Zeitschrift: Geschichte und Informatik = Histoire et informatique
Herausgeber: Verein Geschichte und Informatik
Band: 18 (2015)

Artikel: Les mondes savants et leur visualisation, de l'antiquité à aujourd'hui
Autor: Andurand, Anthony / Jégou, Laurent / Maisonobe, Marion
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-685428

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

LES MONDES SAVANTS ET LEUR VISUALISATION, DE L'ANTIQUITÉ À AUJOURD'HUI

Anthony Andurand, Laurent Jégou,
Marion Maisonobe, René Sigrist

As a social activity dedicated to the production and diffusion of knowledge, science generates over time an extensive amount of material and documentary evidence, which can be analysed to explore the organization and dynamics of various scholarly worlds. The combination of spatial approach with social network analysis thus provides a relevant basis to capture the specific configuration and geography of scientific activities, from Plutarch's learned banquets to contemporary Web of Science.

La visualisation et le traitement de l'information scientifique ont connu des développements spectaculaires au cours des vingt dernières années. Les figures tracées à la main en 1994 par John F. Padgett et publiées récemment dans la revue REDES rappellent combien est récent le recours systématique à l'informatique pour le traitement de données quantitatives[1]. Aujourd'hui, nous disposons de logiciels spécialisés dans l'analyse et la visualisation des données, qui, manipulés avec une certaine expérience, produisent des résultats de grande qualité, tant sur le plan scientifique que sur celui de l'aspect visuel. Cette nouvelle dimension de la recherche pourrait susciter des inquiétudes. Il ne faudrait pas que le passage par la visualisation devienne une coquetterie, mais au contraire qu'il soit un outil de l'analyse et de l'argumentation. Il existe désormais, pour répondre à cette nécessité, des experts en visualisation d'informations. Un exemple: Jean-Daniel Fekete (INRIA) travaille avec des chercheurs de différentes disciplines pour affiner les usages possibles des logiciels et effectuer les meilleurs choix en matière de visualisation des données[2]. Ce processus est incontournable quand le volume de données à analyser dépasse l'entendement (on parle alors de *big data*). L'image offre dans ce cas un moyen de synthétiser l'information en la simplifiant. Visualiser sur un plan en deux dimensions oblige en effet à sacrifier certaines dimensions. Récemment, l'engouement des physiciens, informaticiens et autres spécialistes des systèmes complexes pour les *big data* a contribué à améliorer la prise en compte simultanée du temps et de l'espace. Ainsi, à titre d'exemple, la modélisation spatio-temporelle est l'objet d'un nombre croissant de thèses (42 thèses ont pour mot-clef « modélisation spatio-temporelle », en France, en 2006–2007, contre 294, en 2011–2012[3]).

À côté de ces récents progrès, la référence en matière de sémiologie graphique, y compris pour les informaticiens comme Jean-Daniel Fekete, reste Jacques Bertin, cartographe de formation. C'est d'ailleurs un peu grâce à lui que les géographes sont parmi les chercheurs en sciences sociales les plus sensibilisés aux questions de visualisation. Les géographes s'intéressent d'autant plus à la géo-visualisation qu'il existe de nouveaux moyens informatiques adaptés à leurs besoins, au sein d'un domaine de recherche à part entière, qui propose des méthodes de représentation efficaces et innovantes[4]. Aussi l'intérêt pour la visualisation touche-t-il maintenant d'autres sciences sociales. Avec le tournant quantitatif en sociologie et en histoire, et le développement de logiciels d'analyse de réseaux, l'intérêt pour la visualisation des données dans ces disciplines a gagné en importance[5]. L'analyse des réseaux et son pendant mathématique, la théorie des graphes, sont des domaines de recherche qui permettent de scruter des données relationnelles. Puisque nous y avons recours dans les pages qui suivent pour appréhender des communautés savantes, nous en proposons d'emblée une brève définition.

Les tenants de l'analyse de réseau appellent « réseaux » les graphes produits à partir des données du monde réel. En mathématiques, un graphe est un ensemble de points qui peuvent être reliés entre eux. Un graphe admet plusieurs types de représentations parmi lesquelles la représentation matricielle et le diagramme nœuds-liens. Ce dernier est le mode de visualisation privilégié par les analystes de réseaux. Les lignes symbolisent alors les relations. Elles sont plus ou moins épaisses, orientées ou non au moyen d'une flèche, et relient entre eux des points qui symbolisent les unités de base de l'analyse : cas, éléments ou individus. Le graphe est un objet mathématique. Le chercheur qui juge intéressant d'extraire un graphe à partir des données relationnelles dont il dispose postule que la structure du phénomène capturé par ses données peut le renseigner sur la nature de ce phénomène. En ce sens, rien n'oblige à ce que les points du diagramme ou « nœuds » soient des individus, et les lignes ou « liens », la matérialisation des rapports interpersonnels qu'ils partagent à un temps donné. Au contraire, les graphes sont utilisés dans un grand nombre de disciplines différentes, pour analyser une pluralité de phénomènes. Aussi, quand on choisit de se focaliser sur la dimension temporelle d'un phénomène, est-il tout à fait permis de définir un graphe qui, à rebours de ceux auxquels on est habitué, décrit les relations entre des événements dans le temps ou bien des changements d'état[6].

Le phénomène qui a mobilisé notre attention dans cet article est celui des communautés savantes. À divers moments de l'histoire, on repère des traces de communications et de relations entre les détenteurs de savoir. Celles-ci peuvent être analysées et interprétées comme révélateurs des « mondes savants ». On désigne par « mondes savants » les espaces où s'organisent la production et la circulation des idées, des savoirs et des savoir-faire scientifiques. Cette organisation n'étant pas gravée dans le marbre, l'image d'un « collège invisible » a été suggérée pour la désigner. Cette formulation, dont les premières occurrences remontent au XVIIe siècle[7] a été remise au goût du jour par Diana Crane dans les années 1970 ; elle est régulièrement mobilisée aujourd'hui pour faire référence à la globalisation de l'activité scientifique. Caroline Wagner, notamment, l'utilise dans son récent ouvrage *The New Invisible College*, où elle défend l'idée d'une certaine autonomisation du chercheur vis-à-vis des cadres institutionnels traditionnels que sont les États[8]. Son raisonnement s'appuie sur l'hypothèse que les savants du XVIIe siècle s'associeraient librement, de façon informelle, à une époque où le niveau d'institutionnalisation de l'activité scientifique était limité. Une telle lecture des faits mériterait d'être approfondie, de même que le postulat selon lequel le monde scientifique contemporain se rapprocherait de cet état[9]. Mais tel n'est pas ici le propos. En travaillant sur des corpus de données issus de trois

époques différentes, nous souhaitons rendre compte de trois mondes scientifiques à géométrie variable, préciser leur organisation spatiale et en repérer les logiques, y compris institutionnelles. Pour chaque jeu de données, on expliquera les choix opérés et la démarche adoptée pour produire une visualisation évocatrice du phénomène étudié. L'objectif final est de mettre en regard trois photographies de mondes savants prises à des moments très éloignés les uns des autres dans l'histoire, en faisant le pari que la visualisation comparée fournira un surcroît d'intelligibilité au niveau heuristique et herméneutique.

Ajoutons encore quelques mots sur l'utilité de la carte et du diagramme nœud-liens pour représenter les informations disponibles. Aux trois époques considérées, l'activité savante est localisable, d'où le recours à la cartographie. Par ailleurs, chaque chercheur disposant d'informations relationnelles dans son corpus de travail, un mode de visualisation non spatialisé des relations peut également se justifier. Pour analyser la structure ou l'organisation d'un monde, la visualisation cartographique, qui tient compte de la distance physique entre lieux dans l'espace géographique, n'est pas la seule qui soit digne d'intérêt[10]. L'intensité de la relation entre les lieux ou les individus peut aussi servir de métrique pour la représentation. C'est justement ce que permet de réaliser le diagramme nœuds-liens en donnant une image simplifiée de la structure relationnelle étudiée. Pour résumer, avec les cartes, on se propose de comparer la répartition spatiale de l'activité savante à trois époques différentes et avec les diagrammes nœuds-liens, d'analyser l'organisation de l'activité savante aux trois époques envisagées[11].

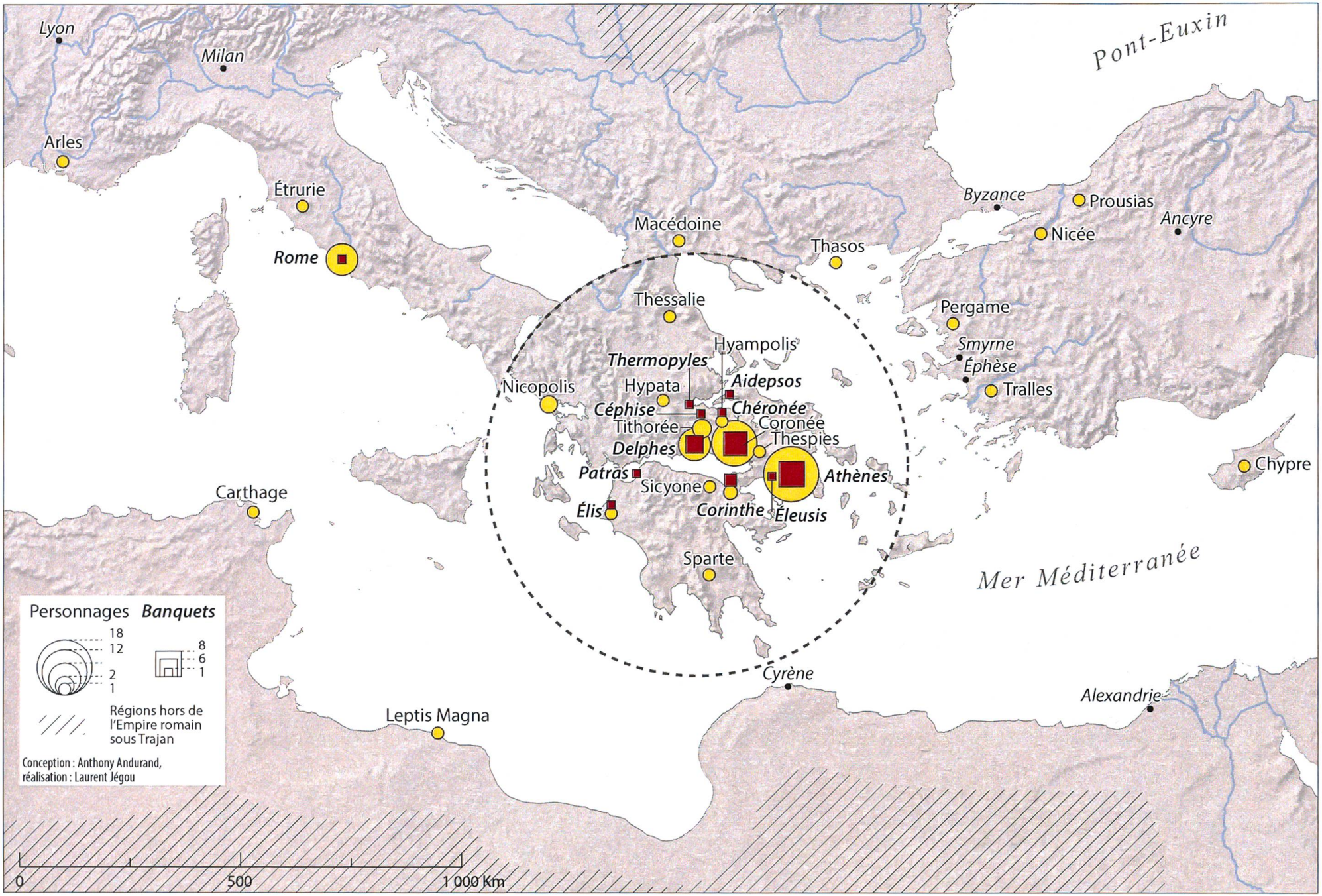
Le monde plutarquéen des banquets savants : essai d'approche spatiale

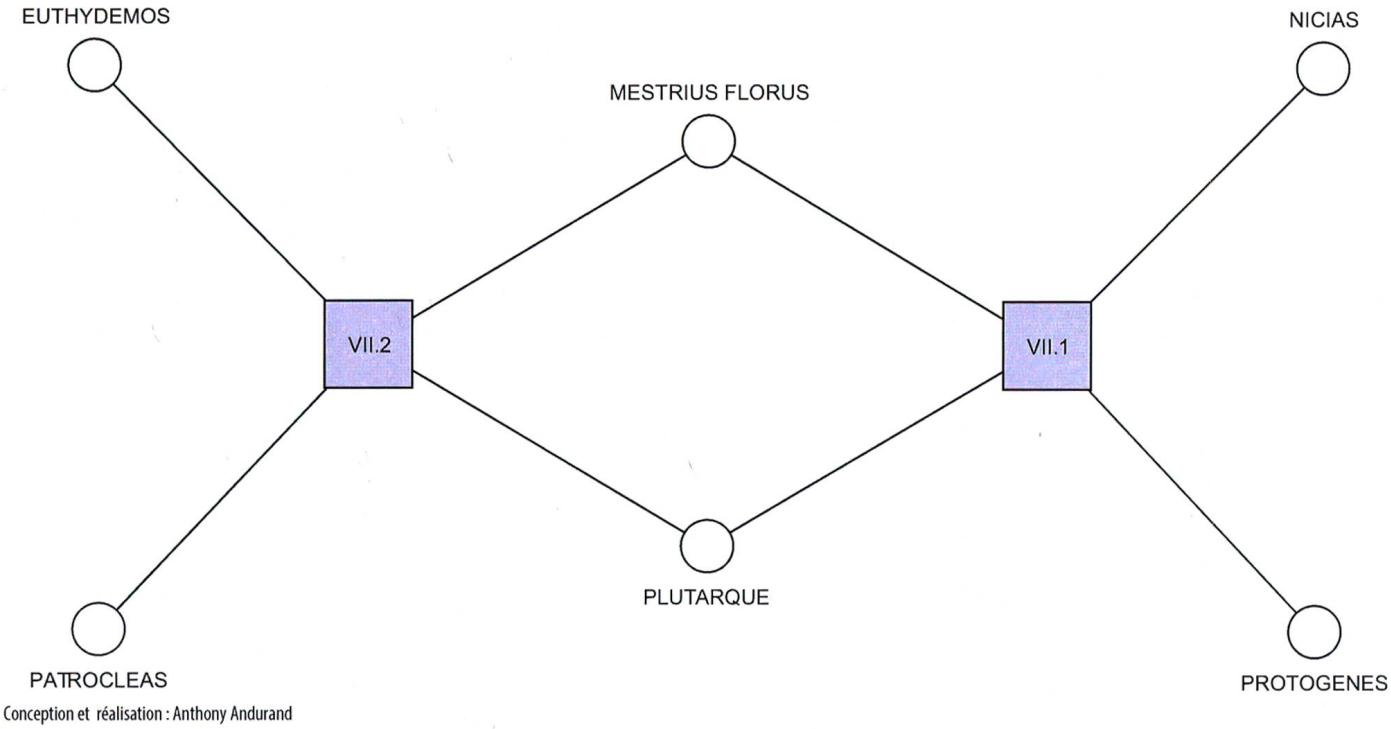
Quelle place et quel rôle les réseaux culturels de l'hellénisme occupent-ils dans la formation d'un Empire « gréco-romain », cette première expérience de globalisation que Paul Veyne a définie comme « fait de culture grecque et de pouvoir romain[12] » ? Dans quelle mesure l'héritage et les traditions helléniques participent-ils de l'épanouissement, sous l'autorité de Rome et à l'échelle de la Méditerranée, d'une *koinè* culturelle, envisagée comme le langage commun des milieux lettrés et des cultures de l'Empire ? Pour interroger, sur le terrain des mondes savants, l'impact de ces phénomènes, le parcours et l'œuvre de Plutarque (*ca.* 46–125 ap. J.-C.) constituent un champ d'investigation privilégié. Par ses écrits autant que par sa pratique d'érudit et de notable, le philosophe apparaît comme le témoin et l'artisan de la rencontre entre Rome et l'hellénisme, et de l'unité de civilisation dont elle est porteuse aux Ier et IIe siècles ap. J.-C. L'itinéraire de ce savant, grec de naissance et de culture, est directement lié au destin de Rome, et s'inscrit dans cet espace mobile et ouvert que forme l'empire des Flaviens et des Antonins. Si Plutarque demeure toute sa vie attaché à sa patrie de Chéronée, où il choisit de résider « afin qu'elle ne devienne pas plus petite encore » (*Vie de Démosthène*, II.2), son activité d'érudit et les responsabilités politiques dont il assume la charge l'amènent à fréquenter, dès sa prime jeunesse, les hauts-lieux de l'hellénisme (Corinthe, Athènes, Delphes) et les grands centres culturels de l'Empire (Alexandrie, Asie Mineure). Il intègre également, lors de séjours romains, les cercles les plus proches du pouvoir impérial. Son parcours et son œuvre se situent ainsi à la croisée de l'hellénisme, dont le philosophe s'applique à entretenir la mémoire vivante et la prééminence, et de la collaboration active à la paix romaine. Ils témoignent, dans le même temps, d'une intense activité savante et sociale, nourrie par « la vie intellectuelle de l'Empire entier[13] » et inscrite dans les cercles de sociabilité, lettrés et politiques, de son temps.

De cet aspect de l'activité du philosophe rendent compte, mieux qu'aucune autre œuvre du corpus plutarquéen, les *Propos de table* (*Sumposiaka*). Rédigé dans les premières années du IIe siècle ap. J.-C., ce texte se présente comme un recueil de souvenirs, composé à la demande d'un ami romain, Sosius Sénécion, dédicataire de l'œuvre. Les *Propos de table* se proposent, selon le programme esquissé dans le prologue initial, de consigner par écrit « toutes les discussions qui ont pu avoir lieu tant chez vous autres à Rome que chez nous en Grèce, quand les tables étaient dressées et quand les coupes circulaient » (612E). Profondément imprégnée des pratiques culturelles et des traditions littéraires liées à la sphère du banquet, cette œuvre, par ailleurs – et c'est là tout son intérêt dans la perspective d'une histoire de la sociabilité et des réseaux savants

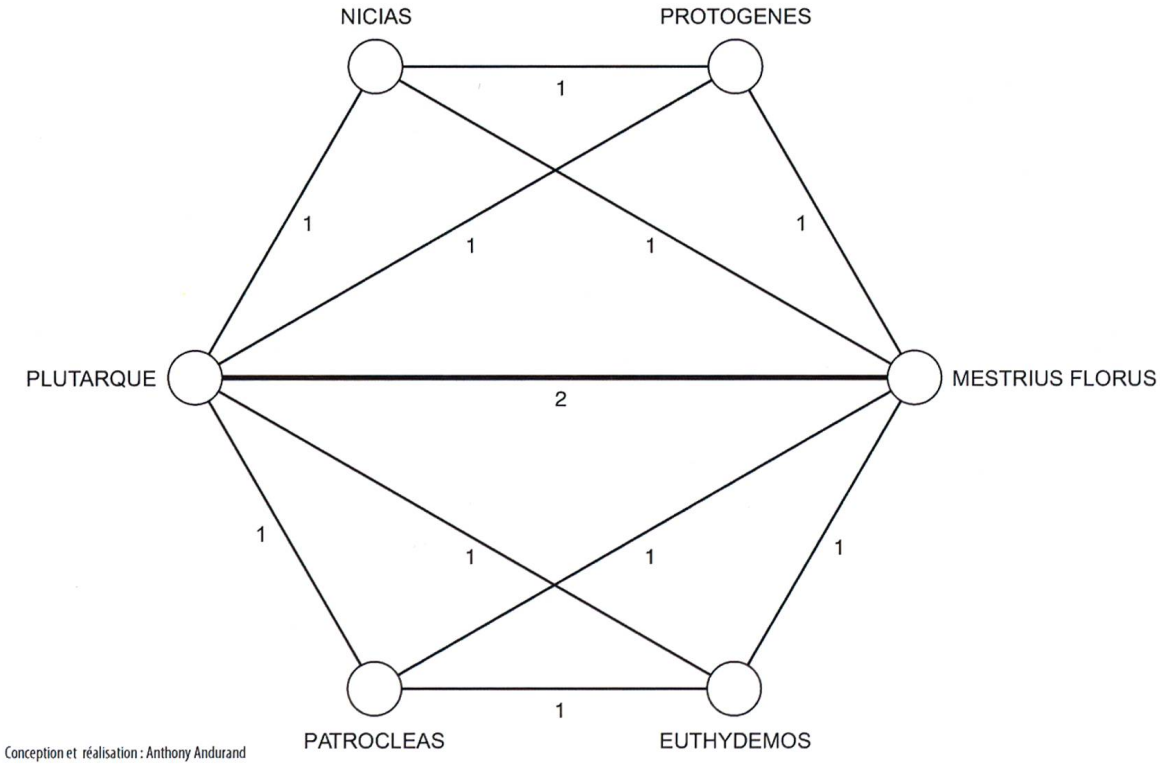
de l'époque impériale –, puise directement son inspiration dans l'expérience de l'auteur. De façon plus riche et plus vivante encore que d'autres textes du corpus plutarquéen, les *Propos de table* mettent en scène les personnages qui composent le « cercle[14] » de Plutarque, ce groupe de familiers, de philosophes, d'artistes, de notables et de hauts dignitaires de l'Empire, se réunissant à l'occasion de moments de convivialité, à la manière d'une « petite université où tous se sentent à l'aise[15] ». Si l'évocation de ces réunions, dans une atmosphère intimiste et chaleureuse, placée sous le signe de la « mise en commun » (*koinônia*) des savoirs et des plaisirs, s'appuie, pour une part difficile à évaluer, sur la mémoire de l'auteur – on sait notamment que Plutarque conservait soigneusement des notes (*hupomnêmata*) de ses échanges et de ses lectures –, elle n'exclut aucunement, loin s'en faut, le recours aux stratégies et aux procédés de la fiction. Puisant dans l'imagination livresque et encyclopédique du philosophe, la mise en récit des banquets et des conversations cultivées auxquels ils donnent lieu fait des *Propos de table* une véritable polyphonie savante, où la distribution des rôles et de la parole, l'agencement des questions et des réponses, la circulation des savoirs et des traditions sont réglés par une habile scénographie.

Le monde plutarquéen des banquets savants, dont la CARTE 1 entend proposer une vue synoptique, forme, pour ainsi dire, un « petit monde ». Il fait intervenir 89 individus se réunissant, à intervalles réguliers et par petits comités, lors de 56 banquets donnés dans plusieurs cités de ce qui forme alors la province d'Achaïe[16]. Les recherches prosopographiques[17] menées dans le champ des études plutarquéennes ont permis d'affiner la connaissance des personnages mis en scène dans les *Propos de table* (confirmant ainsi, dans bien des cas, la fiabilité de l'information transmise dans cette œuvre). Si, pour 23 d'entre eux, connus par leur seule présence dans le texte plutarquéen, les éléments biographiques dont dispose l'historien se résument à un nom, 66 peuvent être rattachés à une cité ou, à défaut, à une région[18]. Ce travail de localisation des personnages permet un premier niveau d'agrégation des données : la surface des points identifiés sur la carte est proportionnelle au nombre d'individus par lesquels la cité ou région concernée est représentée dans les *Propos de table*. La représentation des données relatives aux banquets obéit à une même logique : si l'absence totale ou l'insuffisance, dans l'œuvre, d'éléments de contextualisation ne permettent pas d'établir avec assurance la localisation de 25 réunions, 31 d'entre elles peuvent en revanche être placées sur une carte.


Lyon
Milan
Arles
Étrurie
Rome
Carthage
Leptis Magna
Pont-Euxin
Byzance
Prousias
Ancyre
Nicée
Macédoine
Thasos
Thessalie
Pergame
Smyrne
Éphèse
Tralles
Hyampolis
Thermopyles
Aidepsos
Nicopolis
Hypata
Céphise
Chéronée
Tithorée
Coronée
Thespies
Delphes
Patras
Athènes
Sicyone
Élis
Corinthe
Éleusis
Sparte
Chypre
Mer Méditerranée
Cyrène
Alexandrie
Personnages
Banquets
18
12
2
1
8
6
1
Régions hors de l'Empire romain sous Trajan
Conception : Anthony Andurand, réalisation : Laurent Jégou
0
500
1 000 Km



GRAPHE 1

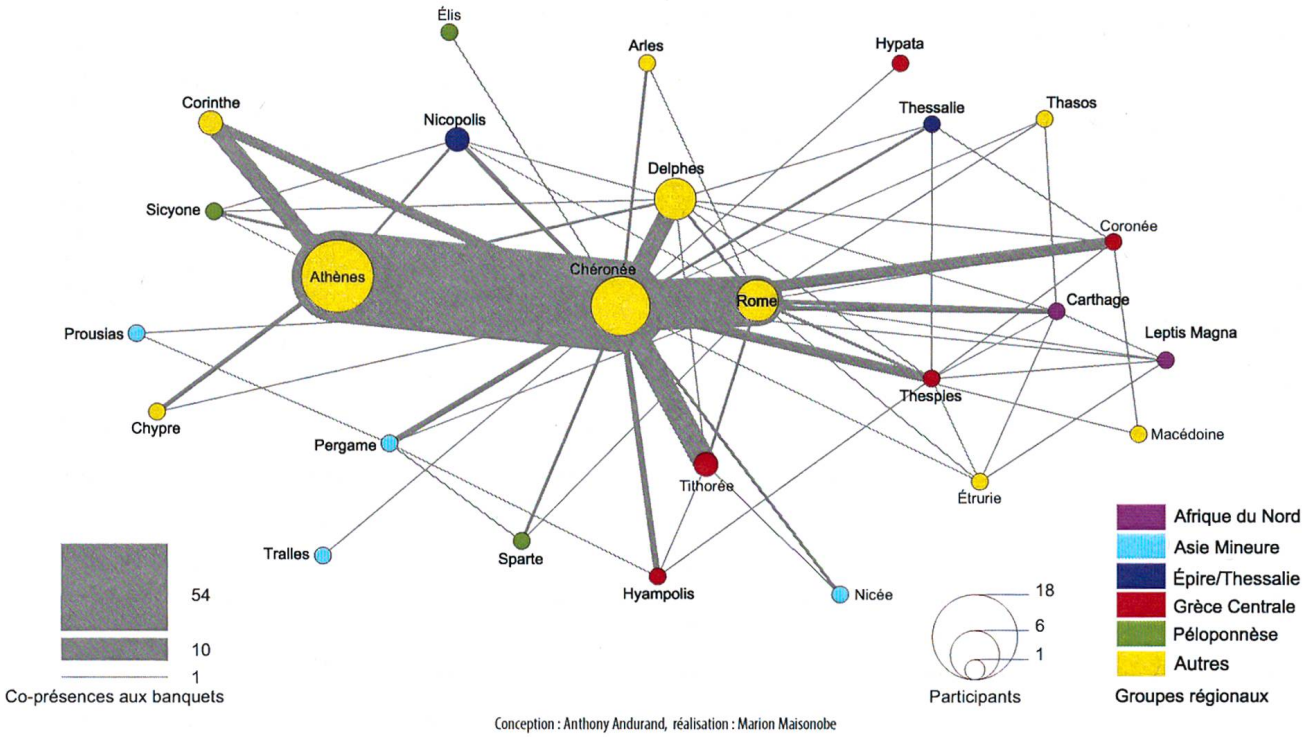


GRAPHE 2

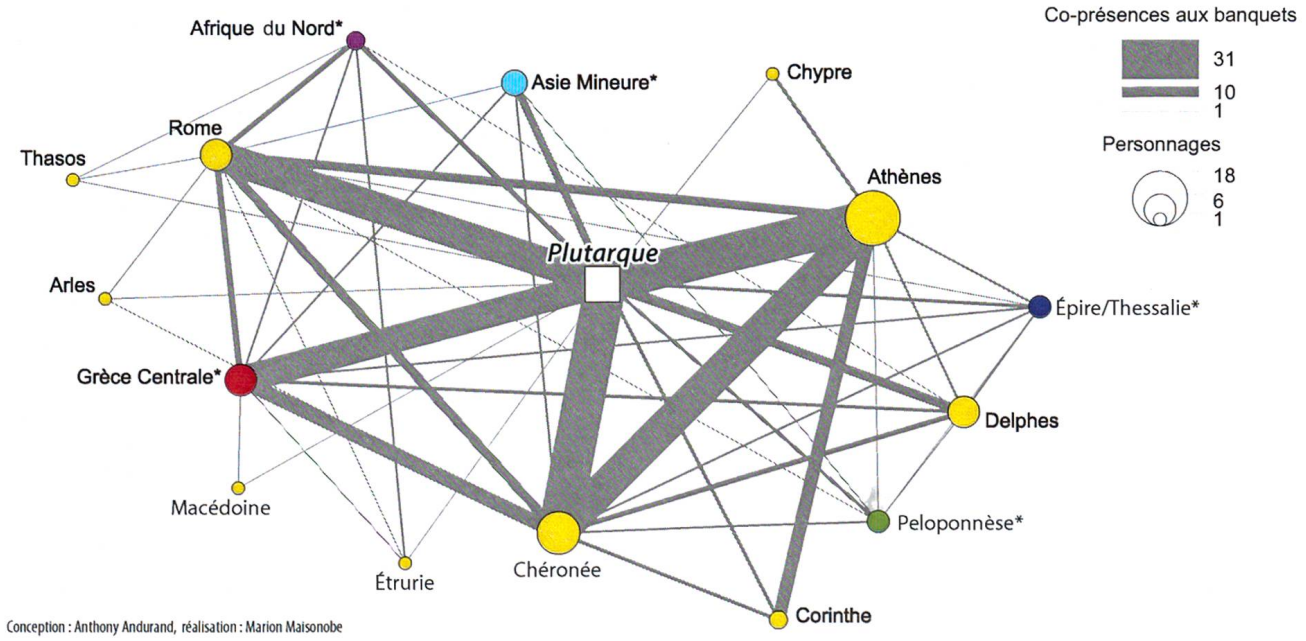
← **CARTE 1**
Répartition géographique des personnages et des banquets

GRAPHE 1
Réseau bipartite de fréquentation (banquets VII.2 et VII.1)

GRAPHE 2
Réseau unipartite de fréquentation (banquets VII. 1 et VII.2)



GRAPHE 3
Réseau de fréquentation des cités



GRAPHE 4
Réseau de fréquentation des cités et groupes régionaux

Comment ressaisir et représenter, pour éclairer cette répartition géographique, les dynamiques relationnelles qui structurent, dans la trame narrative des *Propos de table*, l'univers plutarquéen des banquets savants? Pour ce faire, nous nous proposons de mobiliser les outils de modélisation et de visualisation propres à l'analyse des réseaux sociaux. Abordés sous l'angle des lieux ou des personnages qu'ils mettent en relation, les récits de banquets réunis dans les neuf livres des *Propos de table* permettent en effet de construire, selon le critère retenu, plusieurs réseaux de convivialité[19]. Nous avons choisi de nous intéresser ici, dans une démarche attentive aux logiques spatiales qu'il dessine, au réseau de fréquentation décrit par l'œuvre plutarquéenne.

L'élaboration de ce réseau s'effectue en plusieurs moments. La première étape consiste à associer chacun des personnages au(x) banquet(s) au(x)quel(s) il prend part, selon la logique décrite sur le GRAPHE 1 pour les deux premiers banquets du livre VII.

L'opération est répétée pour l'ensemble des banquets, afin d'obtenir un réseau bipartite (*two-mode network*) complet.

La deuxième opération consiste à transformer ce réseau bipartite en un réseau unipartite (*one-mode network*). Le réseau ainsi obtenu, dont la logique est illustrée par le GRAPHE 2, n'associe plus désormais que des personnages, reliés par ce que nous proposons d'appeler des liens de « co-présence » : deux personnages sont reliés s'ils participent à un même banquet; la valeur du lien qui les unit correspond au nombre de co-présences enregistrées pour l'ensemble des banquets.

L'étape suivante vise à intégrer dans le réseau de fréquentation les données liées à la localisation des personnages. La représentation qui en résulte (GRAPHE 3) décrit les liens de co-présence qui unissent les cités ou régions auxquelles les personnages ont été associés sur la CARTE 1. La surface des sommets est proportionnelle au nombre de personnages par lequel chaque cité ou région est représentée dans les *Propos de table*. La valeur du lien qui unit deux sommets correspond au nombre cumulé de co-présences enregistrées, pour l'ensemble des banquets, entre deux personnages appartenant aux cités ou régions concernées. Les données liées aux personnages dont la cité ou région d'origine n'est pas connue ne sont pas prises en compte. Attentif aux relations qui unissent les différents cercles de sociabilité présents dans les *Propos de table*, nous n'avons pas inclus dans ce graphe les « boucles », c'est-à-dire les liens de co-présence qui concernent deux personnages issus d'une même cité ou région[20]. Le jeu des couleurs, enfin, permet d'identifier le groupe régional auquel il est possible de rattacher certains sommets, en vue de l'agrégation des données.

Le dernier graphe (GRAPHE 4) vise à affiner la représentation, au moyen de deux opérations. Les sommets associés à un même groupe régional sur le précédent graphe ont été réunis. Le personnage de Plutarque, par ailleurs, comme narrateur de l'œuvre et seul personnage à prendre part à l'ensemble des banquets, a été extrait du cercle chéronéen pour constituer un sommet à part entière, dans le but de faire apparaître les liens de co-présence qu'il partage avec les différents groupes intervenant dans les *Propos de table*.

Les GRAPHES 3 et 4, que l'on mettra en regard de la carte 1, offrent ainsi une visualisation synthétique des logiques spatiales qui structurent l'univers plutarquéen des banquets savants, tel qu'il s'inscrit, à travers le regard et les choix d'énonciation du philosophe, dans la matière textuelle des *Propos de table*. Ces représentations sont destinées à en éclairer l'organisation, en termes de répartition géographique et de dynamiques relationnelles.

Quels sont les principaux enseignements que l'on peut en tirer? La communauté savante mise en scène dans l'œuvre de Plutarque évolue dans un monde à la fois ouvert sur les différentes régions de l'Empire romain, de l'Asie Mineure à l'Afrique du Nord[21], et profondément enraciné dans le microcosme des cités d'Achaïe. Sur cette toile de fond, qui articule le très local à un horizon plus vaste, deux groupes se détachent nettement: réunis par de forts liens de fréquentation[22], le cercle chéronéen, essentiellement formé par les familiers et les disciples de Plutarque, et le cercle athénien, plus « intellectuel » dans sa composition, se présentent comme les pôles structurants de l'espace de sociabilité configuré dans les *Propos de table*. De ces deux groupes, cependant, seul le premier étend significativement ses relations à l'ensemble régional formé par les cités de Grèce centrale, au sein duquel Delphes, aux côtés de cités comme Tithorée ou Coronée, occupe une place de premier plan. La cité de Corinthe, centre administratif de la province d'Achaïe, semble en revanche quelque peu en retrait.

Fort cohésif, ce premier cercle de la sociabilité plutarquéenne, centré sur la région comprise entre Athènes et les Thermopyles, intègre partiellement dans son réseau de convivialité d'autres composantes des mondes grecs, comme les cités d'Asie Mineure, du Péloponnèse ou les régions situées au nord de la Grèce (Épire, Thessalie, Macédoine). Plus ponctuellement représentées dans les *Propos de table*, les cités ou régions situées dans la partie occidentale de l'Empire romain (Carthage, Leptis Magna, Arles, Étrurie) ne s'insèrent que marginalement – et, dans la plupart des cas, par l'intermédiaire de Plutarque – dans la société grecque des banquets savants, et semblent davantage tournées vers Rome[23]. Dans

cette configuration, enfin, l'*Urbs*, centre du pouvoir politique, occupe une position singulière: par ses fréquentations et malgré l'éloignement géographique, le groupe romain est comme intégré dans les réseaux culturels de l'hellénisme[24], dont les références, les codes et les pratiques façonnent le modèle élaboré dans les *Propos de table*.

Ce sont les dynamiques de cette mise en scène littéraire, précisément, que l'exercice de formalisation réalisé dans cette présentation vise à explorer. Les supports de visualisation qu'il mobilise, par conséquent, ne peuvent être conçus que comme un outil, au service de la compréhension de l'œuvre plutarquéenne et du contexte historique dans lequel elle s'insère. Si une telle démarche permet d'approcher le fonctionnement des cercles de sociabilité qui composent le microcosme plutarquéen, elle soulève, dans le même temps, la question de l'écart qui sépare la configuration effective de ces réseaux et leur représentation dans le champ littéraire. Elle invite donc à interroger, à partir d'autres éclairages documentaires (correspondances, recueils biographiques, témoignages autobiographiques) et dans d'autres contextes, les stratégies et les traditions qui sous-tendent, dans l'Empire des premiers siècles de notre ère, l'écriture de la sociabilité et des relations savantes.

Les communautés de chimistes de la période 1810–1860

Le deuxième champ à partir duquel nous nous proposons d'aborder les questionnements liés à la visualisation des mondes savants et de leurs modes de structuration est celui de la chimie européenne du XIXe siècle. Comme discipline, la chimie est une quête relativement ancienne. Faut-il remonter à l'*Alchemia* d'Andreas Libavius (1597), premier traité moderne de chimie? Ou invoquer Paracelse (1493–1541), l'inventeur du terme même de *chimie*? Quoi qu'il en soit, la nécessité de classer les ouvrages relatifs à cette science a facilité l'identification de la discipline, dans et en dehors des bibliothèques. Aucune nécessité semblable n'existant pour le chimiste, il est plus difficile encore de dire quand celui-ci a véritablement acquis droit de cité. Pendant longtemps, la pratique de la chimie fut d'ailleurs une affaire de médecins et de pharmaciens, ou alors d'« artistes », ingénieurs des mines, métallurgistes, essayeurs, teinturiers, verriers, « distillateurs », ou encore potiers. C'est sans doute au cours du XVIIe siècle, en marge de la « Révolution scientifique », qu'apparaît le terme de « savant chymiste » qui, contrairement à l'alchimiste, ne fait pas mystère de son savoir et s'efforce de fonder ses spéculations sur des observations et des expériences. Quelques-uns de ces savants trouvent bientôt à s'employer au Jardin du Roi à Paris, ou dans des manufactures de

glaces et de porcelaine allemandes. D'autres figurent parmi les premiers membres de l'Académie des sciences de Paris, fondée en 1666. Lors de sa réorganisation en 1699, cette académie réserve même l'une de ses six sections aux chimistes. Mais cela ne les distingue guère du reste de la corporation des académiciens, qui dans certains pays intègre même des hommes de lettres, principalement des érudits et des représentants des sciences morales et politiques[25]. Tout au long du XVIIIe siècle, le chimiste demeure un technicien, célébré par l'*Encyclopédie*, à moins qu'il ne s'identifie, à l'exemple de Lavoisier, au savant académicien, au « learned gentleman », au « Gelehrter » et finalement à tous les individus qui se reconnaissent dans l'idéal de libre collaboration de la République des lettres. En tant que spécialiste de l'étude de la matière, il n'acquiert une identité propre que dans le dernier quart du siècle, lorsque se généralise l'usage du substantif « chimiste », en même temps d'ailleurs que ceux de naturaliste, physicien ou botaniste[26].

Au-delà du cas particulier des chimistes, ces incertitudes terminologiques traduisent la difficulté éprouvée par les contemporains à se représenter la communauté des savants, dans son ensemble d'ailleurs aussi bien que dans ses différentes subdivisions[27]. L'historien peut-il être plus précis ? Les outils cartographiques et informatiques dont il dispose, et qui lui permettent de développer des analyses de réseaux, sont-ils en mesure de décrire l'émergence des communautés de chimistes des XVIIIe et XIXe siècles, et d'en caractériser la structure ? C'est ce que nous allons voir.

Les premiers chimistes modernes (1700–1890) : définition d'un corpus

Il n'y a guère que trois manières d'esquisser les contours de la communauté naissante des chimistes, comme de n'importe quelle autre communauté savante : s'appuyer sur l'opinion des contemporains, sur celle des historiens ou sur une combinaison des deux. L'opinion des contemporains s'est sans doute le mieux exprimée à travers les élections académiques, celle des historiens à travers les dictionnaires et les index biographiques. Dans chaque cas, la pertinence du critère de sélection dépendra de sa capacité à produire un échantillon représentatif, mais aussi analysable sur la base de documents accessibles.

Déjà utilisé dans les années 1870 et 1880 par Alphonse de Candolle[28], l'un des pionniers de la sociologie des sciences, le critère académique se justifie à la fois par l'importance du mouvement académique dans le développement de la science occidentale du XVIIIe siècle[29] et par la persistance de ce système comme mode de reconnaissance des mérites scientifiques au cours du XIXe. Nous avons montré, dans un précédent article, qu'un

recensement des savants affiliés aux six principales académies de l'époque (Londres, Paris, Berlin, Saint-Pétersbourg, Stockholm, Bologne) donnait une image assez fidèle des forces vives de la science européenne de la fin du XVIIIe siècle[30]. Ce résultat n'est guère surprenant dans la mesure où les grandes académies du XVIIIe siècle étaient effectivement les véritables foyers du progrès scientifique et de la collaboration entre chercheurs, à une époque où les universités, prioritairement chargées de transmettre une vision cohérente du monde, demeuraient soumises à des contrôles religieux. C'est d'ailleurs en grande partie au sein des académies, et particulièrement des grandes académies royales, que s'est forgée l'identité sociale du savant. Chaque État, voire chaque province digne de ce nom, se devait alors d'avoir son académie[31]. La forme prise par celle-ci était néanmoins différente dans les monarchies absolues (France, Prusse, Russie), dans les monarchies tempérées (Grande-Bretagne, Suède) ou les républiques (Pays-Bas), ou encore dans les États dotés d'une université de premier plan (Bologne dans les États du pape, Göttingen dans le Hanovre). La difficulté pratique ne réside donc pas dans le choix des académies les plus représentatives, qui est relativement facile à déterminer[32], mais dans l'élimination des non-scientifiques dans les académies où cette distinction n'existe pas, en particulier à la *Royal Society* de Londres. Une autre consiste à discriminer les savants dont la chimie constituait l'activité principale de ceux pour qui elle ne représentait qu'une activité secondaire. Les registres d'académies et les index historiques nous ont finalement permis d'établir une liste de 443 chimistes académiciens actifs entre 1700 et 1890, et nés en l'occurrence avant 1851.

L'autre critère, celui du jugement historique, est trop restrictif si l'on s'en tient à des registres de notabilité, tels que le *Dictionary of Scientific Biography* (DSB en abrégé)[33]. Il est trop large s'il inclut tous les auteurs d'articles scientifiques, car une grande partie de ces chercheurs occasionnels ne peut être documentée à travers des sources accessibles. Une voie de compromis consiste donc à sélectionner les savants qui ont publié au moins un ouvrage ou une série d'articles, de manière à figurer dans *A Historical Catalogue of Scientists and Scientific Books* de Robert M. Gascoigne (1984)[34]. 1106 chimistes de la période qui nous intéresse se trouvent dans ce cas.

La combinaison des deux critères produit un corpus de 1356 chimistes, dont seuls 250 ne figurent pas dans le *Catalogue* de Gascoigne. Ces savants académiciens non reconnus par la postérité en tant qu'auteurs sont néanmoins importants à prendre en compte. Il s'agit effet de secrétaires d'académies, d'éditeurs, de mécènes et d'hommes de lettres qui effectuaient de nombreuses tâches importantes pour la collectivité savante de leur époque, telles que l'envoi d'observations inédites, la

répétition d'expériences, la transmission d'informations et la critique de résultats ou de théories, l'édition d'ouvrages, la fourniture d'instruments, le financement de recherches ou encore l'hébergement de collègues. L'importance de ces tâches qui, au XVIIIe siècle, n'étaient prises en charge par aucune institution adéquate, justifiait l'intégration de ces individus dans les cercles académiques. Et de fait, ces « hommes de réseaux » étaient fréquemment au cœur des échanges, notamment épistolaires, entre savants.

On notera pour terminer que notre combinaison de critères produit une liste de chimistes germaniques du XVIIIe siècle qui, avec 63 noms sur 65, coïncide remarquablement bien avec celle établie par Karl Hufbauer sur la base de 82 témoignages historiques différents[35] !

Une constellation complexe d'acteurs

Même en ne considérant que les chimistes spécialisés, soit ceux dont la chimie fut en quelque sorte l'activité principale, il apparaît immédiatement qu'un petit nombre d'entre eux était l'auteur de l'essentiel des publications, et sans doute des « découvertes », tandis qu'une grande majorité a peu publié. De la même manière, quelques chimistes cumulèrent les affiliations académiques alors que la plupart n'en ont eu qu'une ou même pas du tout. Il y a manifestement des degrés d'implication, et de réussite, fort différents dans l'entreprise chimique, comme d'ailleurs dans toute forme de recherche. Lorsqu'il fit l'inventaire de sa « République astronomique », à la fin des années 1770, Jean III Bernoulli y distingua pas moins de 14 catégories différentes d'acteurs, depuis les « observateurs ordinaires » et les « calculateurs laborieux » jusqu'aux « astronomes mathématiciens » et « à la classe la plus sublime d'astronomes, celle du petit nombre des esprits supérieurs »[36]. La communauté des chimistes était probablement moins complexe dans sa structure, mais sans doute plus diversifiée encore dans ses orientations thématiques. Elle avait naturellement ses amateurs, ses pratiquants occasionnels, ses dilettantes aussi bien que ses spécialistes ou ses génies. Toute analyse formelle est nécessairement réductrice. Encore faut-il trouver un moyen de la fonder.

Le nombre de publications n'offre pas de solution pratique, du fait de la complexité du système en vigueur à l'époque[37]. Même un registre comme celui de Poggendorff (1873), d'ailleurs germano-centré, n'est guère utilisable en raison de l'impossibilité de comparer les types de publications et de discriminer celles qui relèvent à proprement parler de la chimie. En revanche, le nombre d'affiliations aux grandes académies est facile à établir, de même que la présence dans les dictionnaires historiques les plus universels tels que DSB ou le *Macmillan Dictionary of the History of Science* (1981)[38].

Une option minimale consiste à répartir nos chimistes en deux catégories A et B, que nous appellerons, faute de mieux, les savants de premier et de second plan, ou de façon plus directe encore les grands et les petits savants[39]. Peut être considéré comme grand savant (savant A) tout individu faisant l'objet d'une notice dans le *Dictionary of Scientific Biography*, ou qui aurait été affilié à deux au moins des six académies savantes mentionnées ci-dessus. Pour l'ensemble des chimistes de la période 1700–1890, cela représente 351 individus. Les autres (savants B) ne sont affiliés au mieux qu'à une académie ou figurent tout simplement dans le *Catalogue* de Gascoigne. Ils sont au nombre de 1014.

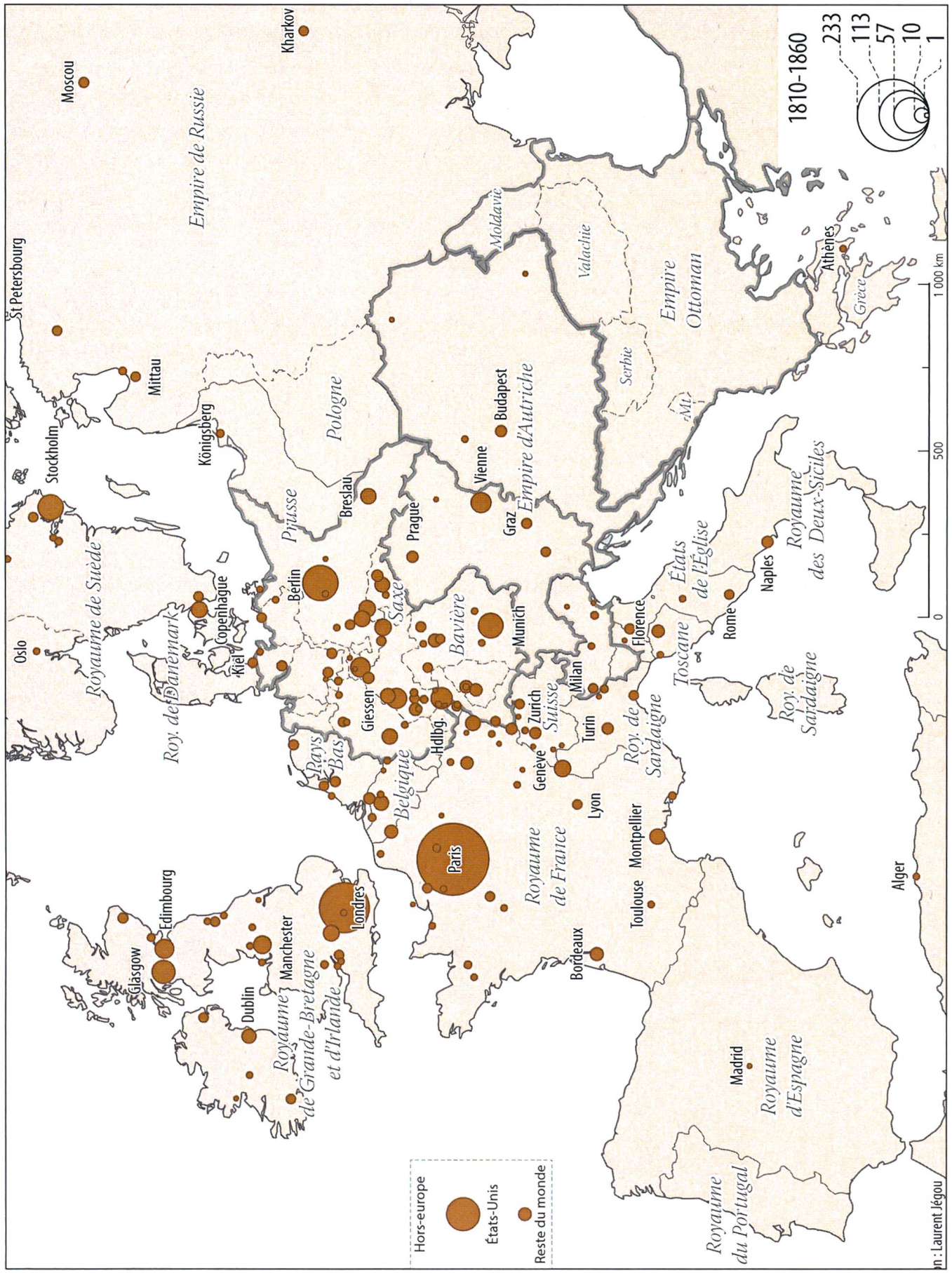
Mais la catégorie A se prête encore à des subdivisions plus fines, fondées sur des critères quantitatifs qui traduisent une accumulation d'appréciations intersubjectives. En pratique, ces critères combinent le nombre d'affiliations académiques (qui témoignent de la réputation auprès des contemporains), avec l'inclusion dans le DSB et l'index du *Macmillan Dictionary*, censés exprimer le jugement de la postérité. Concrètement, cela donne:

1° Une élite de 29 chimistes de tout premier plan (A++), qui figurent dans le DSB et le *Macmillan* tout en étant affiliés à 4 académies au moins, ou figurent seulement dans le DSB en étant affiliés à 5 académies au moins[40].

2° Un groupe de 68 chimistes d'importance majeure (A+), qui soit figurent dans le DSB et le *Macmillan*, soit figurent dans le DSB tout en étant affiliés à 3 académies, soit étaient affiliés à 4 académies indépendamment de tout autre critère[41].

3° Un groupe de 254 chimistes d'importance moyenne (A–), qui figurent simplement dans le DSB ou étaient affiliés à 2 académies.

Ces distinctions trouvent tout leur intérêt lorsqu'il s'agit de déterminer l'importance des activités scientifiques des individus en l'absence d'inventaire fiable de leurs publications.



CARTE 2
Lieux d'activité des principaux chimistes européens de la période 1810–1860 (les frontières indiquées sont celles de 1830)

Localisation d'une communauté de chercheurs (1810–1860)

Faute de place, nous limiterons désormais nos investigations aux acteurs de la période 1810–1860, autrement dit à la cohorte des chimistes nés entre 1771 et 1820. La façon dont elle a pu s'articuler en communautés locales et nationales sera d'abord examinée à travers la localisation cartographique de ses acteurs, puis à travers une analyse de leurs principaux liens de coopération.

On peut supposer qu'à défaut de documentation adéquate, la proximité géographique de spécialistes d'un même domaine, qui appartiennent de plus à une même cohorte, offre une indication sur leur potentiel de collaboration, surtout à une époque où la mobilité des chercheurs reste assez limitée. Pour établir cette cartographie de la recherche, nous avons aussi pris le parti de tenir compte de l'importance relative des chercheurs, afin de faciliter l'identification des principaux centres. Les chimistes du groupe A++ ont ainsi été affectés d'un coefficient 8, à répartir entre leurs résidences successives, évidemment selon la durée de chacune d'entre elles. Un coefficient de 6 a été attribué aux chimistes du groupe A+, un de 4 aux chimistes du groupe A– et un de 2 aux membres de la catégorie B. Les données biographiques nécessaires à cette enquête ont été extraites d'une multitude de sources imprimées, en particulier du DSB, du WBIS[42] ainsi que d'une dizaine de dictionnaires nationaux de biographie.

La CARTE 2, qui localise les chimistes de la période 1810–1860, ne prend en réalité tout son sens qu'à travers une comparaison avec la période qui précède – celle de la « Révolution chimique » – ou avec celle qui suit, marquée par le grand essor de la chimie industrielle. De telles comparaisons permettraient de mesurer les dynamiques des différentes communautés nationales, et surtout les nombreuses évolutions à l'intérieur même des États ou des nations, en particulier les changements de centres dominants, les concentrations ou les déconcentrations, ainsi que d'autres évolutions plus inattendues. D'une manière purement statique, cette carte montre néanmoins la concentration de la chimie française sur Paris, la relative concentration de la chimie britannique sur Londres, et au contraire l'extrême déconcentration de la chimie allemande, ou italienne. Une lecture ville par ville révèle la prééminence maintenue des anciennes métropoles académiques (Paris, Londres, Berlin, Stockholm, Saint-Pétersbourg), ainsi que l'importance prise par certaines villes universitaires (Glasgow, Heidelberg, Giessen, Göttingen, Édimbourg) et par certaines capitales moins attendues (Munich, Vienne, Philadelphie). Elle montre aussi la relative rareté des grandes concentrations de chimistes dans des villes industrielles comme Manchester.

Liens de collaboration les plus significatifs (1810–1860)

Il y a deux siècles, comme aujourd'hui, la collaboration scientifique type est celle qui aboutit à une co-publication. La documentation biographique que nous avons réunie les mentionne souvent, mais pas de façon systématique. Elle signale aussi, de façon tout aussi ponctuelle, les travaux effectués en commun, qu'il s'agisse d'expériences de laboratoire, de recherches de terrain (voyages) ou encore de « découvertes ». Plus rarement évoquées sont les collaborations institutionnelles, en particulier les relations maître-assistanat dans le cas de la chimie universitaire. Elles peuvent cependant être reconstituées *a posteriori* dans bien des cas, même si leur durée demeure souvent inconnue. L'historien dispose donc de données sur les collaborations scientifiques qui se situent sur trois plans différents, et qui tantôt se complètent, tantôt se recoupent, tant il est vrai qu'un assistanat produit presque nécessairement des collaborations susceptibles de déboucher à leur tour sur des « découvertes » ou au moins sur des publications. Sur chacun de ces plans, il est possible de définir une échelle d'intensité des liens qui irait de 1 à 3 selon:

- le nombre de co-publications: 1. une ou deux; 2. plusieurs; 3. nombreuses.
- la durée de la relation d'assistanat: 1. entre un semestre et deux ans; 2. de trois à cinq années; 3. plus de cinq ans.
- le nombre ou la durée des recherches effectuées en commun (*idem*), ou encore l'importance des découvertes effectuées (1. mineure; 2. importante; 3. fondamentale). Ce dernier aspect est évidemment sujet à interprétation.

Les collaborations documentées sur l'un de ces trois plans sont extrêmement nombreuses. Dans le cadre d'une analyse globale, on peut donc s'en tenir aux plus significatives d'entre elles, soit celles qui sont attestées et caractérisées sur deux plans au moins. Dans ce cas, l'intensité de la relation sera celle du plan où elle apparaît comme la plus élevée. Cela revient en fait à considérer que les éventuelles différences de degré s'expliquent essentiellement par des lacunes dans la documentation relative à l'un ou l'autre aspect de la relation.

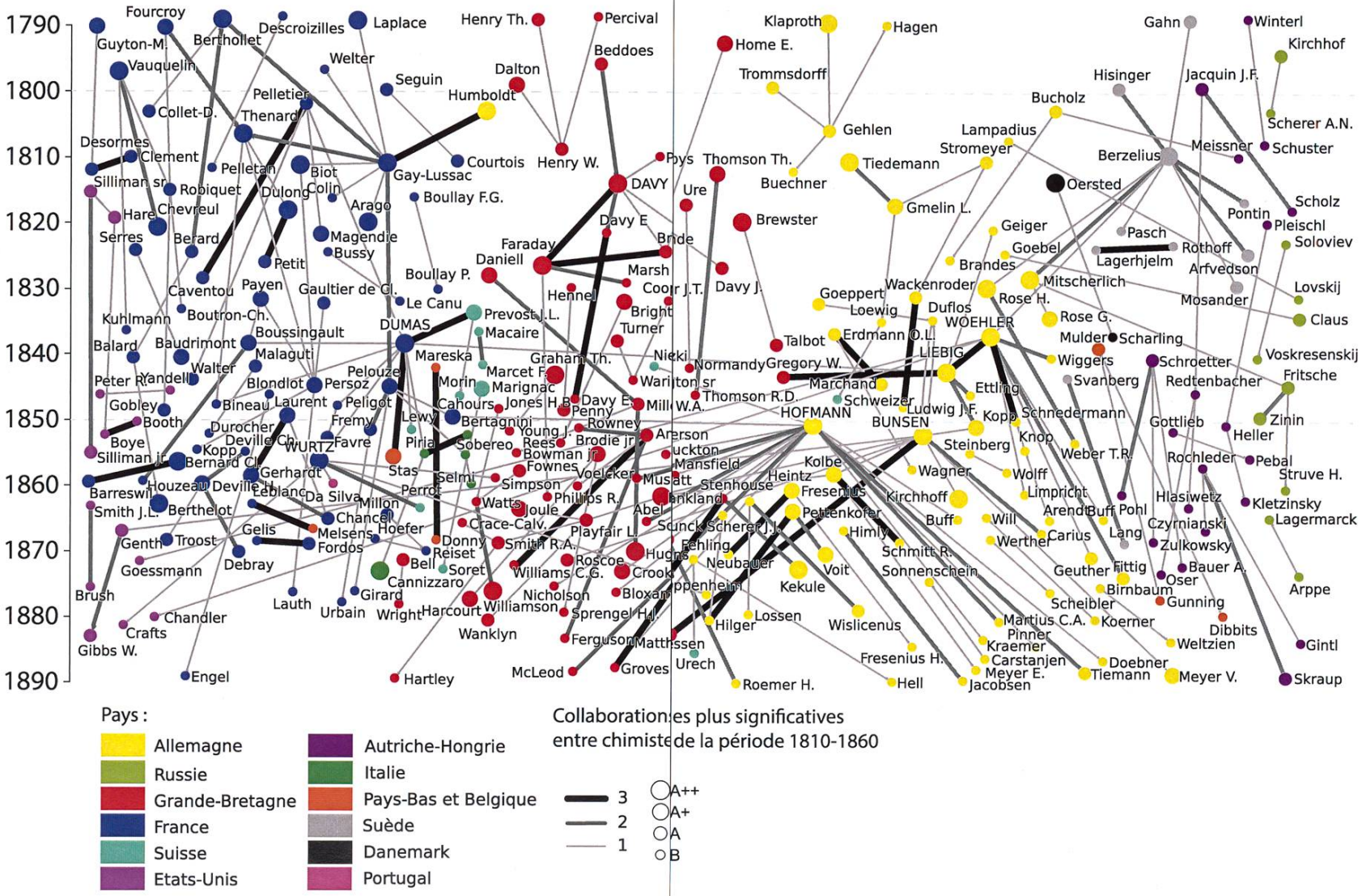
Quoi qu'il en soit, l'analyse de ces relations vise essentiellement à déterminer si les communautés de chercheurs du premier XIXe siècle avaient un caractère national ou non. C'est pourquoi nous avons choisi de mettre ce facteur en évidence en attribuant aux chimistes du GRAPHE 5 une couleur qui correspond à leur nationalité d'origine, ou, dans quelques cas, au pays où ils se sont établis au début de leur carrière. Sur ce graphe relationnel, les chimistes sont rangés verticalement selon un ordre chronologique (les plus anciens en haut) et distribués horizontalement selon

leur nation. La période 1810–1860, qui va de l'apogée de l'Empire napoléonien à la veille de l'ère Bismarck est en effet celle de l'affirmation des nations. Elle est aussi celle de la montée en puissance de la révolution industrielle, de la réforme des universités allemandes et du développement de l'enseignement de la chimie en laboratoire.

Le GRAPHE 5 confirme qu'en règle générale, les communautés de chimistes de la période 1810–1860 ont un caractère très fortement national. C'était déjà le cas au cours de la période précédente (1765–1810), notamment en France et en Suède, alors que plusieurs groupes de chimistes coexistaient en Grande-Bretagne et dans les pays germaniques[43]. Au XIXe siècle, la fréquence et l'intensité des collaborations augmentent encore, surtout après 1830 (partie basse du graphe). On note aussi, après les années 1830 surtout, un timide début de coopération internationale. En Allemagne, cette période marque en fait le passage d'un système de coopération académique entre pairs (collaborations « horizontales ») à un système de relations universitaires maître-élève (collaborations « verticales »). Ce système est transféré en Angleterre par August Wilhelm von Hofmann, qui est nommé en 1845 à la *Royal School of Chemistry* de Londres. On remarque également ce modèle de collaboration verticale dans l'empire des Habsbourg (en violet).

Dans le détail, la chimie française du début du siècle apparaît toujours comme la plus intégrée, autour des figures de Vauquelin, Thénard, Gay-Lussac ou encore Pelletier. À la même époque, les connexions de chimie anglaise sont essentiellement londoniennes, centrées autour de la *Royal Institution* (groupe Davy-Faraday-Brande), ce qui marque une évolution par rapport à la période précédente, où existaient également des groupes structurés dans les Midlands et en Écosse. Dans les pays germaniques, c'est essentiellement Berlin qui coordonne les recherches, d'abord autour du journaliste éditeur Gehlen, puis autour de Mitscherlich et de Heinrich Rose. Ces deux derniers sont influencés par la chimie suédoise, qui connaît un nouvel âge d'or grâce à Berzelius et à la création en 1807 du *Karolinska Instituet* de Stockholm. Un autre groupe germanique, qui implique les universités de Heidelberg et de Göttingen, est visible autour de Leopold Gmelin.

Vers 1830, la nomination de Liebig et la mise sur pied d'un enseignement en laboratoire à Giessen marquent, on le sait, un nouveau départ pour la chimie allemande, et européenne. Malgré tout, Liebig collabore relativement peu avec ses élèves, à l'exception de Kopp, préférant travailler avec ses collègues Wöhler à Göttingen ou William Gregory à Édimbourg. Mais ses échanges avec Dumas pour l'élaboration de la théorie des radicaux feront époque. Inspirés par Liebig, Wöhler, Bunsen, Hofmann et



GRAPHE 5
Liens entre chimistes de la période 1810–1860
Conception: R. Sigrist, réalisation: M. Maisonobe

Kolbe vont à leur tour contribuer à transformer les liens entre chimistes, en développant la relation maître-assistant. Son impact se fait sentir jusqu'aux États-Unis, où Wöhler et Bunsen ont quelques disciples.

Le renouveau de la chimie anglaise est également à relever. Grâce à la création, sur le modèle allemand, du *Royal College of Chemistry* (1845), ce renouveau s'effectue essentiellement à Londres, où opère également William Allen (King's College). De plus petits groupes de chimistes sont encore visibles autour de Thomas Anderson (université de Glasgow) et de Lyon Playfair (université d'Édimbourg). Il est à noter que les centres industriels jouent, paradoxalement peut-être, un rôle moins important qu'au cours de la période précédente. Il est vrai qu'un nombre croissant de chimistes britanniques fréquentent désormais les universités allemandes.

En France, où les collaborations entre pairs restent dominantes, Dumas et Wurtz deviennent les personnages dominants de la période d'après 1830–1840. Ils développent un certain nombre de collaborations internationales, en particulier avec des ressortissants de puissances de second plan, telles que l'Italie (Pria, Sobrero), la Belgique (Stas, Melsens), la Suisse (Prevost), le Danemark (Lewy) ou encore le Portugal (Da Silva). L'Allemagne pour sa part poursuit ses collaborations avec la Russie, dont la chimie se développe d'une façon plus autonome que par le passé. L'empire des Habsbourg sur la droite du graphique et les États-Unis sur la gauche commencent eux aussi à étoffer leurs propres traditions. Ils demeurent néanmoins pauvres en chimistes de premier plan. Les autres pays (Italie, Suisse, Pays-Bas, Belgique, Danemark) jouent les seconds rôles[44].

La science visible dans le *Web of Science* en 2006-2008

La troisième période que nous envisagerons au terme de ce parcours, la période contemporaine, est aussi celle pour laquelle le volume de données est le plus important. Cette étude s'appuie sur l'exploitation d'une base de données bibliométriques, le *Web of Science*, dont l'analyse appelle la mise en œuvre de questionnements et de procédures spécifiques.

Compte tenu du fait que l'article est devenu le mode privilégié de communication des chercheurs et que les collaborations scientifiques donnent de plus en plus souvent lieu à des articles co-signés par les divers partenaires, nous considérons que l'exploitation de données bibliométriques est pertinente pour rendre compte des logiques d'organisation scientifique. Le *Web of Science*, détenu par le groupe américain Thomson Reuters, regroupe plusieurs index de citations : le *Science Citation Index*, le *Social Science Citation Index* et l'*Art and Humanities Citation Index*. La couverture de la base démarre en 1900 et ne cesse d'augmenter pour arriver à près de 10 000 revues recensées par an sur les 5 dernières années, soit près d'un million et demi d'articles par an. La sélection des revues recensées par le *Web of Science* repose sur différents critères : il s'agit en priorité de revues faisant l'objet de citations dans les revues déjà couvertes, dont le format répond aux standards internationaux. Parce qu'au départ, Eugene Garfield, de l'*Institute for Scientific Information* (ISI), où la base a été développée, a commencé par la production scientifique en biomédecine, ce biais initial a été entretenu à mesure que grandissait la base. Dans les faits, celle-ci surreprésente les revues de biomédecine et les revues du monde anglo-saxon. Ce second biais s'explique par le fait que l'ISI est un organisme basé à Philadelphie, mais aussi par le fait que, lors de sa fondation dans les années 1960, l'anglais était en train de s'imposer comme langue internationale de communication scientifique. Eugene Garfield, convaincu de la supériorité de la recherche américaine, voyait comme irrémédiable l'avènement de l'anglais au niveau mondial[45]. En fait, à partir du moment où le *Web of Science* est devenu la base de donnée de référence, des chercheurs de plus en plus nombreux ont souhaité être visible dans la base, ou ont été incités à l'être. Figurer dans la base, compte tenu du très faible nombre de revues non anglophones qui y sont incluses, suppose de publier en anglais. Les chercheurs chinois l'ont bien compris qui ont produit presque autant de publications recensées dans la base que les Américains au cours des cinq dernières années. Puisque le nombre de revues chinoises en chinois indexées dans la base est très faible, cela n'a été possible que parce que les chercheurs chinois se sont mis à publier dans des revues étrangères ou chinoises en anglais. Cet exemple illustre bien le fait que le *Web of Science* ne permet de

représenter qu'une fraction de la production scientifique mondiale: on parle parfois pour l'évoquer de la science « visible » ou science « mondiale ». Ce second qualificatif est utilisé par opposition à une science qui serait « locale ». En fait, il ne faut pas s'y méprendre, la distinction entre la science « mondiale », à visée prétendument plus universelle, et la science « locale », destinée à un public plus restreint, est largement exagérée. Il y a beaucoup de revues indexées dans le *Web of Science* qui, alors même qu'elles sont en anglais, pourraient être qualifiées de « locales », compte tenu de leur thématique et du public qu'elles touchent. Pour cette raison, nous préférons le qualificatif « visible » pour évoquer le monde scientifique que ces données nous donnent à voir. Pour synthétiser, nous pensons que le *Web of Science* est un miroir du monde scientifique sous influence américaine, dans la mesure où l'on y repère les parutions des chercheurs qui publient en anglais dans des revues dont la ligne éditoriale répond aux critères de l'ISI. Pour notre étude de cas, il suffit de convenir que le *Web of Science* permet de visualiser un monde scientifique contemporain parmi d'autres. Ce monde scientifique est le premier des trois mondes à avoir une dimension « mondiale » puisque pour cartographier l'information, nous avons besoin d'un planisphère entier. Dans les années 2000, on recense dans la base des publications scientifiques issues de 194 pays différents.

Description de la méthode de traitement des données bibliométriques

Nous décrivons ci-dessous la procédure qu'il a fallu suivre pour passer des données brutes à leur mise en forme afin de procéder à la représentation et à l'analyse. Dans la base sont stockées des publications (articles, notes de recherche) et, pour chacune d'entre elles, plusieurs informations sont renseignées comme la date, la source, les auteurs et leurs adresses ou affiliations. C'est l'information géographique contenue dans les adresses que nous exploitons. Elle n'est pas normalisée, ce qui rend son traitement difficile. Ainsi, une procédure de géocodage automatisée a été mise en œuvre pour récupérer les coordonnées géographiques des localités désignées dans les adresses. Des opérations de vérification des données, en partie automatisées, ont ensuite été réalisées pour corriger les erreurs de géocodage. À l'arrivée, les publications se répartissent dans plus de 18 655 localités au niveau mondial. Il est difficile de travailler à un niveau de détail aussi fin au niveau mondial car, si la localité correspond le plus souvent à une municipalité, les critères de découpage des municipalités sont très différents d'un pays à l'autre. Pour visualiser l'information au niveau mondial, il est apparu nécessaire d'agréger ensemble des localités proches pour obtenir ce que nous avons appelé des « agglomérations

scientifiques». L'idée est de pouvoir mesurer et analyser l'activité scientifique au niveau mondial en prenant comme unité de base celle qui est la plus précise possible, tout en étant dotée d'un degré d'homogénéité permettant la comparaison. Ce niveau est, d'après nos analyses, celui de l'agglomération urbaine. Le découpage des agglomérations a été fait en tenant compte de la répartition de la population qui est un critère dont on connaît la valeur sur toute l'étendue du globe terrestre avec une assez bonne précision. En tout, nous avons obtenu 10 730 agglomérations scientifiques[46].

Après avoir défini les unités de base, l'étape suivante consiste à associer les données de production scientifique extraites du *Web of Science* aux unités d'analyse que nous avons définies. Il s'agit de l'opération de synthèse de l'information qui demande de faire des choix méthodologiques indispensables pour passer à l'analyse et à la représentation. En ce qui concerne la façon dont les contributions aux publications scientifiques ont été comptabilisées pour associer des stocks de publications aux agglomérations scientifiques, il faut rappeler qu'il existe plusieurs méthodes pour compter les publications écrites en collaboration (celles dont le ou les auteurs signalent au moins deux adresses). Nous avons choisi la méthode dite de *Whole Normalized Counting: whole*, ou «entière», parce qu'on tient compte, non du nombre d'adresses, mais du nombre d'agglomérations différentes ayant contribué à la publication (l'unité de base étant l'agglomération); *normalized*, parce que l'on attribue une valeur fractionnée à chaque agglomération ayant contribué à la publication (chaque agglomération reçoit une fraction comme crédit pour cette publication qui est égale à un divisé par le nombre d'agglomérations impliquées)[47]. En faisant la somme des crédits cumulés par toutes les agglomérations, on retrouve le nombre total de publications. Préciser la méthode utilisée pour le comptage des publications est important car, selon le choix qui est fait, les résultats obtenus sont différents, en particulier pour les villes situées au milieu de la hiérarchie. Tout comme nous fractionnons les publications pour réaliser les comptages au niveau des agglomérations, nous fractionnons la valeur des liens de collaboration pour générer des graphes de collaboration entre agglomérations. Pour chaque article, la valeur associée aux liens entre les agglomérations dépend du nombre d'agglomérations impliquées. Cela permet de donner plus d'importance aux collaborations deux à deux. Le postulat d'une telle démarche est que l'importance scientifique de la relation est proportionnelle au nombre de partenaires qui ont collaboré pour produire l'article. Si n est le nombre d'agglomérations pour un article donné, la valeur du lien de collaboration unissant deux à deux les agglomérations partenaires vaut $1/((n*(n-1)/2)$. Ainsi, la somme de la valeur des liens de collaboration est égale au nombre

total d'articles écrits en collaboration entre au moins deux agglomérations. Puisque nous avons choisi de prendre les agglomérations scientifiques comme unité d'analyse, nous avons aussi choisi d'extraire de nos données relatives à la co-signature d'articles des graphes de relations entre agglomérations. Il existe de nombreuses autres possibilités pour construire des réseaux de collaborations scientifiques, la plus courante étant de prendre comme unité d'analyse le chercheur et de générer des graphes de co-signature ou de citation entre chercheurs. Dans notre cas, puisque c'est l'organisation d'un système-monde qui nous intéresse, le but est de capturer les tendances lourdes qui pèsent sur les associations de chercheurs au niveau mondial. Compte tenu du volume de données dont nous disposons, le réseau de chercheurs qu'il est possible d'en extraire est démesurément volumineux. Un réseau d'une telle taille doit donc être simplifié pour être analysé. Travailler au niveau de l'agglomération permet de capturer bien plus d'informations. Le réseau de collaboration des agglomérations obtenu à l'arrivée est également trop dense pour être visualisé tel quel.

Les représentations du monde scientifique contemporain

Pour offrir une image lisible du monde scientifique contemporain, nous avons choisi de nous concentrer sur les 200 agglomérations urbaines qui ont publié le plus en 2007. De ces 200 agglomérations proviennent 2/3 des publications indexées dans le *Web of Science* en 2007 (environ 1 million d'articles sur 1,5 million d'articles par an en moyenne mobile 2006–2008). Elles sont situées dans 42 pays différents. Ci-dessous figure une carte (CARTE 3) permettant de localiser ces agglomérations et de rendre compte du nombre de publications qu'elles ont abritées. La moyenne mobile permet de lisser la distribution des publications sur trois ans (2006–2008) et ainsi de rendre les données moins sensibles à de faibles variations annuelles.

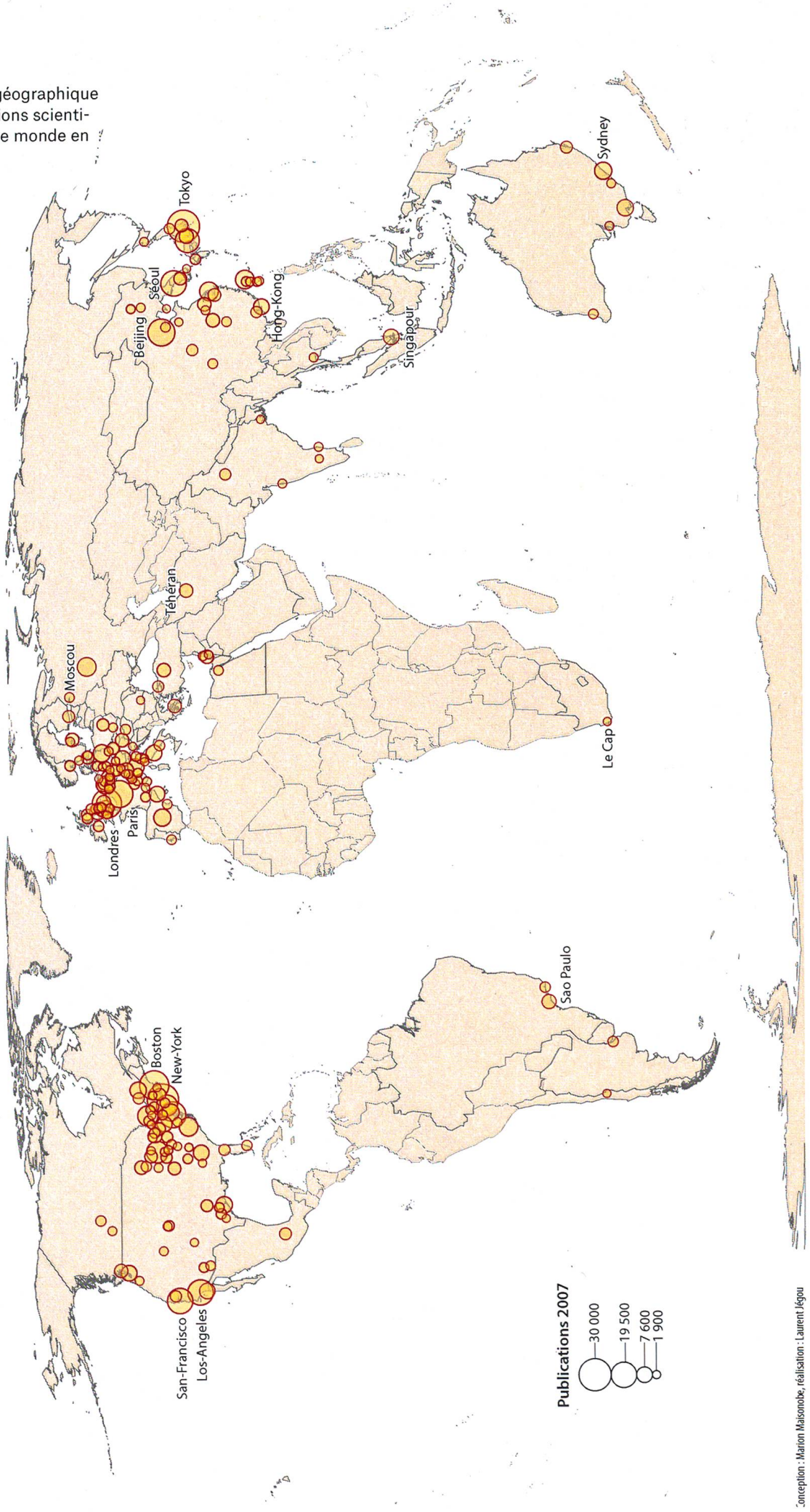
La carte du monde obtenue témoigne d'un très faible niveau de publication en Afrique et dans une moindre mesure en Amérique du Sud. L'Asie est le continent dont l'activité visible a le plus progressé ces dernières années. Ainsi, la Chine compte autant d'agglomérations que le Royaume-Uni et l'Allemagne parmi les 200 premières agglomérations mondiales en 2007 (15 agglomérations).

Cette représentation (GRAPHE 6) des collaborations scientifiques est obtenue à partir du graphe des co-signatures d'articles en 2007 (moyenne

mobile 2006–2008). Ne sont conservées que les relations d'une valeur supérieure à 200. Très peu de relations internationales ont une valeur supérieure à ce seuil. Ainsi, les agglomérations néerlandaises, russes, suédoises, taiwanaises, polonaises, turques et brésiliennes n'entretiennent aucune relation internationale de cette intensité. De ce fait, ces agglomérations ne sont pas reliées à la composante principale du réseau de co-signature qui est représentée ici. Il y a une couleur différente par pays. Ce partitionnement est intéressant car il permet de mettre en évidence la forte composante nationale des collaborations scientifiques contemporaines. Les collaborations internationales représentent toujours une faible part des collaborations scientifiques. En particulier, sur l'intégralité des co-signatures entre villes, elles ne constituent que 15 % du total des collaborations. Enfin, on constate assez nettement, sur cette représentation, que le monde scientifique « visible » s'articule autour des États-Unis. En effet, une part considérable des forts liens internationaux sont des liens de collaboration avec les États-Unis. La surface des cercles correspond à l'indice de degré pondéré qui est égal, pour chaque ville, au nombre total de collaborations qu'elle entretient avec les autres villes.

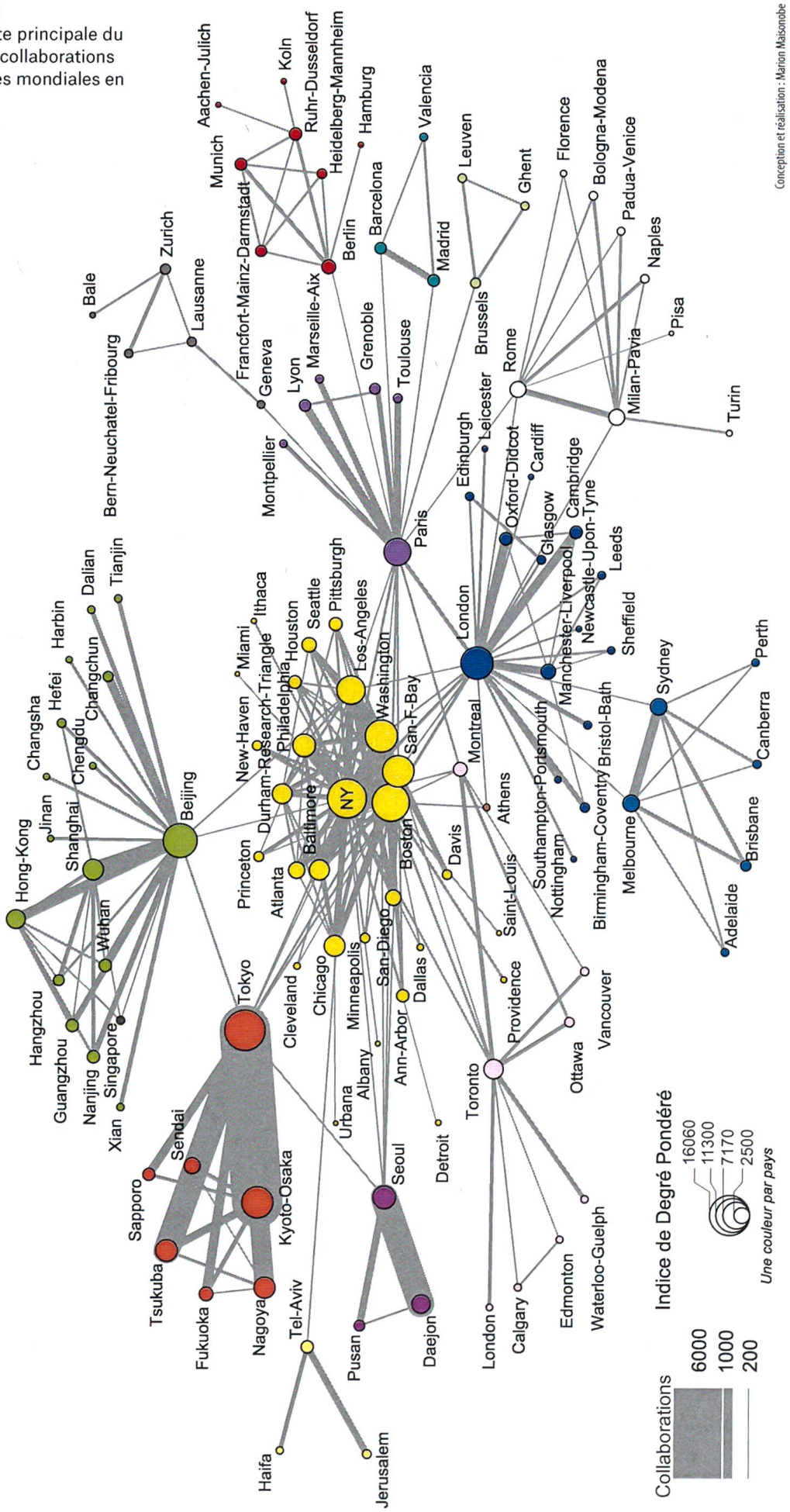
L'information représentée sur ces images est extrêmement allégée par rapport à l'information dont on dispose. Tant sur la carte que sur le diagramme nœud-lien, il est plus pertinent de filtrer l'information pour la rendre lisible. Pour explorer plus en détail les données relationnelles de notre corpus, nous avons mis au point (à l'aide de bibliothèques javascript), une plateforme interactive permettant de faire varier les modes de visualisation, les périodes étudiées et l'échelle (comportant notamment un dispositif permettant de zoomer sur la carte et les diagrammes nœuds-liens) : http://www.coscimo.net/.

CARTE 3
Répartition géographique des publications scientifiques dans le monde en 2007



Conception : Marion Maisonobe, réalisation : Laurent Jégou

GRAPHE 6
Composante principale du réseau des collaborations scientifiques mondiales en 2007



En formulant l'hypothèse que l'activité scientifique s'inscrit, à chaque époque, non dans un espace figé et abstrait, mais dans une configuration spatiale singulière et fluide, dont elle façonne les contours et la physionomie, les contributions présentées dans cet article se sont proposées d'explorer l'organisation de trois « mondes savants », dans un parcours menant de l'Antiquité au très contemporain. Développée à partir de propositions méthodologiques communes, la démarche s'est appliquée à mettre en lumière les enjeux et les défis particuliers qu'implique, selon les dossiers abordés, la cartographie des activités scientifiques. La confrontation des approches a permis de s'interroger sur les procédures auxquelles peut faire appel la représentation des données liées aux diverses formes de structuration des mondes savants, envisagée à partir d'une pluralité d'éclairages documentaires (récits de banquets, dictionnaires et registres d'académies, sources bibliométriques). Ancrée dans les spécificités des corpus mobilisés (nature et provenance de l'information, volume des données, échelles et contextes), l'enquête s'est voulue particulièrement attentive aux critères, aux opérations et aux ressources permettant de modéliser les espaces savants et leurs dynamiques. Elle s'est donnée pour objectif d'illustrer, à partir de trois études de cas, l'apport et les limites de la visualisation, conçue à la fois comme un outil d'intelligibilité et comme une composante de l'analyse.

Cet article peut ainsi apparaître comme une contribution à la réflexion sur le *science mapping* (ou « cartographie », au sens large, de la science), qui constitue aujourd'hui un domaine de la recherche en sciences sociales en pleine expansion. Cette littérature se concentre sur la représentation de données bibliométriques issues des bases de données contemporaines comme le *Web of Science* ou *Scopus* (son équivalent européen, porté par l'éditeur néerlandais Elsevier)[48]. Par rapport à une telle approche, notre contribution présente deux intérêts majeurs. D'une part, elle invite à envisager la représentation des données sur la science et les questions qu'elle soulève dans une démarche résolument diachronique et comparative. D'autre part, la dimension spatiale des données mobilise, dans notre article, une véritable expertise. Les données, en effet, ont été cartographiées en respectant les règles de sémiologie graphique : en particulier, les cartes et les diagrammes ont été réalisés selon une représentation graphique objective et disposent d'une légende. Les légendes, comme nous avons pu le constater, sont systématiquement oubliées par les spécialistes de *science mapping*. La difficulté que représente la figuration graphique des informations concernant des relations, des collaborations entre des chercheurs ou des villes localisés dans l'espace peut en outre être en partie contournée par l'utilisation de graphes de réseaux, en complément des cartes classiques. Enfin, pour la période contemporaine, l'hétérogénéité

de l'information géographique a justifié la délimitation d'entités géographiques comparables au niveau mondial, le souci d'agréger les données à une échelle pertinente pour la comparaison et l'analyse étant jusqu'alors négligé par les spécialistes du *science mapping*[49].

1 John F. Padgett, Marriage and elite structure in Renaissance Florence, 1282-1500, in: REDES – Revista hispana para el análisis de redes sociales, 21, 2011, pp. 71–97.

2 Jean-Daniel Fekete, Laurent Beauguitte, La parole à Jean-Daniel Fekete, in: Carnet de recherche du groupe FMR, 2012, URL: http://groupefmr.hypotheses.org/626 (dernière consultation 2/10/2014).

3 Résultat d'une requête réalisée sur le moteur de recherche en ligne Thèses.fr, le 13/09/2013.

4 Alan M. MacEachren, Menno-Jan Kraak, Research challenges in geovisualization, in: Cartography and Geographic Information Science, 28, 2001, pp. 3–12.

5 Scott Orford, Daniel Dorling, Richard Harris, Review of visualization in the Social Sciences. A state of the art survey and report, in: Report for the advisory group on computer graphics, 1998, p. 152, URL: http://www.agocg.ac.uk/sosci/review/review.html (dernière consultation 2/10/2014); Claire Lemercier, Analyse de réseaux et histoire, in: Revue d'histoire moderne et contemporaine, 52, 2005, pp. 88–112; Claire Lemercier, Sandro Guzzi-Heeb, Michel Bertrand, Introduction. Où en est l'analyse de réseaux en histoire?, in: REDES – Revista hispana para el análisis de redes sociales, 21, 2011, pp. 12–23.

6 Marion Maisonobe, Analyses dynamiques et longitudinales de réseaux, in: Synthèse du groupe fmr, 2013, [S.?] URL: http://halshs.archives-ouvertes.fr/FMR/halshs-00811672 (dernière consultation 2/10/2014).

7 Elle fait sa première apparition dans un manifeste signé par le mystérieux ordre de Rose-Croix. Elle est reprise à la fin du XVIIe siècle par les membres de la *Royal Society* en Angleterre.

8 Caroline Wagner, The new invisible college. Science for development, Washington 2008.

9 Rigas Arvanitis, Que des réseaux ! Compte rendu de Caroline Wagner. The new invisible college. Science for development, in: Revue d'anthropologie des connaissances, 5, 2011, pp. 178–185.

10 Représenter des liens sur une carte revient à donner beaucoup d'importance à la distance physique entre les lieux qui sont en relation: ainsi, les liens entre des lieux très éloignés sont davantage mis en valeur que les liens entre des lieux proches. V. Myriam Baron, Denis Eckert, Laurent Jégou, Peut-on démêler l'écheveau mondial des collaborations scientifiques?, in: M@ppemonde, 102, 2011, [non paginé].

11 Les cartes proposées dans le présent article ont été confectionnées par Laurent Jégou, ingénieur d'étude au Département de Géographie de l'Université de Toulouse-Le Mirail et membre du laboratoire LISST. Les graphes ont été réalisés par Marion Maisonobe et adaptés par Laurent Jégou.

12 Paul Veyne, L'Empire gréco-romain, Paris 2005, p. 10.

13 Jean Sirinelli, Plutarque de Chéronée. Un philosophe dans le siècle, Paris 2000, p. 14.

14 Sirinelli, (Note 13), p. 167.

15 François Fuhrmann, Introduction, in: Plutarque, Propos de table. Livres I-III, Paris 1972, pp. VII-XXVI, p. XVIII.

16 À l'exception notable, cependant, du banquet de bienvenue (VIII, 7-8) organisé à Rome par le Carthaginois Sextius Sylla, à l'occasion d'un séjour de Plutarque dans l'*Urbs*.

17 Konrat Ziegler, Ploutarchos von Chaironeia, in: Realencyclopädie der classischen Altertumswissenschaft, vol. XXI.1, Stuttgart 1951, col. 636-962 et, plus récemment, Bernadette Puech, Les amis de Plutarque, in: Aufstieg und Niedergang der römischen Welt, vol. II, 33.6, Berlin 1992, pp. 4831–4893. On trouve également une précieuse description des cercles de sociabilité plutarquéens dans les monographies de Christopher P. Jones, Plutarch and Rome, Oxford 1972, p. 39–64 et de Sirinelli (Note 13), p. 167–198.

18 Pour chacun des personnages, nous avons retenu soit la cité ou région d'origine, soit, lorsque l'information est connue, la cité de résidence. Ce choix ne permet pas de prendre en compte les phénomènes de mobilité ou d'appartenance multiple, qui appellent la mise au point d'une méthode d'analyse spécifique.

19 Il eût par exemple été possible de représenter, sous la forme d'un graphe orienté, un réseau des invitations, associant chacun des hôtes de banquets à leurs invités. Le réseau de fréquentation permet toutefois d'intégrer dans l'analyse les banquets dont l'hôte ou la localisation ne sont pas mentionnés, et de travailler sur un volume de données plus significatif.

20 Précisons cependant – cette donnée est loin d'être insignifiante – qu'une part substantielle des liens de co-présence, dans les *Propos de table*, s'établissent au sein d'une même cité (à titre indicatif: 38 % pour les personnages du groupe athénien, 22 % et 10 %, respectivement, pour ceux des groupes chéronéen et romain).

21 On relèvera l'absence, dans cette répartition géographique, d'importants centres culturels de l'Empire romain, comme Smyrne ou Éphèse, hauts lieux de la Seconde Sophistique, ainsi qu'Alexandrie, où Plutarque avait pourtant effectué un séjour d'étude.

22 La comparaison des graphes 3 et 4, sur ce point, montre qu'une part non-négligeable des liens de co-présence enregistrés entre les groupes athénien et chéronéen ne concerne pas le personnage de Plutarque.

23 C'est par exemple au banquet donné à Rome par le Carthaginois Sextius Sylla (VIII, 7-8) que Lucius, un disciple du pythagoricien Moderatus de Gadès originaire d'Étrurie, ainsi qu'un certain Nestor, de Leptis Magna, font leur unique apparition.

24 Une hypothèse que l'analyse du texte plutarquéen – cette question mériterait cependant de faire l'objet d'une étude particulière – tend à confirmer. D'une manière générale, en effet, les personnages qui composent le groupe romain, dans les *Propos de table*, interviennent moins en tant que représentants des traditions romaines ou du pouvoir impérial – les réalités de la domination romaine sont comme absentes du discours plutarquéen –, que comme membres d'une élite « gréco-romaine » ou « hellénisée », profondément imprégnée, en tout cas, des pratiques et des codes culturels de l'hellénisme.

25 C'est notamment le cas à Londres, Berlin et Saint-Pétersbourg.

26 Le mathématicien, le géomètre et l'astronome étaient des figures consacrées depuis longtemps, tandis que le minéralogiste, l'anatomiste et le géologue ne se révéleront qu'après 1800.

27 « Savant », qui s'appliquait à l'origine à toutes les catégories de chercheurs, n'est réservé aux pratiquants des sciences de la nature que vers la seconde moitié du XVIIIe siècle. « Naturforscher » et « natural philosopher » (qui s'applique plus proprement aux physiciens) ne se généralisent que peu avant 1800. « Scientist », forgé par William Whewell en 1833, est traduit et se généralise dans les principales langues européennes vers 1850.

28 Alphonse de Candolle, Histoire des sciences et des savants depuis deux siècles [1873], Genève 1885 (2e éd.).

29 James E. Mac Clellan, Science reorganized. Scientific societies in the eighteenth century, New York 1985.

30 René Sigrist, Les communautés savantes européennes à la fin du XVIIIe siècle. Essai de cartographie, in: M@ppemonde, 110, 2013, [non paginé], URL: http://mappemonde.mgm.fr/num38/articles/art13204.html (dernière consultation 2/10/2014). La démonstration repose sur la bonne coïncidence entre la localisation de ces savants académiciens et celle des astronomes actifs à la même période, établie sur la base: Jean (III) Bernoulli, Liste des astronomes connus actuellement vivants, Berlin 1776.

31 Seules l'Autriche et l'Espagne firent longtemps exception.

32 Sigrist (Note 30), fig. 1 [non paginé].

33 Charles Coulston Gillispie (éd.), Dictionary of scientific biography, New York 1970-1980 (16 vol.).

34 Robert M. Gascoigne, A historical catalogue of scientists and scientific books. From the earliest times to the close of the nineteenth century, New York 1984.

35 Karl Hufbauer, The formation of the German Chemical Community (1720-1795), Berkeley 1982, Appendix I.

36 Jean Bernoulli (Note 30), p. 5-10.

37 Avant l'apparition, dans les années 1770, des premières revues spécialisées, le système des publications scientifiques était fondé sur les livres et sur les articles insérés dans quelques recueils académiques (*Philosophical Transactions, Mémoires de l'Académie des sciences*) ou dans les périodiques universels de la République des lettres (*Journal des Savans, Mémoires de Trévoux*, etc.). Le basculement vers le système de la revue scientifique avec comité d'experts est pratiquement achevé dans les années 1830, mais la multiplicité des revues spécialisées, publiées dans un nombre croissant de langues, défie toute tentative de recensement systématique. De plus, la publication de traités de synthèse ou de manuels pédagogiques se poursuit à un rythme accéléré.

38 William F. Macmillan-Bynum, E. Janet Browne, Roy Porter, The Macmillan Dictionary of the history of science, London 1981.

39 Une troisième catégorie, regroupant les amateurs (C), inclurait notamment les autres savants signalés par Johann Christian Poggendorff, Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften, Leipzig 1863 (2 vol.).

40 Une académie de moins était requise pour les chimistes morts avant 1745.

41 *Ibid.*

42 WBIS – *World Biographical Information System*, online and microfiche editions by Saur AG, Munich.

43 À vrai dire, Paris elle-même abritait, en plus du groupe principal centré autour de Lavoisier, Guyton-Morveau et consorts, deux groupes de chimistes, l'un regroupant plutôt des pharmaciens (autour de Parmentier), l'autre plutôt des techniciens (autour de Darcet).

44 La présente recherche a été menée avec le soutien du FNS, subside n° 100.011-137.579.

45 Eugene Garfield, English – an international language for science ?, in: Current Contents, 26 Décembre 1967, pp. 19-20.

46 Denis Eckert, Myriam Baron, Laurent Jégou, Les villes et la science. Apports de la spatialisation des données bibliométriques mondiales, in: M@ppemonde, 110, 2013, [non paginé]. URL: http://mappemonde.mgm.fr/num38/articles/art13201.html (dernière consultation 2/10/2014).

47 Marianne Gauffriau et al., Comparisons of results of publication counting using different methods, in: Scientometrics, 77/1, 2008, pp. 147-176.

48 Cette thématique a récemment fait l'objet de plusieurs publications, parmi lesquelles on signalera en particulier: Olmeda-Gomez, Carlos, Antonio Perianes-Rodriguez, M. Antonia Ovalle-Perandones, Vicente P. Guerrero-Bote, Felix de Moya Anegon, Visualization of scientific co-authorship in Spanish universities from regionalization to internationalization, in: Aslib Proceedings, 61, 2009, pp. 83–100; Loet Leydesdorff, Olle Persson, Mapping the geography of science. Distribution patterns and networks of relations among cities and institutes, in: Journal of the American Society for Information Science and Technology, 61, 2010, pp. 1622–1634; Zaida Chinchilla-Rodriguez, Benjamin Vargas-Quesada, Yusef Hassan-Montero, Antonio Gonzalez-Molina, Felix Moya-Anegon, New approach to the visualization of international scientific collaboration, in: Information Visualization, 9, 2010, pp. 277–287; M. J. Cobo, A.G. Lopez-Herrera, E. Herrera-Viedma, F. Herrera, Science mapping software tools. Review, analysis, and cooperative study among tools, in: Journal of the American Society for Information Science and Technology, 62, 2011, pp. 1382–1402; Lutz Bornmann, Ludo Waltman, The detection of "hot Regions" in the geography of science – a visualization approach by using density maps, in: Journal of Informetrics, 5, 2011, pp. 547–553; Ali Gazni, Cassidy R. Sugimoto, Fereshteh Didegah, Mapping world scientific collaboration. Authors, institutions, and countries, in: Journal of the American Society for Information Science and Technology, 63, 2012, pp. 323–335.

49 Lutz Bornmann, Loet Leydesdorff, Christiane Walch-Solimena, Christoph Ettl, Mapping excellence in the geography of science. An approach based on Scopus Data, In: Journal of Informetrics, 5, 2011, pp. 537–546; Lutz Bornmann, Andrew Plume, Is it necessary to consider suburbs (or small cities in the close proximity) and name variants in a citation impact analysis for bigger cities? An investigation using Munich as an example, in: Journal of Informetrics, 5, 2011, pp. 695–697.