De la révolution scientifique à la science-monde

Aperçu historiographique

René Sigrist [1]

Le développement de la science moderne fait l'objet d'au moins deux historiographies différentes. L'une, qui s'intéresse à la naissance, au cœur du XVII^e siècle européen, de la science classique, s'attache à décrire les caractéristiques de la « Révolution scientifique » qui l'a produite. Une autre, qui cherche à comprendre l'extension universelle de cette « nouvelle science », étudie l'intégration des différents pays ou régions du monde à ce qui est peu à peu devenu un système scientifique international [2]. La géographie de ce système ou de cette « science-monde » est plus diversifiée que celle de la science classique [3]. Son objet est aussi plus large, puisque la recherche scientifique et médicale est devenue partie prenante d'une vaste entreprise de développement technico-industriel. Aussi son étude est-elle généralement associée à des problématiques assez larges, telles que la question des politiques de modernisation ou celle du développement économique et social. À l'opposé, l'historiographie de la Révolution scientifique ne s'intéressait, jusqu'à une époque assez récente, qu'à la recherche fondamentale. Il est vrai que l'impact social de la science galiléo-newtonienne était bien moins frappant que sa portée intellectuelle.

En partant de l'idée que la Révolution scientifique n'est que la première étape, purement intellectuelle, de l'entrée dans la modernité scientifique, le présent chapitre entend rapprocher les deux historiographies. Cela nécessite bien entendu de rendre les deux objets comparables. Il convient pour cela d'élargir quelque peu les perspec-

1. Cette recherche a été menée avec l'aide de la *Gerda Henkel Stiftung*, subside n° AZ 30/EU/11 et du Fonds national suisse, subside n° 100.011-137.579.

2. La notion de science classique, empruntée à Michel Blay et Robert Halleux (Blay & Halleux, 1998), est prise ici comme équivalent francophone de « *Early modern science* ». Le terme de nouvelle science renvoie davantage à la perception des contemporains, qui avaient l'impression de créer une astronomie nouvelle (Kepler) ou deux sciences nouvelles (Galilée).

3. La notion de science-monde est empruntée à Xavier Polanco (Polanco, 1990), qui l'a forgée sur le modèle de l'économie-monde de Braudel.

tives sur la science classique en montrant comment elle s'est peu à peu inscrite, à travers la professionnalisation de ses acteurs, dans les différents contextes institutionnels et sociaux de l'Europe des XVIII^e^ et XIX^e^ siècles. À l'inverse, il est nécessaire de restreindre l'approche de l'énorme complexe recherche et développement (R & D) à ce qui concerne plus particulièrement les sciences fondamentales. La notion de *science moderne*, qui servira de colonne vertébrale à ce double aperçu historiographique, est donc plus large que l'entreprise de mathématisation de la philosophie naturelle qui constitue le cœur même de la science classique. Elle est en même temps plus restreinte que le complexe R & D étudié par les sociologues du phénomène scientifique ou par les historiens du développement.

Par science moderne, nous entendons pour l'essentiel une recherche professionnalisée et intellectuellement structurée autour d'un certain nombre de disciplines fondamentales. Son aboutissement est la *science-monde*, qui désigne l'universalisation de pratiques d'investigation conçues comme objectives. Ce processus d'universalisation est lui-même au cœur même d'un immense débat historiographique. S'agit-il en effet d'une simple extension dans l'espace de pratiques de recherche nées en Europe ? Ou d'un processus de construction collective d'une objectivité scientifique par définition inter- ou trans-culturelle ? Ou encore de diffusion d'un système de production de connaissances indépendant de toute culture, parce que précisément objectif ? Avant de résumer les différentes réponses qui ont été apportées à cette question, il convient de remarquer que la notion de science moderne, ou celle de science-monde, recouvre deux aspects que l'on peut facilement dissocier : 1° le système scientifique international, qui désigne à proprement parler une sorte de méta-réseau intellectuel et institutionnel dont les origines remontent à la République des lettres classique ; 2° les communautés scientifiques nationales, qui ont peu à peu émergé en Europe et dans le reste du monde à partir de la fin du XVII^e^ siècle.

1 Un récit convenu des origines : la « Révolution scientifique »

Au temps où la science et le monde universitaire présentaient plus de certitudes qu'aujourd'hui, la naissance de la science moderne passait pour un événement assez simple. Elle était issue d'une Révolution scientifique, qui avait établi au cours du XVII^e^ siècle les fondements conceptuels d'une description mathématique de la nature. En jetant les bases de la mécanique et de l'optique modernes, des génies comme Galilée, Kepler, Descartes et Newton avaient donc mis fin à une forme de science millénaire, fondée sur une interprétation aristotélicienne du sens commun. Ils avaient ruiné une cosmologie fondée sur un univers géo-centré, c'est-à-dire anthropocentré, où le monde céleste n'était pas régi par les mêmes lois que le monde sublunaire. Cette révolution aurait été, dans l'histoire de l'esprit humain, un bouleversement équivalent à ce que le « miracle grec » fut pour la naissance de la rationalité et de la philosophie. Quant, à l'universalisation de la pratique scientifique, elle ne présentait pas davantage de difficultés d'interprétation : elle résultait d'un processus de diffusion comparable à celui de la civilisation elle-même. Ou pour mieux dire, elle était partie intégrante du processus universel de développement des sociétés modernes. À la genèse de la modernité décrite par Alexandre Koyré (1939), Herbert Butterfield (1949) ou A. Rupert Hall

(1954) répondait en somme la notion de diffusion de la civilisation scientifique décrite par George Basalla (1967) et reprise par des historiens des civilisations comme Toby Huff (1993).

Bien que parfois critiquées dès l'origine, ces certitudes un temps dominantes reflétaient le statut de la « civilisation scientifique » à l'époque des Trente Glorieuses. Certes, le modèle de la diffusion a rapidement subi des attaques de la part de ceux qui dénonçaient son européocentrisme, et sa façon de relativiser les rapports de force liés à la colonisation et à l'impérialisme européens. Aujourd'hui, la théorie de diffusion de la science européenne ne subsiste pratiquement plus qu'à travers les attaques incessantes dont elle est l'objet. L'idée de Révolution scientifique en revanche a mieux résisté, peut-être parce qu'à l'image du sinologue Joseph Needham, les historiens des nations émergentes étaient peu soucieux de réviser l'histoire scientifique de l'Europe. Au fil du temps certes, les critiques adressées à cette notion ont presque fini par la réduire au statut de la commodité de langage [4]. Nous vivons désormais une crise généralisée des modèles interprétatifs [5]. La référence constamment négative à la théorie de Basalla et l'appellation convenue de « Révolution scientifique » sont à peu près tout ce qui subsiste pour baliser un champ de recherches dont l'objet serait la naissance et le développement de la science-monde. C'est peu, on en conviendra. Mais l'histoire de la notion de Révolution scientifique, et les tribulations du modèle dit de la diffusion, n'en conservent pas moins tout leur intérêt.

Comme nous l'avons déjà laissé entendre, c'est à Alexandre Koyré qu'il convient d'attribuer l'idée de « Révolution scientifique » comme acte fondateur de la science moderne. Dans ses *Études galiléennes* (1939), Koyré s'attacha en effet à montrer comment la mécanique rationnelle du XVII^e^ siècle s'est radicalement démarquée de la physique aristotélicienne et scolastique, fondée sur le sens commun et les évidences de l'expérience sensorielle. Auparavant, des philosophes comme Gaston Bachelard ou des historiens comme Edwin A. Burtt avaient déjà souligné, à travers le développement de la philosophie mécaniste et du rationalisme galiléen, la rupture conceptuelle qui sépare la physique mathématique du XVII^e^ siècle de la philosophie naturelle médiévale et renaissante [6]. D'autres auteurs, comme Pierre Duhem, avaient développé une vision plus continue du passage entre la science médiévale et la science moderne [7]. Encore après Koyré, un certain nombre de spécialistes se sont efforcés de relever la persistance, tout au long du XVII^e^ siècle, des catégories aristotéliciennes, y compris pour ce qui concerne la notion d'expérience [8]. Ils sont demeurés minoritaires face à la « grande tradition » de l'histoire des sciences [9], attachée à caractériser l'essence même de la Révolution scientifique. Pour la majorité des historiens des années 1940 à 1970, c'est le caractère discontinu du développement scientifique au XVII^e^ siècle, voire au XVI^e^ siècle déjà, qui marque l'entrée dans la modernité. Pour Herbert Butterfield

4. Caractéristique est la phrase d'ouverture de l'ouvrage de Shapin, 1996 (p. 1) : « *There was no such thing as the Scientific Revolution and this is a book about it.* »

5. Nous suivons ici un point de vue déjà exprimé par Cunningham & Williams, [1993] 2003.

6. Bachelard, [1934] 1983 ; Burtt, [1924] 2003.

7. Duhem, [1908] 2004.

8. Parmi ces spécialistes de la philosophie naturelle médiévale et renaissante, il convient de mentionner Crombie, 1953, Schmitt, 1983 et Baroncini, 1992.

9. L'expression est de Shapin, 1996.

ou A. Rupert Hall comme pour Alexandre Koyré, l'essor du mécanisme et du matérialisme, et surtout la mathématisation de la philosophie naturelle qu'il a permis, constituent en effet des transformations révolutionnaires qui ont bouleversé la façon de pratiquer la science [10]. Pour ces auteurs comme pour bien d'autres [11], la remise en cause galiléenne d'un univers divisé entre un monde céleste de corps parfaits et un monde sub-lunaire soumis à la corruption, puis la mathématisation newtonienne de la philosophie naturelle, constituent les deux aboutissements majeurs d'une véritable révolution de l'esprit humain. Celle-ci fut à l'origine de la science et du monde modernes, par opposition au monde ancien et médiéval, où l'on pratiquait des formes de science presque aussi anciennes que l'humanité elle-même.

Parmi les premiers à critiquer cette interprétation classique figurent des spécialistes de la science anglaise, qui ont relevé la tendance de Koyré à identifier la modernité scientifique à l'idéalisation galiléenne, et par conséquent à sous-estimer le rôle de l'expérimentation et de l'induction telles qu'elles ont été pratiquées, à la suite de Bacon et de Boyle, par les fondateurs de la Royal Society de Londres [12]. Certains auteurs ont par ailleurs cherché à intégrer la science renaissante dans le récit du développement de la science moderne, se rapprochant du même coup d'une interprétation plus « continuiste » de la Révolution scientifique [13]. D'autres ont au contraire considéré qu'il était important d'intégrer la « Révolution chimique » du XVIII^e siècle dans le récit des origines de la science moderne [14]. Dans un cas comme dans l'autre, le caractère soudain de l'événement, impliqué par l'usage du mot révolution, devenait problématique.

2 D'une approche idéaliste à un paradigme constructiviste

S'il a existé un jour, le consensus autour de la notion de Révolution scientifique a volé en éclats au cours des années 1980. Dès 1977, Thomas Kuhn a fait valoir que les changements survenus dans la physique mathématique du XVII^e siècle ne recouvraient pas exactement les débuts de la science moderne, qui comprend également les sciences expérimentales ou empiriques [15]. Constatant que la quantification et la mathématisation de ces disciplines n'étaient intervenues qu'à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e siècle, Kuhn a ainsi proposé de parler de « Seconde Révolution scientifique » (*Second Scientific Revolution*), définie par lui comme « la quantification réussie des sciences baconiennes, qui avait à peine débuté dans le dernier tiers du XVIII^e siècle et qui n'a réalisé son plein potentiel qu'au XIX^e [16] ».

Il est évident que Koyré en particulier a eu tendance à minimiser l'importance de l'expérimentation et de l'induction, qui ont constitué l'essentiel de la science anglaise du XVII^e siècle. Plusieurs sciences empiriques étaient ainsi fondées à réclamer leur

10. Butterfield, [1949] 1965 ; Hall, [1954] 1966.

11. Parmi les ouvrages de référence de ces auteurs classiques, on citera : Gillispie, 1960 ; Cohen, 1960 ; Boas Hall, 1962 ; Westfall, 1971.

12. Hunter, 1989, Boas Hall, 1991.

13. Boas Hall, 1962.

14. Butterfield, [1949] 1965 a parlé à ce propos de « *delayed scientific revolution* ».

15. Kuhn, 1977.

16. Kuhn, 1977, p. 217-218 parle de *« ... successful quantification of the Baconian sciences [which] had scarcely begun at the last third of the eighteenth century and only realized its full potential in the nineteenth »*. Et ajoute, p. 220 : « *That realization [...] is one facet of a second scientific revolution no less consequential than the seventeenth-century revolution.* »

place dans une histoire révisée de la Révolution scientifique, en particulier l'anatomie, si remarquablement illustrées par les expériences de William Harvey et des physiologistes d'Oxford, mais aussi la chimie, et peut-être d'autres sciences « baconiennes » comme le magnétisme de William Gilbert ou encore la pathologie de Thomas Sydenham. En centrant trop exclusivement leur attention sur l'astronomie et les sciences physico-mathématiques, les historiens philosophes de l'après-guerre ont projeté sur le XVII^e^ siècle leur propre conception de la science, postulant ainsi une unité méthodologique qui n'existait pas à l'époque dans la philosophie naturelle, pas plus que dans l'histoire naturelle et les autres champs d'études qui préfigurent la science moderne [17]. Face à la philosophie mécaniste et corpusculaire, considérée comme le noyau conceptuel de la Révolution scientifique, un auteur comme Allen Debus a ainsi fait valoir l'existence d'une « philosophie chimique », qui, de Paracelse à Van Helmont et Boerhaave, aurait conditionné l'émergence de la chimie moderne, tout en transformant les conditions du débat médical et les conceptions mêmes du vivant [18]. Mais réintroduire Paracelse dans le débat revenait à poser la question du rôle de l'alchimie, de la magie naturelle, voire de l'occultisme dans la genèse de la science moderne. On a alors redécouvert que bien des savants de l'âge classique pratiquaient l'astrologie (à l'image de Kepler) ou (comme Newton) se passionnaient pour l'alchimie, la chronologie et l'interprétation de la Bible. La science de l'âge classique (*Early modern science*) était donc partie prenante d'une culture baroque où les phénomènes curieux ou extraordinaires étaient susceptibles de révéler les mystères de la Création. Certains auteurs ont même vu dans l'alchimie, la magie naturelle, voire dans l'occultisme, l'origine de l'ambition moderne de maîtriser la nature [19].

De même, l'étude des lois de la nature était une façon d'observer le Créateur à l'œuvre tout en rationalisant sa déconcertante liberté d'action. Aujourd'hui, l'idée positiviste, ou victorienne, que la religion ne pouvait engendrer qu'un conflit frontal avec la science, et en retarder ainsi les progrès, soulève trop d'objections pour être retenue telle quelle [20]. Déjà Robert K. Merton avait formulé une célèbre thèse, aujourd'hui remise en cause, sur le rôle du puritanisme anglais dans l'essor de la science (expérimentale) au XVII^e^ siècle [21]. Le cas de l'Église catholique, entachée par les condamnations de Galilée, Campanella et Giordano Bruno, et par le long combat des Jésuites en faveur d'Aristote et d'un univers géocentrique, ou géo-héliocentrique, semble plus délicat à plaider. Les œuvres de Copernic, Kepler, Galilée, Newton et leurs contemporains se développèrent néanmoins à l'intérieur d'un cadre de référence chrétien, et l'on peut admettre avec Cunningham et Williams que la philosophie naturelle du XVII^e^ siècle avait pour but d'étudier la nature et le monde tels qu'ils ont été créés par Dieu [22]. Au besoin, la science pouvait même servir de rempart contre l'athéisme. D'une manière plus large, Toby Huff a fait valoir que depuis l'introduction

17. Cette forme de « présentisme » (*whiggism*) était lui-même un héritage du positivisme, du positivisme logique de l'École de Vienne, et plus anciennement de la philosophie progressiste des Lumières.

18. Voir entre autres Debus, [1977] 2002 et Debus, 2001.

19. Voir en particulier Webster, 1982.

20. Stevin Shapin remarque que « le caractère constructif des rapports de la science et de la religion au XVII^e^ siècle semble aujourd'hui tellement évident que rares sont les études modernes, quelle que soit leur sensibilité, qui omettent d'y faire référence d'une façon ou d'une autre » (Shapin, 1996, trad. fr. 1998, « Essai bibliographique », p. 236).

21. Merton, [1938] 1970. Sur l'actualité de cette thèse, voir Shapin, 1988.

22. Cunningham & Williams, [1993] 2003, p. 233-234. Sur le cas de Newton, p. 226.

d'Aristote dans l'université médiévale, au début du XIV^e siècle, la position la plus constante de l'Église d'Occident face aux sciences de la nature fut celle d'un *nihil obstat* qui s'explique par l'héritage intellectuel de la philosophie grecque et par la culture juridique héritée du droit romain [23]. Allant plus loin encore, Stephen Gaukroger a fait valoir que le positionnement de la philosophie naturelle au cœur de la culture occidentale classique répondait à une nécessité, ressentie par les théologiens chrétiens du Moyen Âge et de la Renaissance de développer leurs réflexions sur des fondements rationnels afin de faire face au judaïsme, à l'islam, mais aussi à leurs propres divisions internes [24]. Par conséquent, les fondements intellectuels de la Révolution scientifique et de l'intérêt persistant pour les sciences de la nature étaient déjà bien en place dans l'Europe des XVI^e et XVII^e siècles [25].

Ces développements historiographiques s'opposent donc à l'image traditionnelle de la Révolution scientifique comme remise en cause des autorités religieuses aussi bien que comme contestation des autorités philosophiques anciennes (Ptolémée, Aristote, Galien). Dans une vision classique, ou positiviste, du progrès des sciences, la religion, la politique et la société ne pouvaient en effet qu'entraver la marche en avant du savoir, une marche rendue possible par le développement de la liberté de pensée et par l'autonomie intellectuelle des chercheurs. Pour leur part, les auteurs marxistes s'étaient efforcés de démontrer l'influence des infrastructures économiques, et particulièrement techniques, sur les développements théoriques et conceptuels de la science [26]. À cela, les représentants de la « grande tradition » libérale répondaient par des protestations indignées sur la nécessaire autonomie intellectuelle de la recherche scientifique. D'où un débat vif, mais quelque peu stérile, entre « internalistes » et « externalistes », débat qui se prolongea alors même que les aspects idéologiques de la controverse s'estompaient. Le clivage fut finalement dépassé lorsque Bruno Latour et Steve Woolgar imaginèrent, en 1979, de considérer les savants eux-mêmes comme une micro-société à part entière, une société dont les valeurs et les rites propres étaient susceptibles d'influer sur la façon dont les « faits » scientifiques sont construits et reconnus [27]. Cette approche micro-sociologique du laboratoire contemporain devait déboucher sur une approche constructiviste, et non plus idéaliste, du savoir scientifique, une approche centrée sur les pratiques de recherche plutôt que sur la philogenèse des idées et des théories [28].

Ce changement de perspective revient à considérer les liens entre science et société non plus en fonction d'improbables influences intellectuelles directes ou indirectes, mais à partir de l'impact des structures de recherche sur les configurations et les pratiques épistémiques. En se focalisant sur la façon dont des demandes sociales, étatiques ou

23. Huff, [1993] 2003.

24. Gaukroger, 2006, chapitre 1.

25. En faisant la synthèse de travaux précédents, en particulier celui de Huff, [1993] 2003, Gaukroger, 2006 a fait remarquer que seul l'Occident a fini par établir la science comme une culture intellectuelle destinée à prévaloir de manière permanente et à contraindre toutes les autres formes d'entreprise intellectuelle à se conformer à son modèle dominant de rationalité. Mais les raisons théologiques et philosophiques qu'il avance pour l'établissement de cette suprématie durable font bon marché des facteurs politiques, économiques et sociaux qui ont conduit à ce résultat.

26. Un fleuron de cette historiographie marxiste est Bernal, [1954] 1971.

27. Latour & Woolgar, 1979.

28. Sur les perspectives d'une approche constructiviste de l'histoire des sciences, voir Golinski, 1998.

idéologiques particulières ont pu configurer les institutions et les réseaux scientifiques, et définir le statut des chercheurs, on peut caractériser différents systèmes d'organisation de la science (académique, universitaire, libéral, militaire, industriel, colonial, etc.) qui se sont succédés et souvent combinés suivant les lieux et les époques. Au XVII^e siècle, ces systèmes n'existaient encore qu'à l'état embryonnaire, de sorte que les principaux acteurs de la Révolution scientifique s'inscrivaient dans des contextes institutionnels qui relevaient de l'Église (Copernic), de l'université et de la cour (Kepler, Galilée), de l'université et de l'administration (Newton) ou de ressources propres (Descartes). Au XVIII^e siècle, les systèmes nationaux se mettent peu à peu en place, selon un modèle étatique (à la fois académique et militaire) en France et en Prusse [29], en suivant un modèle universitaire dans les autres États germaniques et en Italie, ou encore selon un modèle libéral et industriel en Grande-Bretagne. Cette institutionnalisation est l'une des caractéristiques du passage de la philosophie naturelle classique à la science moderne, c'est-à-dire à la science tout court. Selon Cunningham et Williams, celle-ci se différencie de sa devancière par ses finalités laïques, ses préoccupations utilitaristes et la mentalité libérale de ceux qui la pratiquent [30]. Or ces valeurs ne s'imposeront qu'à travers une triple révolution industrielle, politique et intellectuelle survenue au cours de la période 1760-1850, et à l'issue de laquelle le triomphe des classes moyennes en Europe occidentale marquera l'avènement d'une société fondée sur l'utilité professionnelle et le mérite. C'est dans ce cadre-là que s'opérera la définition des finalités de la science moderne, et sa mise en œuvre par des chercheurs professionnels. Ceux-ci deviennent majoritairement des professeurs d'université, dont la carrière dépend en effet des aptitudes scientifiques, mesurées par la capacité à publier des ouvrages et des articles spécialisés.

3 De la science classique à la science positive

De tout ce qui précède, il ressort que la Révolution scientifique n'a pas accouché de la science moderne telle qu'elle a été définie ci-dessus, mais de quelque chose qui pourrait s'appeler la science classique. Il convient d'entendre par là un système de connaissances dominé par les mathématiques pures et appliquées, par la philosophie naturelle et l'astronomie, et au sein duquel l'intégration de domaines comme l'anatomie, la chimie ou l'histoire naturelle demeure très incertaine. Ces sciences empiriques ne connaissent d'ailleurs pas de soudaine transformation par rapport aux pratiques en vigueur à la Renaissance, même si des méthodes plus rigoureuses de validation des savoirs sont fondées sur l'observation et l'expérimentation. Ces méthodes requièrent des environnements de travail spécifiques [31], et parfois l'usage d'instruments nouveaux [32]. Sur un plan plus philosophique, Michel Foucault a proposé l'appellation d'*epistemè* classique pour caractériser une science fondée sur la recherche de l'ordre naturel, dans laquelle l'histoire naturelle tient lieu de biologie, l'analyse des richesses de science

29. Sur le rôle des demandes militaires dans le développement d'une recherche publique en France, voir Bret, 2002.

30. Cunningham & Williams, [1993] 2003.

31. Dès le milieu du XVI^e siècle, le théâtre anatomique, l'observatoire, le jardin botanique, et dans une moindre mesure le laboratoire de chimie, le cabinet d'histoire naturelle, voire l'atelier mécanique, deviennent peu à peu des lieux de savoir au même titre que la bibliothèque.

32. Le télescope, le microscope, le thermomètre et le baromètre apparaissent au début du XVII^e siècle, la pompe à vide un peu plus tard.

économique, la philologie et la grammaire de linguistique [33]. Cette science classique, qui se distingue clairement de l'humanisme philologique de la Renaissance, ignore encore le système moderne de disciplines fondamentales, dans lequel les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie ou la géologie constituent des éléments essentiels de l'organisation du travail scientifique. L'élaboration de ce système, caractérisé par Auguste Comte comme constitutif de la science positive, se fit pour l'essentiel à la charnière des XVIII^e^ et XIX^e^ siècles. À la suite de Kuhn, certains historiens ont qualifiée ce processus de « Seconde Révolution scientifique [34] ».

L'une des phases majeures de cette transformation, à savoir la « Révolution chimique » des années 1770-1780, a fait l'objet d'une abondante littérature [35]. L'historiographie est en revanche moins avancée pour ce qui concerne la naissance de la physique, de la biologie, ou même de la géologie modernes. En physique, les progrès de l'instrumentation et de la quantification permettent la mathématisation de nouveaux domaines tels que l'électricité, le magnétisme ou la chaleur, qui jusque-là relevaient plutôt de la philosophie ou de l'histoire naturelles [36]. Deux aboutissements marquants de cette évolution seront la naissance de l'électromagnétisme au début des années 1820, puis de la thermodynamique dix ans plus tard [37]. Dans l'intervalle, l'ancienne opposition entre science des causes (philosophie naturelle ou physique) et science des faits (histoire naturelle) a cédé la place à une opposition entre physique (science de la matière inanimée) et biologie (science de la vie). Comme la physique, la biologie se conçoit désormais comme une science théorique fondée sur des données empiriques [38]. L'histoire naturelle, pratiquement réduite aux règnes animal et végétal, devient justement pourvoyeuse de ces données empiriques, tandis que la minéralogie se rapproche de la chimie et de la physique. Quant à la géologie, elle connaît une émergence en tant que discipline grâce à la combinaison entre un nouveau paradigme théorique et des données empiriques enfin systématisées [39].

En fait, les transformations qui surviennent à la charnière des XVIII^e^ et XIX^e^ siècles vont bien au-delà d'une reconfiguration de l'architecture des disciplines : elles concernent également les pratiques de recherche, en particulier la systématisation des pratiques empiriques (expérimentation, instrumentation, quantification, analyse chimique) et leur combinaison avec la rationalité mathématique. Ces transformations

33. Foucault, 1966 & 1969. Cette conception de la science classique ignore les distinctions que certains historiens ont tenté d'établir entre science baroque (voir ROGER 1995) et science des Lumières (voir Rousseau & Porter, 1980, ainsi que Clark, Golinski & Schaffer, 1999).

34. Kuhn, 1961, p. 190 (première occurrence) ; Bernal, [1954] 1971 ; Hahn, 1971, p. 275-276 ; Sibum, 2003.

35. Pour une synthèse incisive, qui met d'ailleurs la notion de Révolution chimique dans une perspective de plus longue durée, voir Holmes, 1989. Sur la naissance de la chimie organique, voir Tomic, 2010.

36. Sur les caractéristiques de l'*Early Modern Physics*, particulièrement l'électricité, voir Heilbron, 1982.

37. Malgré de nombreux travaux consacrés à l'émergence de ces deux nouveaux champs, il n'existe apparemment aucune étude d'ensemble sur l'émergence de la physique comme science unifiée combinant la rationalité mathématique et les pratiques expérimentales.

38. On possède plusieurs études sur la naissance, vers 1802, du mot biologie, ainsi que des mises au point sur les transformations de l'histoire naturelle après Buffon (voir en particulier Corsi, [1983] 2001, chapitre 1). Mais il n'existe à notre connaissance aucune vue d'ensemble sur l'évolution des sciences du vivant à l'aube du XIX^e^ siècle.

39. Rudwick, 2005. C'est à l'occasion du grand débat qui s'ouvre dans les années 1780 et 1790 entre Neptunistes, Vulcanistes et Plutonistes que la géologie se constitue comme science de l'histoire de la Terre dotée d'un paradigme théorique. Les données empiriques sur lesquelles elle se fonde proviennent du développement de la géographie physique et de la paléontologie, ainsi que de la généralisation de l'usage des fossiles comme « chronomètres », ce qui permet le passage de la géognosie à la stratigraphie.

vont d'ailleurs de pair avec une réorganisation en profondeur de l'entreprise scientifique, marquée par les phénomènes suivants :

1. l'institutionnalisation de la science (création de laboratoires), sa consécration dans les facultés universitaires et les grandes écoles, qui favorisent la constitution de communautés nationales de chercheurs en France, en Grande-Bretagne, en Suède, en Russie, mais aussi en Allemagne et en Italie ainsi qu'aux États-Unis ;
2. la professionnalisation des chercheurs et la progressive émancipation des expérimentateurs par rapport aux artisans, aux ingénieurs et aux constructeurs d'instruments, ce qui permet leur intégration dans les universités [40] ;
3. le développement de rapports plus étroits entre science, industrie et agriculture.

Tous ces phénomènes relèvent de processus qui s'inscrivent dans la longue durée. Dans le contexte révolutionnaire des années 1760-1850, ils connaissent cependant une accélération qui va de pair avec les bouleversements industriels, politiques et intellectuels de l'époque. Ils sont d'ailleurs liés les uns aux autres. Ainsi, l'essor des applications pratiques de la science entraîne une redéfinition fondamentale de ses finalités, et par conséquent du rôle du savant dans la société. Mais ce rôle correspond aussi à une laïcisation des finalités de la société elle-même. À l'origine de l'essor industriel britannique, Margaret Jacob voit ainsi l'application aux techniques d'une mentalité newtonienne interprétée dans le sens du « *Radical Enlightenment* » de Spinoza [41]. James Watt devient l'exemple même d'une attitude entrepreneuriale marquée par le rationalisme mécaniste, le souci d'efficacité pragmatique, et surtout la foi dans la méthode scientifique, c'est-à-dire l'expérimentation systématique, comme facteur de progrès. On est loin de la philosophie naturelle à finalités théologiques décrite par Cunningham et Williams comme caractéristique de la science anglaise du XVII^e siècle. Dans le domaine de la chimie également, les expériences publiques deviennent, entre 1760 et 1820, une partie intégrante de la culture britannique, que ce soit dans les milieux industriels des Midlands, dans les universités écossaises ou même dans les salons aristocratiques de la capitale [42].

En France, la Révolution va accélérer des transformations institutionnelles et sociales qui ne parvenaient pas à s'opérer dans les structures rigides de l'Ancien Régime. La figure de l'ingénieur civil et militaire, issue des corps de l'artillerie, du génie, des ponts et chaussées et des mines, se trouve consacrée avec la création de Polytechnique et du système des grandes écoles, dont l'enseignement est basé sur les mathématiques. La figure du polytechnicien supplante celle de l'académicien d'Ancien Régime comme idéal du savant accompli, détenteur d'un savoir technique de haut niveau. À travers lui se trouve comblé d'un seul coup le hiatus qui existait entre savants détenteurs d'un savoir théorique et ingénieurs de formation pratique. La professionnalisation

40. Voir en particulier Sibum, 2003 pour le cas allemand.
41. Jacob, 1997.
42. Golinski, 1992. Cette culture expérimentale partagée, fondée sur des méthodes d'analyses plus précises et plus sophistiquées, va marginaliser les philosophes de la nature et faire du chimiste un savant physicien doté d'un programme de recherches empiriques encadré par un appareil théorique nouveau.

des chimistes progresse également grâce à Polytechnique. Lors de la mobilisation de l'an II, ceux-ci ont d'ailleurs fait la preuve de leur utilité dans la production massive de poudre. Même les sciences naturelles ne sont pas oubliées, grâce à la transformation du Jardin du roi en Muséum national d'histoire naturelle [43].

En Allemagne, l'essor de la philosophie semblait a priori moins favorable à la constitution de disciplines scientifiques modernes, surtout celles établies sur des fondements empiriques. En 1810 encore, lorsqu'il s'agira d'établir l'Université de Berlin comme nouveau foyer intellectuel national, Alexander et Wilhelm von Humboldt donneront la priorité à la faculté de philosophie, ce qui retardera d'autant l'intégration des savants expérimentateurs aux universités prussiennes. Influencés par les idées de Schelling, les frères Humboldt croyaient en effet au pouvoir de la raison d'élaborer des sciences a priori, même si le cadet Alexander s'était fait un nom comme savant de terrain. Fort heureusement, les traditions développées par les universités allemandes en médecine, en mathématiques, en astronomie, en chimie et en minéralogie étaient trop enracinées pour être durablement influencées par des systèmes comme la *Naturphilosophie*, d'autant que les carrières des professeurs dépendaient de plus en plus de leur aptitude à publier des manuels et à faire des recherches originales [44]. Aussi l'invention, dans les années 1830, de l'enseignement pratique en laboratoire va-t-elle se diffuser dans les facultés de philosophie, pour la chimie d'abord, puis la physique et la physiologie. Elle va assurer au système universitaire allemand un avantage durable en matière de formation scientifique.

En 1832, la nouvelle British Association for the Advancement of Science, prenant acte des transformations intellectuelles et sociales en cours, exprimera le besoin de définir un nouveau terme pour désigner tous ceux qui, au-delà du « *natural philosopher* », travaillent de concert au développement des sciences de la nature. William Whewell fournira bientôt la réponse : ce sera le « *scientist* ». Le professionnel de la recherche était enfin identifié.

4 Les origines de la science-monde : le modèle de la diffusion

Dans sa forme classique, le modèle de la Révolution scientifique semblait offrir une base assez simple pour expliquer la genèse de la science-monde. Le caractère supposé universel de la « nouvelle science » permettait en effet de l'implanter sans difficultés majeures dans le monde entier. Telle est, dans les années 1950, la position de Joseph Needham, l'historien de la science chinoise. Acceptant l'idée d'une nette séparation entre science antique et médiévale d'une part et science moderne de l'autre, il considère que la première était profondément enracinée dans la culture européenne, mais incapable de définir les règles d'un consensus intellectuel universel. La seconde au contraire, parce qu'elle s'est dotée depuis 1600 environ de méthodes universelles de validation des connaissances, n'avait rien de spécifiquement européen ou occidental. Ses principes et ses caractéristiques pouvaient donc s'appliquer tout aussi bien à la Chine. Et de fait, Needham s'est efforcé d'interpréter l'épisode de la science jésuite en Chine à partir de l'idée qu'il n'y avait pas de distinction essentielle entre science mondiale

43. Dhombres & Dhombres, 1989.
44. Voir Clark, 2006.

(*world science*) et science chinoise (*specifically Chinese science*). Il a tenté à partir de là d'établir un bilan de l'impact (positif et négatif) des Jésuites sur l'astronomie chinoise, puis de caractériser les influences mutuelles entre pensée chinoise et occidentale [45]. Tout cela ne va pas sans engendrer quelques contradictions, la principale étant que les Jésuites eux-mêmes avaient conscience d'exporter un savoir chrétien, tandis que les Chinois, qui en acceptèrent les fruits, ne le firent qu'après avoir été convaincus que ceux-ci étaient issus de leur propre tradition algébrique, ou du moins compatibles avec elle [46]. La science en question n'était donc ni universelle, quoique susceptible de donner lieu à des échanges [47], ni moderne, ce que montre bien le refus commun de la théorie de Copernic. Lorsque la science pratiquée en Europe sera devenue véritablement moderne, la confrontation avec les mathématiques chinoises prendra une toute autre tournure qu'à l'époque des Jésuites. À l'issue de la Première Guerre de l'opium (1839-1842), la supériorité des techniques militaires occidentales devint si évidente qu'elle provoqua un alignement assez brutal des pratiques mathématiques chinoises sur les standards disciplinaires occidentaux. Si les Chinois entendaient maintenir les fondements du savoir issus de la tradition humaniste confucéenne, ils devaient également tenir compte des connaissances techniques occidentales. C'est pourquoi le nouveau Bureau chinois des Affaires étrangères instaura un Collège d'interprètes (1862) qui fut lui-même doté d'un département de mathématiques (1866) [48]. Il apparaissait ainsi clairement que cette science était considérée comme la clef de la puissance militaire. Plus tard, l'enseignement des mathématiques occidentales fut introduit dans les académies militaires de Shanghai, Canton et Fuzhou. Un examen de mathématiques fit partie du curriculum ordinaire à partir de 1887. L'existence de deux systèmes de connaissances, l'un traditionnel et l'autre moderne, ne faisait donc plus de doutes pour les Chinois. L'exemple de la Chine, comme celui du Japon, montre qu'au XIX^e^ siècle, la maîtrise de la science moderne était étroitement liée à des enjeux de pouvoir et de domination. C'est dans ce contexte de rapports de force qu'est apparue la notion de « science coloniale ».

C'est apparemment Donald Fleming qui a le premier mis en avant l'idée de science coloniale, dans un article de 1964 consacré à l'Australie, au Canada et aux États-Unis [49]. Cette notion permettait de caractériser la position de savants qui, au XIX^e^ siècle, se trouvaient dans une situation de dépendance par rapport à leurs collègues métropolitains, tant pour ce qui concerne l'interprétation théorique de leurs données que pour la validation de leurs travaux de terrain. Peu après, George Basalla a fait de la science coloniale une phase normale de l'extension au reste du monde de la science occidentale. Cette *diffusion* – un terme qui devait rester accolé à ce modèle explicatif

45. Needham, 1958, en particulier p. 1-6 et 12-13.

46. Un résultat imprévu de l'intrusion des Jésuites fut de permettre à une partie des savants chinois de redécouvrir la richesse de leur propre tradition scientifique, et notamment algébrique, des XII^e^, XIII^e^ et XIV^e^ siècles. Catherine Jami a montré que le relatif intérêt des érudits chinois pour le savoir scientifique des Jésuites était principalement dû à la volonté de beaucoup d'entre eux de retourner aux sources du confucianisme en insistant sur l'utilité sociale du savoir, et particulièrement des mathématiques (Jami, 1992). À l'image du mathématicien et astronome Mei Wending (1633-1721), ils étaient d'ailleurs convaincus de l'origine chinoise du savoir occidental.

47. Nous n'examinerons pas ici la question de l'influence, *a priori* douteuse, de la Chine sur la science occidentale.

48. Voir Breard, 2004.

49. Fleming, 1964.

– résultait d'un processus en trois phases, qui se recoupent en partie, et sont caractérisées par : 1° l'absence de science moderne ; 2 ° le développement d'une science coloniale ; 3° la mise en place d'une science nationale moderne [50] (fig. 1A). Dans la phase 1, l'activité scientifique est d'origine européenne et consiste essentiellement en un inventaire des ressources disponibles. L'histoire naturelle est donc la science reine. Dans la phase 2, on voit apparaître des savants autochtones (Amérique du Nord et du Sud ainsi que Russie au XVIII^e siècle ; Japon, Australie, Inde et Chine au XIX^e ; Afrique au XX^e), mais leurs activités continuent de dépendre d'institutions dont le centre se trouve en Europe. La palette des domaines de recherche tend néanmoins à s'élargir. Dans la phase 3, les savants autochtones se battent pour établir une tradition scientifique indépendante : ils établissent leurs propres instituts de formation et de recherche, et développent leurs propres structures de publication et de reconnaissance du mérite scientifique. Basalla accepte pleinement l'idée, alors dominante, selon laquelle la science moderne s'est élaborée au cours des XVI^e et XVII^e siècles à travers une Révolution scientifique « qui a fermement établi le point de vue philosophique, l'activité expérimentale et l'institution que l'on identifie désormais comme science moderne [51] ». Il se représente son extension au reste du monde par un processus de diffusion ou de percolation intellectuelle et institutionnelle, dont la science coloniale constitue une phase nécessaire, mais transitoire. Par analogie avec le processus qui mène du sous-développement au développement économique et social, il considère que le développement de la science dans le monde doit être modelé sur l'Europe, ce qui suppose de réunir un certain nombre de conditions qui y prévalent, telles que l'absence de résistances religieuses ou philosophiques à la recherche scientifique, la valorisation sociale des savants, l'indépendance des institutions scientifiques vis-à-vis du gouvernement ou l'existence d'infrastructures techniques suffisantes. On pourrait tout aussi bien parler de transplantation du colonisateur vers le colonisé. Dans tous les cas, cette diffusion s'est faite principalement par contact avec un ou plusieurs pays européen, ce contact pouvant être établi à travers la colonisation, l'impérialisme ou plus généralement par un ensemble de relations commerciales et politiques.

Le modèle de Basalla a immédiatement suscité deux types de critiques, qui d'ailleurs se rejoignent : 1° celle d'ignorer la variété des situations historiques concrètes, notamment la différence entre pays véritablement colonisés et pays soumis à une domination de type impérialiste (Mac Leod, [1982] 1987), ou la différence entre colonies de peuplement récent et colonies marquées par un peuplement dense et par des cultures traditionnelles bien établies (Inkster, 1985) ; 2° celle de banaliser la notion de science coloniale et de sous-estimer les rapports de domination et les conflits qu'elle engendrait.

Bien que son modèle prétende s'appliquer à l'ensemble du monde non européen, et même à l'Europe de l'Est, il est assez évident que Basalla a développé ses réflexions à partir des cas de l'Australie, du Canada et des États-Unis, soit des pays où la construction d'une communauté savante « autochtone » est allée de pair avec celle

50. Basalla, 1967.

51. « *A small circle of Western European nations provided the original home for modern science during the 16th and 17th centuries [...]. The relatively small geographical area covered by these nations was the scene of the Scientific Revolution which firmly established the philosophical viewpoint, experimental activity, and social institutions we now identify as modern science.* » (Basalla, 1967, p. 611.)

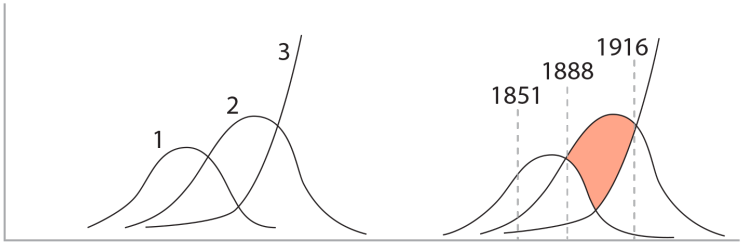


Figure 1 – A (à gauche) – Schéma de développement de la science moderne dans les pays non européens selon George Basalla (1967). Les trois séquences de diffusion de la science occidentale, qui montrent à chaque fois un niveau d'activité scientifique croissant, sont caractérisées par : (1) l'absence de science moderne ; (2) le développement d'une science coloniale ; (3) la mise en place d'une science nationale moderne. B (à droite) – Les points d'inflexion valables pour le cas australien selon Ian Inkster (1985). 1851 marque le début de la science coloniale, soit l'origine du phénomène de transplantation vers la colonie des institutions de la science moderne. 1888 correspond au moment où la science coloniale prend plus d'importance que la science métropolitaine. 1916 désigne le moment où les institutions de la science australienne deviennent plus significatives que celles de la science coloniale. La partie colorée en orange souligne la coïncidence entre la science coloniale et la culture occidentale australienne, coïncidence qui n'existe pas dans des pays comme l'Inde, la Chine ou le Japon

d'une nation. L'écart culturel entre la métropole et la colonie y était minimal, de sorte que le transfert de valeurs, de pratiques et d'institutions censé permettre l'essor de la science moderne dans la colonie n'a guère posé de problèmes. La dynamique scientifique endogène se combine ainsi très bien avec le développement du pays et sa marche vers l'autonomie intellectuelle et politique [52]. Dans le cas de l'Australie, Ian Inkster s'est même amusé à dater les points d'intersection des trois courbes postulées par Basalla, afin de déterminer les dates clefs des différentes phases de son développement scientifique [53] (fig. 1B). Des situations relativement comparables se sont présentées aux XVIII^e^ et XIX^e^ siècles en Russie et en Amérique du Nord. En Russie en effet, l'acclimatation de la science moderne faisait partie intégrante du projet de Pierre le Grand et de ses successeurs de rompre avec la tradition orthodoxe et de fonder un État et une société modernes. Aux États-Unis également, le développement scientifique, d'abord lié à la découverte et à l'inventaire des ressources d'un territoire en expansion, est longtemps resté associé à l'émergence d'une nation, à l'image d'ailleurs de ce qui se passait dans les États européens du XVIII^e^ siècle. Ce n'est qu'après 1850 environ que la science américaine, enfin débarrassée de son complexe colonial, sera davantage associée à l'industrialisation et au développement économique du pays [54].

Mais dans le même temps, Ian Inkster prend bien soin de distinguer le cas de pays « neufs » comme l'Australie, où la domination de la science coloniale n'est guère limitée par des traditions scientifiques préexistantes, de celui de pays « anciens » comme l'Inde, la Chine ou le Japon, où l'existence de fortes traditions scientifiques autochtones est capable de sérieusement limiter la place de la science importée de

52. Chambers & Gillespie, 2001, p. 224-226.
53. Inkster, 1985.
54. Sur le rôle de la science dans la pensée politique des pères fondateurs et dans le développement économique des États-Unis, voir Cohen, 1995 et 1961.

l'Occident [55]. Dans un article ultérieur, consacré aux transferts de technologie, il développe l'idée d'un conflit entre le système scientifique et technique autochtone et le système occidental, conflit qui n'existe pas dans le cas de l'Australie, où le développement de la science se fait en suivant le modèle occidental [56].

Pour sa part, Roy Mac Leod a développé toute une réflexion sur l'architecture de la science impériale, par opposition avec la science coloniale proprement dite [57]. Directement issue de la science métropolitaine, dont elle est une forme dérivée, la science coloniale permet à la métropole de fixer l'agenda des recherches des savants coloniaux (qu'ils soient issus ou non de la métropole), circonscrivant ceux-ci à la collecte de faits, notamment en histoire naturelle, en météorologie et en astronomie. Pour l'essentiel, la science coloniale n'est donc qu'une extension de la description géographique et naturaliste de la colonie, qui doit permettre l'identification des ressources dont elle dispose. Du point de vue de la colonie, cela signifie que la science pratiquée sur place est en accord avec les directives de la métropole, même si elle entretient également des liens avec les intérêts agronomiques ou mercantiles locaux. La science impériale témoigne au contraire d'une volonté plus paritaire de la métropole de renforcer les liens avec son empire. Cette version scientifique de l'impérialisme, qui a connu son apogée en Grande-Bretagne dans les années 1870 et 1880, s'est incarnée dans un ensemble d'institutions, de dispositions légales et d'associations professionnelles dont la signification diffère selon qu'on la considère du point de vue de l'Angleterre ou du point de vue des entités politiques sous influence, colonies ou non. Ce système repose néanmoins sur une promotion systématique des idées et des valeurs scientifiques occidentales, soit une tendance à soumettre tous les aspects de la vie intellectuelle et sociale aux normes du développement scientifique et technique moderne [58]. À partir de ce constat, Roy Mac Leod réexamine le cas du développement de la science en Inde et dans l'ensemble de l'empire britannique, où il distingue cinq phases entre le début du second empire britannique (1780), et la proclamation du *Commonwealth of Nations* (1947) [59].

5 Conceptualiser le développement scientifique dans un pays « ancien » : le cas de l'Inde

La seconde critique faite au modèle de la diffusion de Basalla était, rappelons-le, de banaliser la notion de science coloniale. À partir des années 1980, les historiens de la colonisation, de l'impérialisme et du développement ont souligné de plus en plus

55. Inkster, 1985.

56. Inkster, 1995.

57. Mac Leod, [1982] 1987.

58. Mac Leod qualifie cette tendance de « baconienne », par référence au projet scientifique et politique développé dans la *New Atlantis* de Francis Bacon (1627).

59. Ces cinq phases sont : (1) science métropolitaine (1780-1825 / 30), gouvernée par la *Royal Society* de Londres et des compagnies à charte comme l'*East India Company* ; (2) science coloniale (1825 /30-1880) avec l'apparition, à l'instigation de la métropole, des premières institutions scientifiques dans les colonies ; (3) science fédérative (1880-1900), avec tentative de mettre sur pied une coordination scientifique impériale ; (4) période d'« *efficient imperialism* » (1900-1914), où la collaboration scientifique avec les colonies et les dominions apparaît comme une manière de maintenir l'unité de l'empire ; (5) les débuts du Commonwealth (1914-1947), où le développement d'activités scientifiques indigènes est considéré comme un prélude à l'indépendance politique (fondation de l'*Indian Science Congress*, 1914). La science métropolitaine est elle-même vue comme une aide au développement économique des colonies.

nettement le rôle de la science moderne comme outil de contrôle dans les différents États coloniaux européens [60]. Dans le cas de l'Inde en particulier, le rôle crucial de la science dans la construction et dans la légitimation de l'État colonial britannique a été largement documenté [61]. Par conséquent, la construction ultérieure d'une communauté scientifique nationale s'y est faite dans un contexte de tension permanente entre les élites de la métropole et les élites autochtones, ce qui nécessita la mise sur pied de structures parallèles à celles de la science coloniale ou impériale [62]. Ces structures, qui permettront aux savants autochtones de trouver un chemin vers la modernité scientifique, et donc vers la reconnaissance internationale, ont d'ailleurs entretenu un rapport complexe avec la tradition intellectuelle indienne aussi bien qu'avec la science impériale [63]. L'historiographie de la science en Inde porte la trace de ces tensions et de ces contradictions [64].

La plupart des historiens du développement s'accordent désormais à penser que la science moderne s'est avérée incapable de soulager les maux engendrés par la colonisation, en particulier les famines. Les acquis civilisationnels d'avant la colonisation ne sont d'ailleurs plus guère contestés, quelle que soit la civilisation considérée. Par ailleurs, le rôle des élites indigènes, et leur utilisation sélective des institutions d'enseignement coloniales pour assimiler la science moderne, ont été mis en évidence [65]. Les stratégies d'adaptation développées par les techniciens locaux pendant la colonisation ont aussi trouvé leurs historiens [66], de même que l'action, désormais particulièrement valorisée, de nombreux intermédiaires culturels [67]. Mais les divergences d'interprétation demeurent importantes. Certains auteurs ont ainsi souligné les liens entre développement de la recherche scientifique, essor du capitalisme britannique et modernisation de l'Inde. Mais d'autres ont mis ces liens en doute [68], ou ont préféré insister sur les liens entre science moderne, domination et violence [69]. Certains en viennent même à contester l'idée que la science moderne soit un facteur de progrès ou soit supérieure aux savoirs traditionnels, dans lesquels on cherche pourtant à récupérer des éléments de rationalité afin de démontrer leur influence dans l'élaboration de la science moderne [70] ! Pour de nombreux historiens de l'Inde, la rencontre entre savoirs occidentaux et non occidentaux a reconfiguré l'ensemble de la science moderne : cette vision œcuménique de la science, qui se fonde sur la notion de « *cross-cultural*

60. Voir entre autres Mac Leod, 2000 et Stuchtey, 2005 (en général), mais aussi Drayton, 1998 (Empire britannique), et Osborne, 2005 (Empire français). Ce domaine des « *colonial and post-colonial studies* » continue à faire l'objet de nombreuses publications et il semble que le filon soit encore loin de se tarir.

61. Voir entre autres Baber, 1996.

62. Krishna, 1992. Sur l'acceptation par les élites indiennes de la médecine occidentale comme composante de leur propre projet hégémonique, voir Arnold, 1993.

63. Même minoritaire, la position négative d'un Gandhi face à l'industrialisation est symbolique des rapports complexes entre science, tradition et modernité en Inde.

64. Voir l'introduction et les différentes contributions du recueil édité par Habib & Raina, 2007.

65. Raj, 2007, chapitre 1. Le rôle fondamental des institutions indigènes dans l'assimilation de la science occidentale en Inde est désormais bien établi.

66. Voir Mac Leod & Kumar, 1995.

67. Voir Schaffer *et al.*, 2009

68. Dans d'autres contextes (Chine et Japon), certains auteurs ont parlé d'une modernisation sans science (Will, 1995).

69. Nandy, 1988.

70. Cette démarche était déjà celle de Prafulla Chandra Ray (1861-1944), l'un des pères fondateurs de la chimie moderne en Inde (Krishna, 1992, p. 127).

references[71] », recouvre néanmoins des points de vue divergents. Certains pensent que la situation coloniale, et par conséquent les influences mutuelles, demeurent asymétriques : les pratiques sociales et matérielles de la recherche ont en effet un aspect local, mais celui-ci demeure subordonné au processus d'universalisation du savoir, qui fait intervenir un certain nombre de médiations tendant à calibrer et à standardiser les résultats[72]. D'autres historiens, désireux de réagir au discours scientiste et européo-centré, refusent l'idée que la science indigène soit de moindre importance que la science de la métropole, ou lui soit subordonnée[73]. Ils parlent de « *so-called modern science* » et s'attachent volontiers à minimiser les résistances des forces attachées à la tradition. Il existe en effet des cas d'innovations en périphérie, par exemple au niveau de la cartographie et des classifications végétales, ou à travers la mise sur pied d'institutions telles que les collèges techniques[74]. Reste cependant à savoir dans quelle mesure ces innovations ont pu stimuler l'essor de nouvelles traditions de recherche, voire inspirer la recherche ou la création d'institutions scientifiques dans les métropoles européennes elles-mêmes.

Trois décennies de monographies critiques, que l'on peut englober sous le terme de « *colonial and post-colonial studies* » aboutissent ainsi à une sorte de rejet généralisé de tous les modèles, ceux qui postulent une confrontation des savoirs, ou une simple remise en forme des savoirs traditionnels, aussi bien que le classique modèle de la diffusion. Mais si la modernité scientifique ne fait plus l'objet d'aucun consensus quant à sa nature, ses effets ou ses finalités, il devient difficile de situer la participation des savants indiens, ou celle d'autres savants du « Sud », à son élaboration. Or le manque de clarté dans le débat semble résulter en partie d'une absence de consensus sur ce qu'il faut entendre par « science moderne », « transfert de savoirs » ou même « techniques ». Pour ce qui concerne le XIX^e^ siècle, les cas du Japon et de l'Empire ottoman, comme celui déjà évoqué de la Chine, permettent toutefois de rappeler dans quel contexte historique précis – celui d'un déséquilibre militaire évident – est apparue la nécessité de *transférer* certaines techniques et certaines connaissances scientifiques occidentales.

6 Transferts de techniques et de connaissances : les cas du Japon et de l'Empire ottoman

Si l'on pouvait établir une distinction de nature entre sciences fondamentales, sciences de terrain et développements techniques, le débat sur l'élaboration de la science-monde et sur les procédures de transfert des connaissances gagnerait peut-être en clarté. Les sciences de terrain, peut-être parce qu'elles portent sur des données empiriques moins facilement systématisables, semblent les plus sensibles aux contextes culturels dans lesquels elles se développent. Il en va de même pour les techniques instrumentales, industrielles ou agricoles, notamment celles qui ne requièrent pas une formation scientifique supérieure. Dans ces domaines, l'Inde et l'Empire ottoman présentent ainsi des

71. Harding, 1998.
72. Raj, 2001.
73. Prakash, 1999. Cet ouvrage insiste sur le fait que la modernité voulue par les Indiens est à la fois occidentale et indigène.
74. Dionne & Mac Leod, 1979.

exemples d'influences croisées, ainsi que des cas de réinterprétations sélectives de savoirs scientifiques. Pour qui concerne les sciences fondamentales, en particulier les sciences mathématisées, il semble au contraire que les possibilités d'interactions entre cultures scientifiques diminuent à mesure que leurs fondements théoriques et méthodologiques deviennent plus systématiquement ordonnés [75]. Ainsi au XIX^e siècle, la possibilité pour les mathématiques chinoises d'influencer la science européenne a disparu, alors qu'elle existait théoriquement encore deux siècles plus tôt, à l'époque des Jésuites. Cela vaut également pour le Japon, où le passage d'un système de connaissance à l'autre fut encore plus brutal qu'en Chine.

Au Japon, la fermeture aux influences étrangères avait été la politique officielle du Shogunat Tokugawa depuis 1639. C'est donc un cas d'école pour l'histoire de l'implantation de la science moderne, conçue dans une optique de transfert. Cette histoire commence au début du XVIII^e siècle, avec la traduction, par l'intermédiaire du néerlandais, de quelques rares ouvrages scientifiques occidentaux. Comme en Chine, un renouveau simultané du confucianisme s'avéra favorable au développement d'études empiriques sur la nature, en particulier l'agronomie, la médecine et l'astronomie. Un certain nombre d'ouvrages scientifiques occidentaux parvinrent également au Japon à travers des traductions chinoises, à une époque où les mathématiques chinoises se répandaient également dans l'empire japonais. Au tournant du XIX^e siècle, de nouveaux traités d'anatomie et de médecine occidentales furent traduits [76]. À Nagasaki, unique point de contact toléré avec l'Occident, une clinique moderne fut même établie en 1823 par Franz von Siebold, médecin de la Compagnie néerlandaise des Indes, qui forma un grand nombre de praticiens japonais. Mais ce sont surtout les répercussions de la Première Guerre de l'opium (1842), puis de la démonstration de force du commandant Perry (1853) qui amenèrent le Shogunat à précipiter l'assimilation du savoir occidental, avant même le début de l'ère Meiji (1868). Après 1840, un nombre croissant d'étudiants issus de la classe militaire féodale brisèrent le quasi-monopole du savoir détenu par les médecins. Ils se mirent à étudier le néerlandais, et assimilèrent à partir de là les fondements de la balistique, de la médecine, de la pharmacologie et même de la chimie occidentales. En 1854, le Bureau pour la traduction des ouvrages néerlandais devint une institution séparée : le Bureau pour l'inspection des livres étrangers, qui devait être ultérieurement intégré à l'Université impériale de Tokyo. L'envoi d'étudiants japonais à l'étranger débuta en 1862, en direction des Pays-Bas et en 1866 en direction de l'Angleterre. Itô Hirobumi, le rédacteur de la constitution Meiji et futur premier ministre, fut au nombre de ces premiers étudiants expatriés. Malgré tous les efforts déployés par les Japonais à la fin de l'époque Tokugawa, l'historien Yabuuti Kiyosi pense que leur assimilation de la science occidentale n'aurait pas été possible si leur niveau de connaissances n'avait été préalablement relevé par l'assimilation de la science chinoise [77]. Quoi qu'il en soit, les grands féodaux concevaient l'assimilation de la science occidentale comme un moyen d'assumer la défense des côtes du pays, de surmonter l'infériorité militaire de l'empire, et surtout de préserver leur propre

75. Paradoxalement, ces sciences « dures », ainsi que les techniques qui en dépendent, paraissent pourtant les moins connotées culturellement.

76. Kiyosi, 1965.

77. Kiyosi, 1965.

situation dans l'administration du Shogunat. Ils survivront ainsi à la fin du Shogunat en devenant la classe militaire dominante de la période Meiji.

Le cas du Japon, ou celui de la Chine, s'accommode donc assez mal avec les théories post-coloniales les plus radicales, notamment celles qui tendent à abolir l'idée même que la science moderne ait pu avoir un lieu originel. Qu'en est-il de l'Empire ottoman, qui se trouvait au contact de l'Europe dès le XV^e^ siècle ? Convaincues de leur supériorité culturelle, militaire et religieuse, les élites ottomanes ne montrèrent d'abord que peu d'intérêt pour la science occidentale en dehors de questions liées à la confection de calendriers, et bien entendu des techniques militaires liées à l'artillerie ou aux fortifications. À l'exception des médecins juifs chassés d'Espagne, les transferts de connaissances étaient opérés par des gens peu qualifiés (marchands, marins, voyageurs, prisonniers de guerre, ambassadeurs), et donc limités à des savoirs pratiques ou peu complexes. Dans la première moitié du XVIII^e^ siècle, des systèmes techniques plus élaborés furent introduits dans l'armée ottomane grâce à l'engagement d'experts européens. Quelques spécialistes des techniques militaires européennes étaient également employés au Palais. Dans la seconde moitié du siècle, des ingénieurs militaires, français pour la plupart, se virent offrir des postes d'enseignement dans des écoles militaires nouvellement créées telles que l'École de mathématiques (1733), l'École du génie naval (1773) ou l'École impériale du génie militaire (1795). Ces experts, incités à rédiger des ouvrages d'artillerie, de navigation et de génie militaire, étaient chargés des sciences appliquées. L'enseignement des matières classiques et de la culture générale demeurait aux mains d'*uleimas* issus des *madrasas* traditionnelles. Après les réformes de 1839 (*Tanzimat*), la proportion des *uleimas* diminua sensiblement au profit des ingénieurs et des officiers formés dans les écoles techniques [78]. Cette combinaison de savoir ottoman et occidental fut étendue avec la création de l'École militaire impériale (1834) et de l'École impériale de médecine (1839). L'envoi d'étudiants en Europe avait débuté sous Mahmud II (1808-1839), mais demeurait pratiquement limité aux officiers, aux médecins et à quelques techniciens qualifiés. Quelques médecins européens furent également engagés dans de nouvelles écoles de médecine. Cependant, aucune tentative sérieuse ne fut entreprise pour systématiser le recrutement de professeurs de science européens. Le rôle des experts étrangers devait se borner à exécuter les tâches qui leur étaient confiées par l'État [79]. En 1869, une commission du Ministère de l'Instruction publique fut chargée d'étudier le système d'éducation français, susceptible d'inspirer de nouveaux principes d'enseignement. La création d'une faculté des sciences au sein de l'Université d'Istanbul fut néanmoins repoussée jusqu'en 1900. Jusqu'à la fin du siècle, les Ottomans ne jugèrent donc pas nécessaire, dans l'ensemble, de s'engager dans une politique soutenue et massive de transfert de savoir scientifique, comme celle entreprise par la Russie et par le Japon [80]. Tout changea avec la prise du pouvoir par les Jeunes Turcs (1908). Le cas de l'Empire ottoman, comme d'ailleurs celui de la Chine confucéenne, montre que les techniques se transfèrent facilement lorsque celles-ci sont conçues de façon pragmatique et qu'elles ne se sont pas susceptibles de remettre en cause la hiérarchie traditionnelle des savoirs. Il en va différemment lorsque

78. Ihsanoglu 1992.

79. La seule exception, dans la seconde moitié du XIX^e^ siècle, fut la création à Beyrouth de nouvelles institutions d'éducation par des missionnaires français et américains.

80. Ihsanoglu, 1992, p. 46.

la science moderne devient la référence par rapport à laquelle sont évaluées toutes les autres formes de culture.

Globalement, les études post-coloniales ont montré l'importance des traditions savantes autochtones, ainsi que le rôle de la pédagogie et des paramètres culturels et sociaux dans la réception et la réinterprétation, forcément sélectives, de la science moderne élaborée en Occident. L'attention accrue accordée aux sciences appliquées, aux transferts de connaissances, à la formation, au développement technique et industriel, ainsi qu'aux influences mutuelles (« *cross-cultural references* »), a sensiblement élargi la conception même qu'on pouvait se faire de la science-monde. À une science occidentale qui s'est peu à peu diffusée dans le reste du monde, les historiens de la colonisation et de l'impérialisme, ainsi que les sociologues du développement, ont généralement préféré l'idée d'une science moderne réinterprétée par chaque culture. Ils ont adhéré à la vision d'une spécialisation régionale des thèmes de recherche, qui permet à chaque société de jouer un rôle original dans l'élaboration d'un savoir commun. Néanmoins, cette vision « œcuménique » de la science n'est pas partagée par tous les spécialistes de la colonisation et du Tiers Monde, et notamment par ceux qui préfèrent insister sur l'impact désastreux de la science occidentale sur les sociétés colonisées, ou plus simplement sur les rapports de domination impliqués par une situation impériale ou coloniale (modèle centre-périphérie). Par ailleurs, la perspective culturaliste, et dans certains cas nationaliste, qui oriente beaucoup d'études impose un relativisme excessif et d'ailleurs sélectif, qui tend à occulter le caractère universel et intellectuellement autonome de la recherche scientifique moderne.

En développant une approche trop exclusivement constructiviste, certains spécialistes de la colonisation et du développement ont fini par perdre de vue que la science moderne se caractérise d'abord par un noyau dur de disciplines fondamentales (astronomie, maths, physique, chimie, biologie, voire géologie) qui forment un système de connaissances doté de sa propre logique intellectuelle. Lewis Pyenson, qui a étudié le développement des sciences dites exactes dans plusieurs contextes coloniaux ou impériaux a ainsi montré qu'elles étaient peu affectées par l'environnement social dans lequel elles étaient pratiquées [81]. Ces travaux n'ont pas convaincu la plupart des spécialistes de la colonisation, qui préfèrent prendre à témoin des sciences de terrain comme la géographie et la géologie, la botanique, l'écologie, l'agriculture tropicale ou la sylviculture. Ils arrivent ainsi à montrer que les sociétés et les environnements coloniaux peuvent avoir un impact important sur des recherches pratiquées dans tel ou tel empire, voire jusqu'en métropole [82]. S. N. Sen est l'un des rares historiens à avoir fait la différence entre les sciences de terrain, encouragées par l'administration coloniale britannique pour des raisons pratiques, et les sciences de laboratoire, beaucoup moins favorisées mais dont l'essor ira de pair avec celui du mouvement d'indépendance nationale [83]. Dans des cas de ce genre, il serait sans doute possible de recourir à des statistiques. On y verrait sans doute que la science coloniale n'a mobilisé qu'une fraction marginale de la communauté savante européenne, même dans un pays aussi engagé dans l'aventure coloniale que le fut la Grande-Bretagne. Il faut

81. Pyenson, 1985, 1989 et 1993.
82. Pour une critique de Pyenson, voir Palladino & Worboys, 1993.
83. Sen, 1966.

par ailleurs considérer qu'une nation, quelle qu'elle soit, n'est pas socialement homogène. Tel groupe social peut ainsi se trouver réceptif à la science moderne (ainsi les *Bhadralok* du Bengale) alors que tel autre s'y montre moins sensible, voire hostile. Le colonisateur lui-même peut chercher à imposer la science moderne, ou au contraire valoriser la culture indigène qu'il rencontre, à l'image des orientalistes de l'Asiatic Society de Calcutta.

7 Le modèle centre-périphérie ou les balbutiements d'une géographie scientifique

Une des conséquences des théories de la dépendance est d'avoir accrédité l'idée que la science moderne a un centre et une périphérie, ou des centres et des périphéries. La liste des civilisations qui ont connu des développements scientifiques remarquables est longue, depuis le monde arabo-musulman des IXe-XIe siècles jusqu'à la Chine des XIIe-XIVe siècles, en passant par la Mésopotamie, l'Égypte, l'Inde, le Japon, les Mayas, sans oublier la Grèce classique et hellénistique, ni même l'Europe occidentale (en particulier Oxford et Paris) des XIIIe et XIVe siècles. Mais ces développements ne se sont jamais étendus au reste du monde de la manière dont la « nouvelle science » a commencé à s'implanter au-delà des mers dès la seconde moitié du XVIe siècle, avec la fondation des Universités de Mexico (1553) et de Bogota (1580), de l'École des mines de Potosi (1557), ou avec la première mission des Jésuites portugais en Chine (1583). La science moderne fut ainsi associée dès son origine avec l'expansion européenne et avec une volonté de domination, ce qui pose en effet la question des centres et des périphéries.

Dès 1971, Joseph Ben David s'est interrogé sur les déplacements du centre de gravité de la science moderne, proposant un schéma de dominations successives qui conduisait de l'Italie de la Renaissance vers l'Angleterre du XVIIe siècle, la France du XVIIIe siècle, l'Allemagne du XIXe siècle, puis les États-Unis du XXe [84]. Ce schéma dépourvu de nuances postulait qu'il n'y avait en somme qu'un centre dominant et que ce centre avait dès l'origine un caractère national, ce qui constitue une double simplification. À partir de données sur le nombre de chercheurs en activité, Robert M. Gascoigne a suggéré davantage de continuité dans l'importance relative des centres scientifiques, tout en démontrant la coexistence, à toutes les époques, de plusieurs centres dominants [85]. Il a ouvert ainsi un champ de recherches qui doit maintenant préciser la localisation des chercheurs ville par ville et reconsidérer ce que peut signifier la notion même de savant pour les périodes antérieures à 1800 et plus encore 1700 [86]. La tâche

84. Ben David, 1971.

85. Gascoigne, 1992, p. 552 (table 2). Ces données sont basées sur les savants qui font l'objet d'une notice dans le *Dictionary of Scientific Biography*. Il en ressort que l'Italie de la seconde moitié du XVe siècle aurait regroupé environ 50 % des « savants » européens, et encore 30 % de ceux-ci au cours du XVIe siècle. À la même époque, les pays germaniques en auraient regroupé entre 20 et 25 %, la France entre 15 et 20 %, l'Angleterre entre 5 et 10 %. Dans la première moitié du XVIIe siècle, la proportion des savants italiens aurait baissé à 20 % et serait ainsi devenue légèrement inférieure à celle de la France, sensiblement égale aux pays germaniques et légèrement supérieure à l'Angleterre. Dans la seconde moitié du XVIIe siècle, la proportion de savants anglais s'établirait à 30 %, celle des savants français à 25 %, celle des savants germaniques aux alentours de 15 % et celle des savants italiens à environ 12 %. Et ainsi de suite.

86. . Dès le XVIIe siècle, le phénomène scientifique donne en Occident l'impression d'une dynamique de croissance exponentielle, notamment au niveau des publications, alors même que le nombre de chercheurs identifiables ne croît en réalité que de façon linéaire, avec un doublement des effectifs tous les soixante à

est relativement aisée pour l'Europe aussi longtemps que l'on dispose d'un système de reconnaissance homogène, comme par exemple le système des grandes académies royales entre 1700 et 1870 ou celui des index et recueils de biographies scientifiques modernes (type *Historical Catalogue* de Gascoigne ou *Dictionary of Scientific Biography* de Gillispie). Il s'annonce autrement plus compliqué à l'échelle d'une science-monde qui recouvre des réalités beaucoup plus hétérogènes.

Théoricien de la science-monde, qu'il conçoit sur le modèle de l'économie-monde de Braudel, Xavier Polanco a voulu souligner à travers cette notion le fait que la science moderne se pratique en réseau, dans le cadre d'une intégration mondiale qui engendre des dépendances [87]. Ceci limite l'autonomie ou le degré d'émancipation des sciences périphériques, même si elles parviennent à se libérer de la colonisation ou de l'impérialisme pour acquérir une dimension nationale [88]. D'ailleurs, la science-monde ne se confond pas avec la communauté scientifique internationale, cet ultime avatar des idéaux égalitaires de la République des lettres et des sciences, car elle recouvre, comme d'ailleurs l'économie-monde, des phénomènes de domination et des hiérarchies. Cela concerne également l'Europe, dont l'intégration provoque aussi des inégalités, et donc des (semi-)périphéries. Aujourd'hui comme hier, écrivait Polanco en 1990, la science-monde demeure une science bien localisée au niveau de la langue, des revues, des institutions, des pays et même des groupes scientifiques. Elle a un espace propre, des limites et une géographie avec un centre dominant (les États-Unis depuis 1945), des semi-périphéries et des périphéries. Ces dominations scientifiques sont plus ou moins complètes, selon que les centrages sont plutôt forts ou faibles.

Cette situation d'hégémonie résulte du fait que la technoscience moderne est peu à peu devenue l'un des opérateurs de l'organisation du monde à partir des métropoles européennes, puis nord-américaines. Le système international de (re)connaissance, qui s'est défini en Europe au cours des XVI^e^ et XVII^e^ siècles, a pris assez rapidement, à travers la colonisation, la forme d'une science monde en suivant les routes maritimes et les fronts de l'expansion européenne [89]. Ce processus a pris de l'ampleur au XIX^e^ siècle, même s'il est déjà visible au XVIII^e^ dans le cas de la Russie et des États-Unis. Cette dissémination ou cette propagation se voit, selon Polanco, dans la reproduction d'institutions comme les académies, les observatoires, les jardins botaniques, les laboratoires, les écoles d'ingénieurs et les facultés des sciences. Elle se manifeste aussi par la diffusion d'instruments, de techniques d'observation et de mesure, ainsi qu'à travers la circulation des livres et des revues.

À titre d'exemple, Polanco considère la France des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles comme un centre, l'Espagne de la même époque comme une semi-périphérie (alors qu'elle était centrale au XVI^e^ siècle), tandis que la Nouvelle-Grenade (Colombie) et la Nouvelle-Espagne (Mexique) apparaissent comme des périphéries. Le schéma des interactions entre science métropolitaine et science coloniale s'inscrit dans une dynamique histo-

soixante-dix ans environ. Dans ce contexte de croissance généralisée, les communautés locales ou « nationales » qui perdent en importance relative (cas de l'Italie) continuent néanmoins à croître en effectifs.

87. Polanco, 1990.

88. À l'opposé, Mac Leod, [1982] 1987 a cru pouvoir tirer argument de la mobilité et de la relativité des métropoles pour remettre en cause les notions de centre et de périphérie.

89. Il est évident qu'avant le XVIII^e^ siècle, la science ne constituait guère une composante de la puissance des États.

rique, mais celle-ci n'est pas automatiquement positive. Il se peut très bien en effet qu'une science coloniale se transforme en une science nationale sans pour autant quitter sa situation périphérique ou semi-périphérique, ce qui paraît être le cas de la Colombie et du Mexique au XIX^e siècle, voire au XX^e (fig. 2).

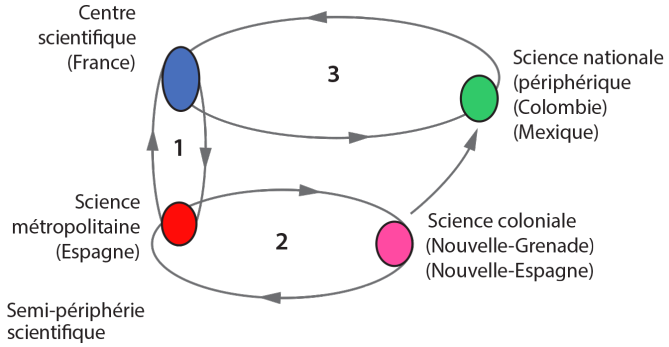


FIGURE 2 – Schéma de Xavier Polanco montrant le passage de la science colombienne et mexicaine d'une situation coloniale au XVIII^e siècle à une situation nationale périphérique au XIX^e siècle (Polanco, 1990)

Xavier Polanco remarque aussi que les zones semi-périphériques ou périphériques ne se trouvent pas exclusivement à la marge : dans le cas de l'Europe, elles criblent souvent les régions centrales. Quoi qu'il en soit, les sciences ont en règle générale un fonctionnement tout différent dans les centres que dans les périphéries. Il énumère à ce propos une douzaine de clivages qui concernent notamment le niveau de production scientifique, le choix des domaines de recherche, les façons de collaborer, l'impact des publications, etc. (tab. 1) [90].

Tableau 1 – Caractéristiques des centres et des périphéries scientifiques selon Xavier Polanco (Polanco, 1990)

CENTRES	PÉRIPHÉRIES
• La production scientifique et la productivité par auteur sont élevées.	• Elles sont basses.
• Recherche de pointe.	• Les domaines de recherche sont traditionnels, travail routinier.
• Coopération et collaboration, travail en équipe.	• Individus isolés, travail individuel.
• Les résultats ont un impact élevé.	• Un faible impact.
• Le système de recherche est autonome et autocentré.	• Il est dépendant, hétéronome ou hétérocentré.
• International.	• Local.
• *Lingua franca*.	• Langue locale.
• Actualité des références.	• En retard *(time-lag)*.
• Communication et circulation de l'information.	• Manque de communication et cloisonnement.
• Bases de données et contrôle des flux d'information.	• Absence et dépendance.
• Science *mainstream*.	• Science marginale.
• Lien avec les besoins sociaux et économiques (fonction sociale).	• Marginalisation et académisme.

90. Polanco, 1990, p. 49.

8 De la sociologie du développement à l'essor de la bibliométrie : l'exemple de l'Amérique latine

Dans les années 1970 à 1990, de nombreuses études bibliométriques ou fondées sur d'autres indicateurs statistiques ont paru accréditer le modèle centre-périphérie et plus particulièrement les théories de la dépendance. Celles-ci, forgées à la fin des années 1960 à propos de l'Amérique latine [91], ont notamment inspiré une théorie de la marginalisation des activités scientifiques dans cette même partie du monde, marginalisation que Amilcar Herrera a opposée à l'intégration de la science moderne à la culture industrielle et bourgeoise des pays développés [92]. Dans les sociétés d'Amérique latine en effet, les élites consomment des produits manufacturés des pays développés, ce qui rend le développement industriel de leur propre pays plus aléatoire. La recherche scientifique s'en trouve d'autant moins stimulée qu'elle est dissociée des intérêts de l'industrie et confinée à un rôle culturel de légitimation du progrès. Le milieu des chercheurs, qui est déjà périphérique par rapport aux grandes puissances scientifiques, rencontre ainsi des difficultés pour se constituer dans les sociétés d'Amérique latine, et se voit parfois attaqué jusque dans les universités. On remarquera à ce propos que le développement de la science européenne est aussi passé par une phase éminemment culturelle, en particulier au moment de la Révolution scientifique et encore au siècle des Lumières. Sous les aspects de la philosophie naturelle, la science moderne en voie d'élaboration avait en effet peu de connexions avec un quelconque développement industriel. Elle n'était pas non plus pratiquée exclusivement, ni même peut-être majoritairement, par des représentants de la bourgeoisie. Il en ira tout différemment après les révolutions de la fin du XVIII^{e} siècle et du début du XIX^{e}, qui accoucheront des sociétés européennes modernes.

Parallèlement, les années 1970 et 1980 ont aussi été une période d'essor des recherches bibliométriques, fondées notamment sur les co-citations dans le SCI, ainsi que d'autres études statistiques relatives aux activités de recherche et de développement (R & D). Au-delà des discussions sur la valeur des différents indicateurs possibles [93], et sur la façon de quantifier les liens de dépendance [94], ces données ont souvent interféré avec les débats en cours sur les caractéristiques du développement des sciences. Elles ont d'ailleurs plus souvent confirmé qu'infirmé un certain nombre d'idées répandues à l'époque sur les caractéristiques de l'institution scientifique dans les pays d'Amérique latine, et plus généralement les pays en développement. Selon ces études, les communautés savantes de ces pays apparaissaient ainsi cloisonnées et intellectuellement périphériques [95]. Elles étaient spécialisées dans certains domaines de recherche et par ailleurs dépourvues de la masse critique nécessaire à leur procurer une certaine visibilité [96]. Elles se caractérisaient aussi par une plus grande difficulté à faire reconnaître les travaux de leurs membres [97]. Plus généralement, la participation à la science internationale semblait dépendre de facteurs comme la discipline, la langue ou

91. Gunder Frank, 1967.
92. Herrera, 1972.
93. Garfield, 1979 ; Frame, 1980.
94. Jagodzinski-Sigogneau *et al.*, 1982.
95. Frame, 1979 ; Roche & Freites, 1982.
96. Krauskopf *et al.*, 1986.
97. Garfield, 1983.

le pays d'origine [98]. Dans l'ensemble, ces études chiffrées ont paru confirmer l'existence de multiples dichotomies entre communautés de chercheurs centrales et périphériques. Les notions de centre, de périphérie et de semi-périphéries ont elles-mêmes pu être objectivées à partir des pourcentages de PNB affectés aux activités de recherche (R & D) dans tel ou tel pays, ou à partir du nombre de publications scientifiques et techniques, ou encore du nombre de brevets déposés, par rapport au PNB [99].

Sur la base de données valables pour 1980, Xavier Polanco distinguait ainsi des pays à efforts de R & D *importants*, soit les USA, le Japon, la RFA, la France et la Grande-Bretagne, qui constituaient le « noyau central de la science-monde [100] ». D'autres auteurs, considérant l'Europe comme une entité, ont parlé de « triade dominante » États-Unis, Europe, Japon. Venaient ensuite des pays à efforts de R & D *moyens*, comme l'Italie, le Canada, les Pays-Bas, la Suède, la Suisse, l'Australie, la Belgique, puis des pays à efforts de R & D *réduits* (Autriche, Norvège, Danemark, Yougoslavie, Finlande, Nouvelle-Zélande, Irlande). Se déployait enfin la longue liste des pays qui n'accordaient qu'une très faible priorité à la R & D, des pays d'Afrique ou d'Asie notamment, mais aussi d'Amérique latine et même d'Europe (Espagne, Portugal, Grèce, Islande, Turquie) [101]. De ce point de vue, l'intégration scientifique de l'Europe apparaissait encore comme un projet, sinon une vue de l'esprit.

Au début des années 1980, le nombre de publications par pays donnait également un tableau de la situation favorisant l'image d'une concentration de la recherche dans quelques pays. En 1982, les USA produisaient ainsi 37 % des publications mondiales, la Grande-Bretagne 8,3 %, le Japon 7,3 %, la RFA 6,2 %, la France 5,0 % [102]. De 1981 à 1985, l'Asie n'aurait publié que 3,70 % de la littérature scientifique mondiale, l'Amérique latine 1,15 %, le Moyen-Orient 0,59 %, l'Afrique 0,38 %. Ce vaste ensemble de pays n'aurait donc représenté que 5,8 % de la littérature scientifique mondiale pour 6 % de la dépense en R & D et une communauté rassemblant 10 % des chercheurs [103]. Les situations n'étaient cependant pas figées, à l'image du Mexique, jadis périphérie de l'Espagne, devenu « une semi-périphérie du centre scientifique que sont désormais les États-Unis [104] ». Nombre d'auteurs ont cependant fait remarquer que ces chiffres étaient à considérer avec prudence, la bibliométrie introduisant des distorsions linguistiques fortement tributaires du taux de couverture de la presse scientifique locale. Il est évident que le SCI ne mesure que la littérature *mainstream*, et donc la posi-

98. Frame & Carpenter, 1979.

99. Polanco, 1990.

100. Polanco, 1990, p. 33.

101. D'autres données soulignaient ces contrastes intra-continentaux. Ainsi, pour la période 1973-1983, la France représentait 45,23 % de la littérature scientifique européenne, l'Italie 20,08 %, les Pays-Bas 14,70 %, l'Autriche 4,88 %, l'Espagne 4,16 %, l'Irlande 1,94 %. De la même manière, le Brésil aurait représenté 27 % de la littérature scientifique sud-américaine pour la seule année 1981, l'Argentine 24 %, le Mexique et le Chili 17 %, le Venezuela 6 %, la Colombie 1 % (Polanco, 1990, p. 38).

102. Polanco, 1990, p. 36. Entre 1973 et 1982, les USA représentaient 41,3 % de la littérature scientifique mondiale, le Japon 9,7 %, la Grande-Bretagne 9,4 %, la RFA 9 %, la France 7,7 % (Polanco, 1990, p. 37). La comparaison avec les données pour 1982 montre que le phénomène de déconcentration de la science mondiale était déjà à l'œuvre. Selon d'autres sources, également valables pour la période 1973-1982, la communauté scientifique française aurait produit en moyenne 5,4 % de la littérature scientifique mondiale entre 1973 et 1982 et aurait bénéficié de 4,1 % des citations mondiales. Par comparaison, l'Espagne n'aurait représenté qu'entre 0,5 et 0,7 % de la littérature scientifique mondiale pour la période 1978-1983.

103. Polanco, 1990, p. 36.

104. Polanco, 1990, p. 16.

tion relative des différentes communautés scientifiques nationales dans cette forme de science. Au fil du temps cependant, l'évolution de cette littérature *mainstream* est devenue plus intéressante à considérer, en dépit des imperfections persistantes de l'outil de mesure.

Au-delà de ces généralités statistiques, la conception d'une théorie d'ensemble du développement scientifique, qui soit capable d'intégrer les résultats des multiples monographies nationales, devenait une affaire extrêmement compliquée. Les rares tentatives menées dans ce sens se sont avérées peu convaincantes, en dépit même de leur apparent raffinement [105]. C'est pourquoi bien des auteurs ont préféré s'en tenir à des pétitions de principe sur ce que doit être, ou ne pas être, une interprétation historique du développement des sciences [106]. Pour d'autres, l'idée d'une hybridation des savoirs ouvrait la porte aux études de réseaux.

9 Le système scientifique international et l'approche par les réseaux

L'étude des réseaux scientifiques a été inspirée dès 1987 par un ouvrage de Bruno Latour, dans lequel la science moderne était présentée comme un réseau international d'institutions : *the international science system* [107]. Cette représentation métaphorique a eu jusqu'à aujourd'hui une énorme influence, ce qui témoigne de son pouvoir évocateur, sinon de son potentiel explicatif [108]. Selon cette théorie, c'est l'aptitude des individus, des groupes ou des nations à se connecter au réseau de la science internationale qui détermine leur capacité à participer aux développements de la science moderne, et permet l'extension de celle-ci jusque dans des pays dits « périphériques ». Dans cette perspective, l'histoire de la science coloniale devient celle de l'intégration progressive des chercheurs locaux au système global de communication scientifique, système mis en place et contrôlé à l'origine par les centres métropolitains d'Europe et d'Amérique du Nord [109]. Cette intégration peut s'opérer à travers des infrastructures de recherche locales ou internationales (académies et sociétés savantes, laboratoires, observatoires, jardins botaniques, instruments, musées), à travers des établissements d'enseignement (universités, écoles techniques, cliniques) ou encore des manuels et

105. On peut citer à ce propos le modèle de la rosace développé en 1990 par Latour et Polanco afin de réconcilier l'histoire sociale des sciences avec son histoire intellectuelle, et de surmonter du même coup le « grand Partage » longtemps établi entre histoire interne et histoire externe des sciences (Latour & Polanco, 1990). Ce modèle faisait appel à cinq horizons (1° celui des instruments ; 2° celui des collègues ; 3° celui des alliés ; 4° celui du public ; 5° celui des liens) à partir desquels les auteurs proposaient d'aborder l'étude des échanges entre l'activité de recherche et les facteurs externes, en particulier les facteurs culturels et sociaux.

106. Ainsi, selon Chambers & Gillespie, 2001 (p. 226-227), un modèle d'interprétation du développement de la science doit d'abord être symétrique et interactif, et ce par-delà les grandes fractures traditionnelles entre centre et périphérie, local et global, national et colonial, traditionnel et moderne. Il doit aussi être non-linéaire et ne pas prescrire d'étapes ni de finalités ou de perspectives ultimes. Il doit permettre d'établir un ensemble de paramètres qui autorisent des comparaisons entre pays pour ce qui relève de la production, de la diffusion et de l'application du savoir. Il doit enfin identifier les vecteurs de communication, d'échange et de contrôle, tout en mettant en évidence les infrastructures sociales qui privilégient le savoir dans les contextes traditionnels aussi bien que dans le contexte occidental, sans d'ailleurs favoriser un contexte par rapport à un autre.

107. Latour, 1987.

108. Pour une théorie récente, qui place les réseaux au cœur du développement scientifique, voir Wagner, 2008.

109. Chambers & Gillespie, 2001, p. 231-232. Ce contrôle, qui concerne à l'origine les données d'observation et d'expériences se fait par ce que Latour appelle des « centres de calcul ».

des journaux. Elle suppose concrètement une validation de théories ou de résultats empiriques par des personnes reconnues compétentes par la communauté scientifique internationale. Polanyi a parlé à ce propos de *Republic of science*, par référence à la République des lettres et des sciences de l'âge classique [110].

Cette conception de l'extension de la science-monde à travers l'intégration à ses réseaux internationaux résout bien des difficultés historiographiques. L'une d'elles est la division entre centre et périphéries, qui peuvent se trouver n'importe où, y compris au cœur même des métropoles ou des « centres de calcul », et n'ont donc plus à être localisées géographiquement. Devient en effet périphérique tout individu ou groupe d'individus dont l'intégration au système scientifique global ne peut se faire, ou ne se fait que d'une manière incomplète ou marginale, quelle que soit sa localisation ou sa société d'origine. De ce point de vue, la situation d'un artisan londonien du XVIII^e^ siècle, celle d'un pharmacien de province ou d'un herboriste alpin du XIX^e^ siècle, ne sont pas sans ressemblance avec celle d'ingénieurs, de médecins ou d'universitaires du tiers-monde au XX^e^ siècle. Fondamentalement, les logiques d'intégration au système scientifique international demeurent, comme les logiques d'exclusion, à peu près les mêmes partout et à toutes les époques. C'est surtout l'évolution de la modernité scientifique qui déplace constamment la nature des seuils à franchir, seuils qui connaissent eux-mêmes des degrés. En fait, plus le système scientifique devient complexe et institutionnalisé et plus les échanges avec les types de connaissances qui ne sont pas reconnues comme scientifiques, modernes ou tout simplement *mainstream*, perdent de leur caractère paritaire. L'une des forces de l'analyse réticulaire, est précisément de relativiser, sinon d'abolir, la hiérarchie entre centre(s) et périphéries, au profit d'une notion de co-production des savoirs (« *cross-cultural references* »). Cela rejoint les préoccupations d'historiens et de sociologues du développement, qui ont mis en évidence la multiplicité des savoirs scientifiques et la diversité des lieux où ils sont produits [111]. Kapil Raj a ainsi montré la façon à la fois active et sélective dont la classe des *Bhadralok* du Bengale s'est approprié la science occidentale, dans une direction d'ailleurs beaucoup plus fondamentale et théoriquement féconde que ce qu'il est convenu d'appeler la science coloniale, et donc avec un intérêt moindre pour l'expérimentation [112]. Une meilleure connaissance du développement de la science moderne en Europe aurait d'ailleurs montré des phénomènes similaires d'acceptation et de rejet dans de nombreux groupes sociaux du Vieux Continent. Tout un courant d'historiographie culturaliste, très en vogue du milieu des années 1960 au début des années 1980, s'était d'ailleurs attaché à déterminer les caractéristiques nationales de différentes pratiques européennes de la science [113]. Des caractéristiques propres à certaines entités religieuses, culturelles ou disciplinaires minoritaires ont également pu être mises en évidence [114].

110. Polanyi, 1962.
111. Potter, 2007. D'autres auteurs ont insisté sur la notion de « *polycentric networks* ».
112. Raj, 1986, 1991 et 2007, chapitre 5.
113. Sur ces « climats intellectuels », ces « matrices culturelles nationales » ou ces « styles scientifiques nationaux », voir entre autres Herivel, 1966-67, Culotta, 1974, Knight, 1975, Olson, 1975, Shinn, 1980. Ces travaux demeurent conditionnés par une perspective idéaliste plutôt que constructiviste.
114. Sur une tradition d'inspiration calviniste en plein siècle des Lumières, voir Sigrist, 2011.

Quoi qu'il en soit, l'analyse du réseau scientifique international fait aujourd'hui figure de paradigme dominant, au point que même des historiens de l'impérialisme se proposent de concevoir l'empire britannique comme un réseau [115]. Il convient cependant de remarquer qu'à défaut de données empiriques, il s'agit pour l'instant encore davantage d'une métaphore que d'une méthode de recherche. De plus, l'analyse réticulaire ne devrait pas conduire à identifier le système scientifique mondial à un vaste réseau de chercheurs dissocié de toute influence des institutions ou des cultures nationales. Une preuve évidente, s'il en fallait une, de l'implication maintenue des États dans la recherche scientifique et technique (R & D) est le budget généralement croissant qu'ils y consacrent, tant en pourcentage du PNB qu'en valeur absolue. Plus fondamentalement, la vision de la science comme un ensemble de savoirs rationnellement établis, mais non réductibles les uns aux autres, semble donner la possibilité à chaque État, ou à chaque société nationale, d'établir des préférences, en fonction de besoins propres ou de ses intérêts réels ou supposés. Le seul fait que la science n'apparaisse plus comme un tout cohérent méthodologiquement déterminé repose la question des relations entre développement scientifique et développement économique et social, et donc du rôle des États dans l'orientation de ces développements.

En guise de conclusion

Une partie des malentendus générés par le développement de la science-monde vient de l'ampleur prise par le phénomène dans les sociétés contemporaines. La complexité du phénomène, la multiplicité des acteurs et des théâtres d'opération ont fragmenté son étude en une multiplicité de spécialités différentes, avec chacune ses paradigmes, ses remises en cause, et souvent aussi ses agendas politiques plus ou moins avoués. Pour tâcher d'y voir plus clair, la présente contribution s'est efforcée de réduire l'entreprise scientifique à sa part fondamentale : la recherche de pointe. Malgré les multiples implications techniques, économiques, sociales ou encore culturelles dont elle s'est peu à peu chargée au cours de son histoire, la science reste d'abord une interrogation sur les lois de la nature. C'est un système de connaissances basé sur un réseau de disciplines fondamentales, évolutives et interdépendantes. Sans doute la recherche fondamentale ne représente-t-elle plus aujourd'hui qu'un pourcentage infime d'un énorme complexe technico-médico-industriel dont l'impact sur nos sociétés est gigantesque. Aussi son histoire relève-t-elle désormais de la politique et de l'économie aussi bien qu'elle dépendait jadis de la philosophie, de la religion ou de la culture.

Du point de vue méthodologique, l'analyse réticulaire du système scientifique international n'a probablement pas épuisé tout son potentiel. Il convient néanmoins de l'insérer dans une perspective historique, qui articule les perspectives individuelles de carrière avec les enjeux collectifs, particulièrement nationaux. Le but ultime d'une telle investigation, fondée sur une collecte systématique de données empiriques, serait de pouvoir étudier l'élaboration de la science moderne en Europe, du XVI^e^ au XX^e^ siècle, d'une manière parallèle à son extension au monde entier, et d'analyser les deux processus, en partie concomitants, avec les mêmes outils conceptuels. Une connaissance même assez superficielle du développement de la science moderne en

115. Hodge, 2011 (p. 3) : « *We argue that a networked conception of empire, if engaged critically, offers much potential for future research endeavours in the field.* »

Europe révèle en effet des mécanismes analogues à celui de son développement dans le reste du monde. Seuls les rapports de force inhérents à la colonisation, ainsi que l'ampleur des différences culturelles, peuvent introduire des différences significatives. C'est pourquoi la situation des pays colonisés, ou sous influence, n'est pas la même selon qu'ils ont reçu un peuplement européen important ou non. Pour le reste, les modernisations forcées, les réalignements plus ou moins spontanés sur les cultures ou les institutions dominantes, mais aussi les réinterprétations spécifiques et les influences mutuelles, sont des phénomènes que l'on retrouve un peu partout, quoique à des degrés divers. Même la disparition de la plupart des cultures savantes traditionnelles peut s'observer en Europe [116].

En fait, le potentiel d'accès à la modernité scientifique est variable selon les groupes sociaux aussi bien que selon les lieux, les époques et les contextes politiques. La dynamique du progrès laisse cependant de côté un nombre croissant d'individus et de groupes sociaux incapables ou peu désireux de suivre l'évolution des normes de la recherche moderne. Certes, le nombre de participants à l'entreprise scientifique universelle n'a cessé de croître au fil du temps, en dépit du caractère de plus en plus technique des disciplines, et du coût croissant des équipements requis. Mais de nombreuses catégories d'acteurs ont aussi disparu en cours de route, depuis l'érudit philologue et le collectionneur de curiosités naturelles jusqu'à l'ingénieur géographe en passant par le philosophe de la nature, l'académicien pensionné, le savant pharmacien, le noble voyageur ou encore le faiseur de calendriers. Ils ont été remplacés par le mathématicien ingénieur, le professeur d'université et le savant entrepreneur, tandis que se modifiait l'architecture des disciplines et des styles de recherche.

Ces transformations intellectuelles ont eu un impact sur la géographie des communautés savantes et des échanges intellectuels, même dans des disciplines comme l'astronomie ou les mathématiques. Dans l'Inde du premier XVIII^e siècle, la tentative de Jai Singh (1685-1743), maharadjah de Rajpoute, pour faire revivre l'astronomie indienne traditionnelle se solda ainsi par un échec, en dépit de l'introduction d'instruments islamiques et européens dans la culture brahmane et de la traduction en sanskrit d'œuvres d'Euclide, de Ptolémée, d'Archimède ainsi que d'auteurs arabes ou persans. Par la suite, la colonisation britannique changea pour toujours les rapports entre culture indienne traditionnelle et science moderne. Le périmètre des « *cross-cultural references* », autrement dit celui de l'apport des cultures hindoue et musulmane à la science-monde, ne fut pas anéanti pour autant : il était simplement déplacé en fonction des attentes des classes sociales intéressées par la science moderne. En renonçant à l'idée de renouer avec la tradition (revivalisme), les savants indiens surent trouver un chemin vers la modernité qui leur permit d'établir une science nationale. Leur succès dans cette voie fut tel qu'on se soucie à présent de la survie des savoirs indigènes [117].

Le cas de la Chine montre également l'évolution des possibles. Au XVII^e siècle, l'arrivée des Jésuites offre théoriquement aux Chinois la possibilité de participer à la

116. Jusqu'au XVII^e siècle, l'Europe connaissait de nombreuses cultures savantes et médicales appelées à disparaître par la suite, sans parler des connaissances agricoles ou herboristiques traditionnelles, des savoir-faire artisanaux, ni des théologies naturelles, notamment protestantes, qui se maintiendront jusqu'au milieu du XIX^e siècle.

117. Chambers & Gillespie, 2001.

Révolution scientifique en cours en Europe et, pourquoi pas, d'en modifier le cours. Au XIX^e^ siècle, cette possibilité n'existe plus au même degré. Le destin des mathématiques traditionnelles chinoises paraît scellé et la question est désormais de savoir quel accommodement la tradition humaniste confucéenne peut trouver avec la modernité mathématique occidentale. Cet épisode souligne la clairvoyance d'un Pierre le Grand, qui avait compris dès le début du XVIII^e^ siècle qu'il ne pouvait y avoir de compromis entre tradition et modernité scientifique, et qu'il valait mieux intégrer celle-ci dans les structures mêmes de l'État impérial que d'en subir ultérieurement les conséquences.

À l'opposé de la Russie, l'Empire ottoman a longtemps cru pouvoir limiter les importations de connaissances occidentales à des questions techniques et militaires [118], tout en maintenant la prédominance des modes de pensée ottomans. Ce n'est qu'au début du XX^e^ siècle que s'est finalement produit un changement radical, qui a conduit à l'acceptation de l'approche occidentale du savoir [119].

Comme l'architecture moderne, la science moderne ne se soucie pas de compromis avec des traditions ou avec des cultures spécifiques. Ses structures disciplinaires et ses méthodes, qui forment une sorte de système, paraissent peu susceptibles de modulations culturelles. Seuls des secteurs nouveaux, ou peu formalisés, peuvent se prêter à de telles variations géographiques et culturelles. Cela concerne davantage des pratiques informelles, de nature empiriques ou technique, que les procédures de standardisation et de formalisation des savoirs [120]. Le cœur des disciplines établies, qui forme une sorte de système, est en revanche moins sujet à de telles modulations culturelles. Le cas de l'Inde montre cependant à quel point le choix des disciplines de prédilection peut être un choix culturel. Kapil Raj a montré le peu de succès rencontré par les cours de science expérimentale auprès des *Bhadralok* du Bengale, et au contraire leur vif intérêt pour les sciences théoriques et les systèmes clos. Cette préférence annonce le développement ultérieur des mathématiques, de l'astronomie, de l'optique ou de l'hydrostatique indiennes [121].

Dans des contextes qui varient de la domination culturelle à l'exploitation coloniale, la question de la participation à la culture scientifique moderne se pose finalement toujours en des termes semblables : formation à acquérir, moyens matériels à réunir, ressources sociales à mobiliser, reconnaissance professionnelle à obtenir. Or la mobilisation de ces moyens est une question à la fois individuelle et collective, dans laquelle interviennent des questions de réseaux et d'institutions, et par conséquent de soutien professionnel et étatique. La culture ambiante peut conduire à des préférences, et parfois à des impasses. En Europe aussi, des impasses théoriques et conceptuelles ont condamné des entreprises telles que l'alchimie, l'astrologie, l'occultisme, la théologie naturelle ou encore différentes formes de médecine plus ou moins traditionnelles.

118. Martykanova, 2010.

119. Ihsanoglu, 1996.

120. Raj, 2000, conclusion. Sur les conditions de possibilité d'une géographie des sciences, voir Livingstone, 2003.

121. Raj, 2007, chapitre 5. Que cette préférence soit liée au non au refus traditionnel des Hindous de se salir les mains est au fond une question secondaire. L'essentiel est que les savants indiens ont ainsi trouvé les éléments de leur propre chemin vers la science moderne.

Finalement, seule une approche méthodologique mixte, combinant la théorie des réseaux et l'analyse des politiques institutionnelles et étatiques, est à notre avis en mesure d'offrir un modèle valable du développement universel de la science moderne. Un tel modèle doit être en effet suffisamment cohérent pour unifier un tel champ d'investigations, et suffisamment souple pour prendre en compte la complexité des variables impliquées ainsi que la diversité des situations locales. En combinant approches monographiques, études de réseaux et données statistiques, ce modèle devrait permettre d'établir des corrélations, de soulever des paradoxes et éventuellement de mettre en évidence des causalités.

Références

ARNOLD, D. (1993), *Colonizing the Body : State Medicine and Epidemic Disease in Nineteenth Century India*, Berkeley, University of Calfornia Press.

BABER, Z. (1996), *The Science of Empire. Scientific Knowledge, Civilization and Colonial Rule in India*, Albany, State University of New York Press, 1996.

BACHELARD, G. (1983), *Le nouvel esprit scientifique* [1934], rééd., Paris, PUF, 1983.

BARONCINI, G. (1992), *Forme di Esperienza e Rivoluzione Scientifica*, Firenze, Leo S. Olschki, 1992.

BASALLA, G. (1967), « The Spread of Western Science », *Science*, 156, 1967, p. 611-622.

BEN DAVID, J. (1971), *The Scientist's Role in Society : A Comparative Study*, Englewood Cliffs (NJ), Prentice Hall Inc., 1971.

BERNAL, J. D. (1971), *Science in history* [1954], Cambridge (Mass.), MIT Press, 1971 (4 vol.).

BLAY, M. & HALLEUX, R. (dir.) (1998), *La science classique,* XVI^{e}-XVIII^{e} *s. Dictionnaire critique*, Paris, Flammarion, 1998.

BOAS HALL, M. (1962), *The Scientific Renaissance, 1450-1630*, New York, Harper Torchbooks, 1962.

BOAS HALL, M. (1991), *Promoting Experimental Learning. Experiment and the Royal Society, 1660-1727*, Cambridge, Cambridge University Press, 1991.

BREARD, A. (2004), « La traduction d'ouvrages occidentaux de mathématiques en Chine à la fin du XIX^{e} siècle : introduction et intégration », in Pascal Crozet & Annick Horiuchi (éd.), *Traduire, transposer, naturaliser : la formation d'une langue scientifique moderne hors des frontières de l'Europe au* XIX^{e} *siècle*, Paris, L'Harmattan, 2004, p. 123-146.

BRET, P. (2002), *L'État, l'armée, la science. L'invention de la recherche publique en France (1763-1830)*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, 2002.

BURTT, E. A. (2003), *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science* [1924], rééd. New York, Dover Publications, 2003.

BUTTERFIELD, H. (1965), *The Origins of Modern Science, 1300-1800* [1949], New York, Free Press, 1965.

CHAMBERS, D. W. & GILLESPIE, R. (2001) « Locality in the history of science : colonial science, technoscience and indigenous knowledge », *Osiris*, p. 221-240.

CLARK, W. (2006) *Academic Charisma and the Origins of the Research University*, Chicago & London, The University of Chicago Press.

CLARK, W., GOLINSKI, J. & SCHAFFER, S. (eds.) (1999), *The Sciences in Enlightened Europe*, Chicago & London, The University of Chicago Press.

COHEN, I. B. (1960), *The Birth of a New Physics*, New York, W. W. Norton.

COHEN, I. B. (1961) *Science and American Society in the first Century of the Republic*, Columbus, State Ohio State University.

COHEN, I. B. (1995), *Science and the Founding Fathers : Science in the Political Thought of Jefferson, Franklin, Adams and Madison*, New York, W.W. Norton.

CORSI, P. (2001), *Lamarck. Genèse et enjeux du transformisme, 1770-1830* [1983], trad. fr., Paris, CNRS éditions.

CROMBIE, A. C. (1971), *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700*, Oxford, Clarendon Press, 1953 ; rééd.

CULOTTA, C. A. (1974), « German biophysics, objective knowledge and romanticism », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4, p. 3-38.

CUNNINGHAM, A. & WILLIAMS, P. (2003) « De-centering th « Big Picture » : *The Origins of Modern Science* and the Modern Origins of Science », *British Journal for the History of Science*, 26, 1993, p. 407-432. Republié in Marcus Hellyer (ed.), *The Scientific Revolution. The Essential Readings*, Oxford, Blackwell Publishing, p. 218-246.

DEBUS, A.G. (2002), *The Chemical Philosophy. Paracelsian Science and Medicine in the Sixteenth and Seventeenth Centuries* [1977] 2nd ed. New York, Dover Publications.

DEBUS, A. G. (2001) *Chemistry and Medical Debate. Van Helmont to Boerhaave*, Canton (MA), Science History Publications.

DHOMBRES, N. & DHOMBRES, J. (1989) *Naissance d'un nouveau pouvoir : sciences et savants en France, 1793-1824*, Paris, Payot.

DIONNE, R. & MacLEOD, R. (1979), « Science and Policy in British India, 1858-1914 : Perspectives on a Persisting Belief », in *Proceedings of the 6th European Conference on Modern South Asian Studies*, Paris, Colloques internationaux du CNRS, p. 55-68.

DRAYTON, R. (1998), « Knowledge and Empire », in P. J. Marschall (ed.), *The Oxford History of the British Empire : The Eighteenth Century*, Oxford, Oxford University Press, p. 231-252.

DUHEM, P. (2004), *Essai sur la notion de théorie physique : de Platon à Galilée* [1908], rééd. Paris, Vrin.

FLEMING, D. (1964), « Science in Australia, Canada and the United States : Some Comparative Remarks », in *Proceedings of the 10th International Congress of the History of Science (Ithaca, 1962)*, Paris, Hermann, p. 179-196.

FOUCAULT, M. (1966), *Les mots et les choses. Une archéologie des sciences humaines*, Paris, Gallimard.

FOUCAULT, M. (1969) *L'archéologie du savoir*, Paris, Gallimard.

FRAME, J. D. (1979) « National Economic Resources and the Production of Research in Lesser Developed Countries », *Social Studies of Science*, 9, p. 233-246.

FRAME, J. D. & CARPENTER, M. P. (1979) « International Research Collaboration », *Social Studies of Science*, 9, p. 481-497.

FRAME, J. D. (1980) « Measuring scientific activity in lesser developed countries », *Scientometrics*, 2, p. 133-145.

GARFIELD, E. (1979), « Is citation analysis a legitimate evaluation tool ? », *Scientometrics*, 1, p. 359-375.

GARFIELD, E. (1983), « Science in the Third World. Whether or not a Third World article is highly-cited depends on the recognition it gets from authors in the developed countries », *Science Age*, 1, Oct.-Nov. p. 59-65.

GASCOIGNE, R. (1992), « The Historical Demography of the Scientific Community, 1450-1900 », in *Social Studies of Science*, 22, p. 545-573.

GAUKROGER, S. (2006), *The Emergence of a Scientific Culture. Science and the Shaping of Modernity, 1210-1685*, Oxford, Clarendon Press, .

GILLISPIE, C. C. (1960), *The Edge of Objectivity : An Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton, Princeton University Press.

GOLINSKI, J. (1992), *Science as Public Culture. Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge, Cambridge University Press, 1992.

GOLINSKI, J. (1998), *Making Natural Knowledge. Constructivism and the History of Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

GUNDER FRANK, A. (1967), *Capitalism and Underdevelopment in Latin America. Historical Studies of Chile and Brasil*, New York, Monthly Review Press.

HABIB, S. I. & RAINA, D. (eds) (2007), *Social History of Science in Colonial India*, New Delhi, Oxford, Oxford University Press.

HAHN, R. (1971), *The Anatomy of a Scientific Institution. The Paris Academy of Sciences, 1666-1803*, Berkeley, University of California Press.

HALL, A. R. (1954), *The Scientific Revolution, 1500-1800 : The Formation of the Modern Scientific Attitude*, Boston, Beacon Press.

HARDING, S. (1998), *Is Science Multicultural ? Postcolonialisms, Feminisms, and Epistemologies*, Bloomington, Indiana University Press.

HEILBRON, J. H. (1982), *Elements of Early Modern Physics*, Berkeley, University of California Press.

HERIVEL, J. W. (1966-67) « Aspects of French theoretical physics in the 19th century », *British Journal for the History of Science*, 3, p. 109-132.

HERRERA, A. (1972), « Social Determinants of Science Policy in Latin America », *Journal of Development Studies*, 9/1, p. 19-37.

HODGE, J. M. (2011), « Science and Empire : An Overview of the Historical Scholarship », in Brett M. Bennett & Joseph M. Hodge (eds), *Knowledge and Networks of Science across the British Empire, 1800-1970*, Basingstroke, Palgrave Macmillan, p. 3-29.

HOLMES, F. L. (1989), *Eighteenth-Century Chemistry as an Investigative Enterprise*, Berkeley, University of California, 1989.

HUFF, T. E. (2003), *The Rise of Early Modern Science. Islam, China and the West* [1993] 2nd edition, Cambridge, Cambridge University Press, 2003.

HUNTER, M. (1989), *Establishing the new Science : the Experience of the early Royal Society*, Woodbridge, The Boydell Press, 1989.

INKSTER, I. (1985), « Scientific enterprise and the colonial « model » : observations on Australian experience in historical context », *Social Studies of Science*, 15, 1985, p. 677-704.

INKSTER, I. (1995), « Colonial and Neo-Colonial Transfers of Technology : Perspectives on India before 1914 », in Roy MacLeod & Deepak Kumar (eds), *Technology and the Raj. Western Technology and Technical Transfers to India 1700-1947*, New Delhi, Sage Publications, p. 25-50.

IHSANOGLU, E. (1992), « Ottomans and European Science », in Patrick Petitjean, Catherine Jami & Anne-Marie Moulin (eds), *Science and Empires : Historical Studies about Scientific Developments and European Expansion*, Dodrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 37-48.

JACOB, M. C. (1997), *Scientific Culture and the Making of the Industrial West*, New York & Oxford, Oxford University Press.

JAGODZINSKI-SIGOGNEAU, M., COURTIAL, J.-P. & LATOUR, B. (1982), « How to measure the degree of independence of a research system ? », *Scientometrics*, 4, p. 119-133.

JAMI, C. (1992), « Western Mathematics in China, Seventeenth Century and Nineteenth Centuries », in Patrick Petitjean, Catherine Jami & Anne-Marie Moulin (eds), *Science and Empires : Historical Studies about Scientific Developments and European Expansion*, Dodrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 79-88.

KIYOSI, Y. (1965), « The pre-history of modern science in Japan : the importation of Western science during the Tukugawa period », *Cahiers d'histoire mondiale*, 9, no 2, p. 208-232.

KNIGHT, D. M. (1975), « German science in the romantic period », in M. Crosland (dir.), *The emergence of science in western Europe*, London, Macmillan, 1975, p. 161-178.

KRAUSKOPF, M. PESSOT, R. & VICUNA, R. (1986), « Science in Latin America. How Much and Along What Lines », *Scientometrics*, 10, 1986, p. 199-206.

KRISHNA, V. V. (1992), « L'émergence de la communauté scientifique indienne (1850-1950) », in Roland Waast & A. El Kenz (éd.), *L'industrie et la recherche*, Bondy, ORSTOM, 1992, p. 114-129.

KUHN, T. S. (1961), « The function of measurement in modern physical science », *Isis*, 53, 1961, p. 161-193.

KUHN, T. S. (1977), « Mathematical versus Experimental Traditions in the Development of the Physical Science », in *The Essential Tension. Selected Studies in Scientific Traditions and Change*, Chicago and London, The Chicago University Press, 1977, p. 31-65.

LATOUR, B. (1987), *Science in Action : How to Follow Scientists and Engineers Through Society*, Cambdidge (Mass.), Harvard University Press.

LATOUR, B. & POLANCO, X. (1990), « Quelques remarques à propos de l'histoire sociale des sciences. Le modèle de la rosace », in Xavier Polanco (dir.), *Naissance et développement de la science-monde. Production et reproduction des communautés scientifiques en Europe et en Amérique latine*, La Découverte / Conseil de l'Europe / Unesco, 1990, p. 53-66.

LATOUR, B. & WOOLGAR, S. (1979), *Laboratory Life. The Social Construction of Scientific Facts*, London, Sage, 1979.

LIVINGSTONE, D. N. (2003), *Putting Science in its Place. Geographies of Scientific Knowledge*, Chicago and London, The University of Chicago Press, 2003.

MacLEOD, R. (1987), « On visiting the « moving metropolis » : reflections in the architecture of imperial science », *Historical Records of Australian Science*, 5/3, 1982, p. 1-16. Republié in Nathan Reingold & Marc Rothenberg (eds), *Scientific Colonialism : A Cross-Cultural Comparison*, Washington, Smithsonian Institution Press, p. 217-249.

MacLEOD, R. (2000), *Nature and Empire : Science and the Colonial Enterprise*, Chicago and London, The University of Chicago Press, 2000.

Mac LEOD, R. & KUMAR, D. (1995), *Technology and the Raj : Technical Transfers and Technological Change in British India, 1780-1945*, New Delhi, Sage.

MARTYKANOVA, D. (2010), *Reconstructing Ottoman Engineers. Archaeology of a Profession (1789-1914)*, Pisa, Plus-Pisa University Press.

MERTON, R. K. (1970), *Science, Technology and Society in 17th century England* [1938], New York, Harper.

NANDY, A. (1988), *Science, Hegemony and Violence : A Requiem for Modernity*, Delhi, Oxford University Press.

NEEDHAM, J. (1958), *Chinese astronomy and the Jesuit mission : an encounter of cultures*, London, China Society.

OLSON, R. (1975), *Scottish Philosophy and British Physics, 1750-1880. A study in the foundations of the Victorian scientific style*, Princeton.

OSBORNE, M. (2005), « Science and the French Empire », *Isis*, 96, p. 80-87.

PALLADINO, P. & WORBOYS, M. (1993), « Science and Imperialism », *Isis*, 84, p. 91-102.

POLANCO, X. (1990), « Une science-monde : la mondialisation de la science européenne et la création de traditions scientifiques locales », in Xavier Polanco (dir.), *Naissance et développement de la science-monde. Production et reproduction des communautés scientifiques en Europe et en Amérique latine*, La Découverte / Conseil de l'Europe / Unesco, p. 10-52.

POLANYI, M. (1962), « The Republic of Science : Its Political and Economic Theory », *Minerva*, 1, p. 54-74.

POTTER, S. (2007), « Webs, Networks and Systems : Globalization and the Mass Media in the Nineteenth- and Twentieth-Century British Empire », *Journal of British Studies*, 46, p. 621-646.

PRAKASH, G. (1999), *Another Reason : Science and the Imagination of Modern India*, New Delhi, Princeton University Press.

PYENSON, L. (1985), *Cultural Imperialism and the Exact Sciences : German Expansion Overseas, 1900-1930*, New York, Lang.

PYENSON, L., (1989) *Empire of Reason : Exact Sciences in Indonesia, 1840-1940*, Leiden, Brill.

PYENSON, L., (1993) *Civilizing Missions : Exact Sciences and French Overseas Expansion, 1830-1940*, Baltimore & London, John Hopkins University Press.

RAJ, K. (1986), « Hermeneutics and Cross-Cultural Communication in Science : The Reception of Western Scientific Ideas in 19th-Century India », *Revue de Synthèse*, p. 107-120.

RAJ, K. (1991), « Knowledge, Power and Modern Science : The Brahmins Strike Back », *in* Deepak Kumar (ed.), *Science and Empire : Essays in Indian Context (1700-1947)*, Delhi, Anamika Prakashan, p. 115-125.

RAJ, K. (2001), « Colonial Encounters and the Forging of New Knowlege and National Identities », *Osiris*, 15, p. 113-134.

RAJ, K., (2007) *Relocating Modern Science : Circulation and the Construction of Knowledge in South Asia and Europe, 1650-1900*, Basingstoke & New York, Palgrave Macmillan.

ROCHE, M. & FREITES, Y. (1982), « Producción y flujo de información cientifica en un pais periférico americano (Venezuela) », *Interciencia*, 7, p. 279-290.

ROGER, J. (1995), « Science et littérature à l'âge baroque », in *Pour une histoire des sciences à part entière*, Paris, A. Michel, p. 95-116.

ROUSSEAU, G. S. and PORTER, R. (eds) (1980), *The Ferment of Knowledge. Studies in the Historiography of the 18th century Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

RUDWICK, M. (2005), *Bursting the Limits of Time. The Reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*, Chicago & London, The University of Chicago Press.

SCHMITT, C. B. (1983), *Aristotle and the Renaissance*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

SCHAFFER, S., ROBERTS, L., RAJ, K. & DELBOURGO, J. (eds) (2009), *The Brokered World : Go-betweens and Global Intelligence, 1770-1820*, Sagamore Beach (MA), Science History Publications.

SEN, S.N. (1966), « The Character of the Introduction of Western Science in India during the Eighteenth and the Nineteenth Centuries », *Indian Journal of History of Science*, 1, p. 112-121.

SHAPIN, S. (1988), « Understanding the Merton thesis », *Isis*, 79, p. 594-605.

SHAPIN, S. (1996), *The Scientific Revolution*, Chicago, The University of Chicago Press.

SHINN, T. (1980), « Orthodoxy and innovation in science : the atomist controversy in French chemistry », *Minerva*, p. 539-555.

SIBUM, H. O. (2003), « Experimentalists in the Republic of Letters », *Science in Context*, 16/ 1-2, p. 89-120.

SIGRIST, R. (2011), *La nature à l'épreuve. Les débuts de l'expérimentation à Genève (1670-1790)*, Paris, Classiques Garnier.

STUCHTEY, B. (ed.) (2005), *Science Across the European Empires, 1800-1950*, Oxford, Oxford University Press.

TOMIC, S. (2010), *Aux origines de la chimie organique. Méthodes et pratiques des pharmaciens et des chimistes (1785-1835)*, Presses universitaires de Rennes.

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

WEBSTER, C. (1982), *From Paracelsus to Newton. Magic and the Making of Modern Science*, Cambridge, Cambridge University Press.

WESTFALL, R. S. (1971), *The Construction of Modern Science : Mechanisms and Mechanics*, Cambridge, Cambridge University Press.

WILL, P.-E. (1995), « Modernisation Less Science ? Some Reflections on China and Japan before Westernization », in Hashimoto Keizô', Catherine Jami & Lowell Skar (eds), *East Asian Science : Tradition and Beyond*, Osaka, p. 33-48.