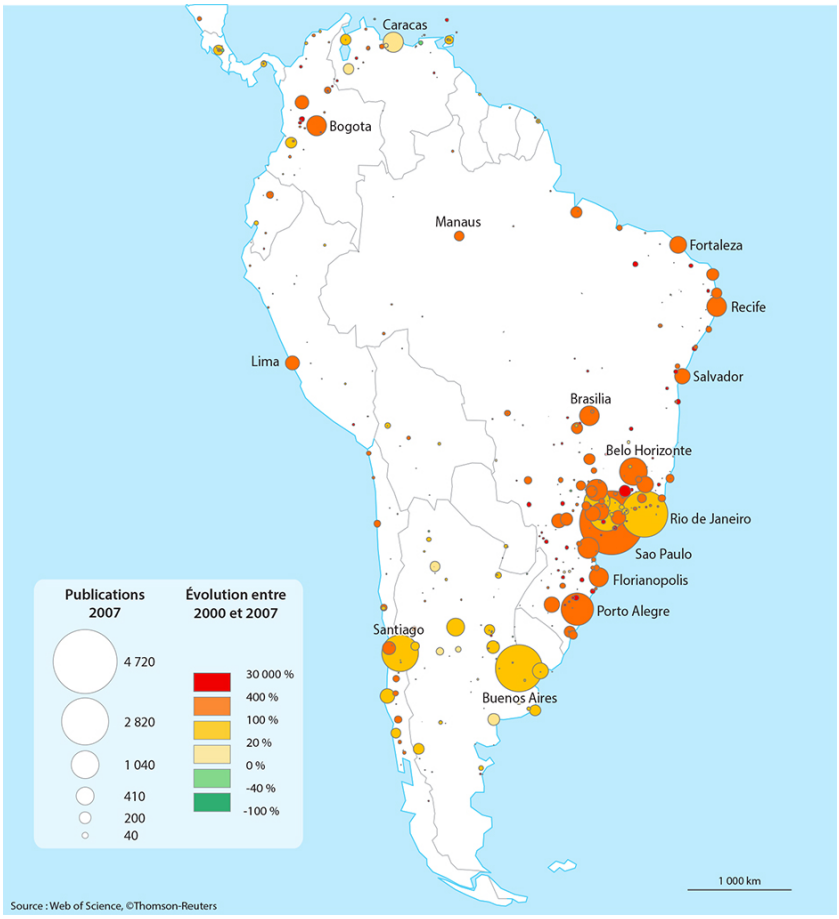


Figure 9 – Amérique du Sud

Commentaire : À l'échelle du continent sud-américain, la carte de la production scientifique est très discriminante, et aboutit à mettre en évidence trois pays : le Brésil, l'Argentine et le Chili, dans une moindre mesure la Colombie. Les systèmes scientifiques les plus développés sont à l'évidence polycentriques : c'est très visible pour le Brésil, où les principales métropoles (le duopôle Rio-Sao Paulo en particulier) voisinent avec un dense semis de centres scientifiques d'importance très diverse.

.

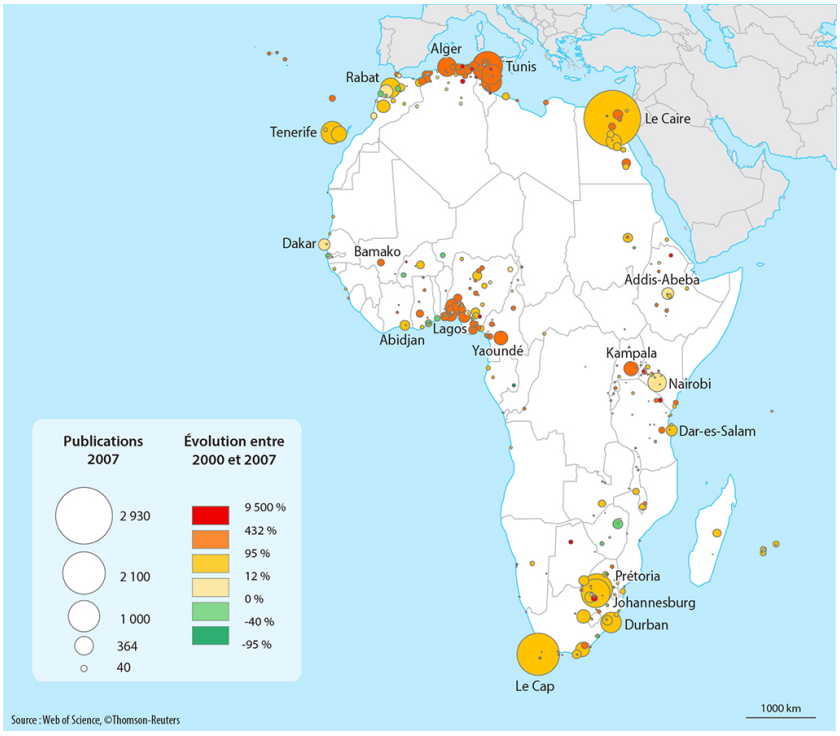


Figure 10 – Afrique

Commentaire : Le continent africain, zone de faible production scientifique dans l'ensemble, est aussi très segmenté entre quelques régions à activité notable (Afrique australe, Égypte, Maghreb, pays anglophones du Golfe de Guinée, dans une moindre mesure l'Afrique de l'Est) et de grands espaces où aucune ville ne se signale par une production scientifique quantitativement significative. La variété des organisations spatiales frappe également : à la situation très polycentrique au Nigeria (ou algérienne) s'oppose la concentration égyptienne.

Références

ADAMS, J., & PENDLEBURY, D. (2010). *Global Research report. United States*, Leeds, Thomson Reuters.

ARVANITIS, R., ECKERT, D., & JEGOU, L. (2012). La science au service de la puissance, in *Mondes émergents. Atlas 2012 du Monde Diplomatique*, p. 70-73

BLONDEL, V., GUILLAUME, J.-L., LAMBIOTTE, R., & LEFEBVRE, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics*, 2008 (10).

BONACCORSI, A., & DARAIO, C. (2005). Exploring size and agglomeration effects on public research productivity. *Scientometrics*, 63 (1), p. 87-120.

BORNMANN, L., LEYDESDORFF, L., WALCH-SOLIMENA, C., & ETTL, C. (2011). Mapping excellence in the geography of science : An approach based on Scopus data. *Journal of Informetrics*, 5 (4), p. 537-546.

ECKERT, D., BARON, M., & JEGOU, L. (2013). Les villes et la science : apports de la spatialisation des données bibliométriques mondiales. *M@ppemonde*, n° 111.

FORTUNATO, S. (2010). Community detections in graphs. *Physics and Society*, (486), p. 75-174.

FRAME, J. D., & CARPENTER, M. P. (1979). International research collaboration. *Social Studies of Science*, 9 (4), p. 481-497.

GAUFFRIAU, M., OLESEN LARSEN, P., MAYE, I., ROULIN-PERRIARD, A., & VON INS, M. (2008). Comparisons of results of publication counting using different methods. *Scientometrics*, 77/1.

GINGRAS Yves, 2014. *Les dérives de l'évaluation de la recherche. Du bon usage de la bibliométrie*, Paris, raisons d'agir.

GLANZEL, W. (2001). National characteristics in international scientific co-authorship relations. *Scientometrics*, 51 (1), p. 69-115.

GROSSETTI, M., LOSEGO, P. et MILARD B. (2009). La territorialisation comme contrepoint à l'internationalisation des activités scientifiques, in Philippe Laredo, Jean-Philippe Leresche et Karl Weber (dir.), *L'internationalisation des systèmes de recherche en action. Les cas français et suisse*, Lausanne, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, p. 281-300.

GROSSETTI, M., ECKERT, D., JEGOU, L., GINGRAS, Y., LARIVIERE, V., & MILARD, B. (2013a). Cities and the geographical deconcentration of scientific activity : A multilevel analysis of publications (1987-2007). *Urban Studies*, 51 (10), p. 2219-2234.

GROSSETTI, M., ECKERT, D., JEGOU, L., MAISONOBE, M., GINGRAS, Y., & LARIVIERE, V. (2013b). La diversification des espaces de production du savoir. *Ceriscope*. Sciences-Po CERI : http ://ceris cope.sciences-po.fr/puissance/content/part2/la-diversification-des-espaces-deproduction-du-savoir.

HOEKMAN, J., FRENKEN, K., & OORT, F. (2008). The geography of collaborative knowledge production in Europe. *The Annals of Regional Science*, 43 (3), p. 721-738.

HONG, W. (2008). Decline of the center : The decentralizing process of knowledge transfer of Chinese universities from 1985 to 2004. *Research Policy*, 37 (4), p. 580-595.

LARIVIERE, V, GINGRAS, Y, & ARCHAMBAULT, E. (2009). The decline in the concentration of citations, 1900 – 2007. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (4), p. 858-862.

LEYDESDORFF, L., & PERSSON, O. (2010). Mapping the Geography of Science : Distribution Patterns and Networks of Relations among Cities and Institutes.

LUUKKONEN, T., PERSSON, O., & SILVERSTSEN, G. (1992). Understanding Patterns of International Scientific Collaboration. *Science Technology and Human Values*, 17 (1), p. 101-126.

MATTHIESSEN, C. W., SCHWARZ, A. W., & FIND, S. (2010). World Cities of Scientific Knowledge : Systems, Networks and Potential Dynamics. An Analysis Based on Bibliometric Indicators. *Urban Studies*, 47 (9), p. 1879-1897.

SCHUBERT, A., & BRAUN, T. (1990). International collaboration in the sciences 1981 – 1985. *Scientometrics*, 19 (1), p. 3-10.

VAN ECK, N. J., & WALTMAN, L. (2009). How to Normalize Cooccurrence Data ? An Analysis of Some Well-Known Similarity Measures. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60 (8), p. 1635-1651.

WAGNER, C. S. (2008). *The New Invisible College : Science for Development*. Brookings Institution Press.

WALTMAN, L., VAN ECK, N. J., & NOYONS, E. C. M. (2010). A unified approach to mapping and clustering of bibliometric networks. *Journal of Infometrics*, 4 (4), p. 629-635.

ZHOU, P., & GLANZEL, W. (2010). In-depth analysis on China's international cooperation in science. *Scientometrics*, 82 (3), p. 597-612.

ZITT, M., BASSECOULARD, E., & OKUBO, Y. (2000). Shadows of the past in international cooperation : Collaboration profiles of the top five producers of science. *Scientometrics*, 47 (3), p. 627-657.