Aux origines du système scientifique international

Les développements de la chimie en Europe, XVII^e^-XIX^e^ siècles

René Sigrist [1]

Comme on l'a vu dans le premier chapitre de notre ouvrage, il est difficile de situer les origines de la science moderne ou de la science-monde, c'est-à-dire du système scientifique international [2]. La genèse de la science moderne fut en effet un processus de longue durée, qui a peut-être démarré à la Renaissance et ne s'est guère achevé avant le milieu du XIX^e^ siècle. Le développement de la chimie obéit à la même incertitude. Les origines de la discipline se perdent dans la nuit des temps, ou à peu près. Ses stades de développement les plus significatifs font l'objet de débats. La « Révolution chimique » des années 1770-1780 a longtemps été considérée comme l'épisode le plus crucial pour la mise en forme d'un paradigme disciplinaire moderne. Mais comme pour la Révolution scientifique du XVII^e^ siècle, ce récit ne fait plus aujourd'hui l'objet du même consensus qu'auparavant. Certains auteurs, comme Allen Debus, ont mis l'accent sur la « philosophie chimique » des XVI^e^ et XVII^e^ siècles, dans laquelle ils ont vu une sorte d'équivalent pour la iatrochimie ce que fut la philosophie mécaniste pour la physico-mathématique. D'autres ont situé la rupture fondamentale vers 1700, avec l'attention accrue apportée aux réactions chimiques réversibles au détriment des transmutations alchimiques et de la recherche de substances secrètes. D'autres encore ont remarqué que ce n'est que dans les années 1830 que la chimie moderne, fondée sur la détermination des formules de composition élémentaire, s'est étendue à l'ensemble des substances naturelles et artificielles, qu'elles soient d'origine organique aussi bien que minérale.

1. Le présent chapitre est le fruit d'une recherche originale soutenue par la Gerda Henkel Stiftung, subside n° AZ 30/EU/11 et le Fonds national suisse, subside n° 100.011-137.579.

2. Voir le chapitre « De la révolution scientifique à la science-monde ».

Dans l'histoire des origines du système scientifique international, le développement de la chimie présente peut-être un cas à part. À moins que chaque discipline, ou chaque culture scientifique, ne soit précisément un cas différent. Quoi qu'il en soit, nous verrons que l'histoire du développement de la chimie en Europe, s'est d'abord inscrite dans trois espaces nationaux principaux (France, Grande-Bretagne, Allemagne) et quelques foyers secondaires (Suède, Italie). Elle a ensuite connu, dans le second tiers du XIX^e siècle, une première « diffusion » dans des entités plus « périphériques » comme la Russie, les États-Unis et l'Autriche-Hongrie. L'étude des mécanismes de cette première expansion permettra peut-être de savoir s'ils constituent des facteurs spécifiques et non reproductibles, ou si au contraire ils représentent une sorte de matrice des développements effectués dès la fin du XIX^e siècle dans d'autres entités géopolitiques comme l'Amérique du Sud, le Japon, ou l'Inde.

1 Les origines incertaines de la chimie (avant 1700)

Les origines de la chimie remontent assez loin dans le temps. Les philosophes grecs des V^e et IV^e siècles, Empédocle, Démocrite et Aristote avaient développé des théories rationnelles de la matière capables d'ordonner, de classifier et d'expliquer les pratiques techniques relatives aux métaux, à la poterie, aux teintures, aux parfums et bien entendu à la pharmacie. À l'époque hellénistique, cette rationalité s'était largement dissoute dans un apport mystique d'origine égyptienne, qui devint par la suite une composante essentielle de l'alchimie occidentale. L'alchimie, qui existait traditionnellement en Occident comme dans la plupart des cultures pratiquant la métallurgie, était à l'origine une façon d'expliquer l'origine des métaux [3]. Bien plus large que la chimie, elle était aussi, comme dans la plupart des cultures, un art cosmique censé permettre à ceux qui le maîtrisaient de libérer les parties minérales et animales du cosmos de leur existence temporelle afin d'atteindre un état de perfection : celui l'or dans le cas des minéraux [4]. La longévité, l'immortalité et finalement la rédemption étaient les buts ultimes de ce grand œuvre.

Sur un plan plus technique, la récupération par l'Occident chrétien de l'héritage grec et de ses enrichissements arabes prit des siècles. La laïcisation de la pensée sur la matière prit davantage de temps encore. Au sortir du Moyen Âge, seul un petit groupe de savants, comprenant surtout des médecins, développait des recherches expérimentales, non sans s'égarer le plus souvent dans un vocabulaire hermétique censé protéger le savoir acquis face aux non-initiés. Dès le XIII^e siècle, ces alchimistes « exotériques » étaient capables de préparer des acides forts (sulfurique, hydrochlorique et nitrique) en suivant les recettes du chimiste arabe Rhazès (850 – c. 923). Mais l'obscurité de leurs discours, et parfois de leurs finalités (transmutations, pierre philosophale), sans oublier leur pratique du secret, étaient à l'opposé du partage et de la vérification expérimentale des connaissances qui fondent une science véritable. Les pratiques de

3. Brock, 1992, p. 3-5. L'alchimie existait en particulier dans le monde islamique, en Chine, en Inde, en Indonésie, en Afrique et même en Sibérie. Dans ces différentes cultures, la présence de métaux au sein de la terre était généralement expliquée par des processus de génération et de croissance, ce qui donnait à la métallurgie une sorte de caractère obstétrique.

4. De telles transformations pouvaient être obtenues par l'usage d'une substance matérielle comme la pierre philosophale ou l'élixir, ou par l'accès à un savoir révélé, ou encore par une transformation psychologique (d'après E. J. Sheppard, in *Ambix*, 17, 1970, p. 69-84, cité par Brock, 1992, p. 4).

laboratoire et de boutique pharmaceutique demeuraient fortement empreintes de magie, d'hermétisme et d'astrologie.

Le premier à établir une distinction formelle entre chimie et alchimie fut Paracelse (1493-1541), qui assimilait lui-même la chimie à l'iatrochimie, c'est-à-dire à la chimie médicale. Dans son esprit, cette science incluait tout processus naturel dans lequel des substances se trouvent impliquées ou métamorphosées, que ce processus soit de nature physique (comme la cuisson) ou physiologique (comme la digestion). Paracelse rejetait fermement toute idée de transmutation des métaux, de pierre philosophale ou d'élixir. Il n'en demeurait pas moins un penseur hermétique, qui accordait une place importante aux correspondances, aux représentations symboliques et aux emblèmes. L'analogie qu'il établissait entre l'anatomie du monde et celle de l'homme l'incitait ainsi à rechercher des correspondances entre le macrocosme et le microcosme. Sa chimie demeurait d'ailleurs une quête spirituelle sur le sens de l'Univers aussi bien qu'une tentative de réforme de la médecine. Paracelse rejetait pourtant les raisonnements aristotéliciens, et réclamait même une réforme des universités. Mais c'était au profit d'une expérience du monde qui relève d'une sorte d'intuition, rendue possible par la position unique de l'homme dans la Création. Cette expérience (*Erfahrung*) n'avait donc pas grand-chose à voir avec l'empirisme expérimental tel que le concevra Francis Bacon. Il restait en fait chez Paracelse quelque chose de l'héritage médiéval et néoplatonicien de la gnose et de la magie naturelle. Son système, interprété de multiples manières par ses disciples au cours des XVI^e^ et XVII^e^ siècles, ne constituait pas encore une véritable rupture par rapport aux traditions alchimiques médiévales héritées du monde arabo-musulman.

Avec Van Helmont (1579-1644) et avec d'autres médecins comme Daniel Sennert (1572-1637) ou Franciscus Sylvius (1614-1672) apparaît une médecine chimique pratiquement dégagée de tout mysticisme, et donc opposée à la tradition hermétique issue de Paracelse. Un historien comme Allen Debus a vu dans le développement de cette « philosophie chimique » une sorte de référence théorique aussi fondamentale pour la chimie et les sciences de la vie du XVII^e^ siècle que le fut la philosophie mécanique pour les sciences physico-mathématiques de l'époque de la « Révolution scientifique » [5]. William Newman a même tenté de réintégrer l'expérimentation chimique et alchimique parmi les pratiques fondatrices ou annonciatrices de la Révolution scientifique [6]. Certes, l'hostilité de la médecine savante classique, toujours dominée par l'héritage de Galien et d'Hippocrate, envers l'usage de remèdes chimiques, hostilité illustrée par l'attitude conservatrice de la Sorbonne dans la fameuse « querelle de l'antimoine » (1566-1666), fit apparaître les iatrochimistes pour des novateurs, qu'ils soient Paracelsiens, disciples de Van Helmont ou tout simplement pragmatiques. Mais l'expérimentation des iatrochimistes constituait un argument rhétorique davantage qu'une pratique effective. Les pratiques de laboratoire restaient pour l'essentiel l'apanage des pharmaciens, des métallurgistes (essayeurs) et des artisans. Au XVII^e^ siècle, le but de la philosophie chimique demeurait la recherche des principes premiers de la matière. La séparation entre chimie et alchimie restait d'ailleurs incertaine, ce qui a

5. Debus, [1977] 2002 et Debus, 2001.
6. Newman, 2006.

poussé certains auteurs anglo-saxons à désigner l'une comme l'autre par le mot neutre de « *chymistry* » [7].

Selon Owen Hannaway, ce sont d'abord les nécessités liées à l'enseignement qui ont fait apparaître la chimie en tant que discipline distincte. C'est donc à l'*Alchemia* d'Andreas Libavius (1597) que reviendrait le mérite d'avoir présenté pour la première fois cette science comme un sujet d'étude à part entière, en y intégrant les techniques et les préparations de tous les arts et métiers qui s'y rapportent [8]. Ces techniques provenaient en particulier de la science des mines et de la métallurgie, qui ont connu un grand essor dès le XVI^e^ siècle. Des entreprises minières et industrielles beaucoup plus fructueuses que les vaines tentatives de transmutation sont alors apparues, éclairées par des ouvrages comme la *Pirotechnia* de Vannoccio Biringuccio (1540) ou le *De re metallica* de Georg Agricola (1556). Sceptique envers l'alchimie, Biringuccio souligna la valeur de l'essayage comme méthode de titrage des opérations métallurgiques, ainsi que l'importance de procéder à des mesures quantitatives pour exécuter les différentes recettes chimiques [9]. Dans un contexte plus proprement médical, Conrad Gessner publia *De remediis secretis* (1552), un ouvrage de chimie pharmaceutique critique envers Paracelse qui fut largement diffusé et qui connut de nombreuses traductions.

Parmi les premiers manuels qui traitent de la chimie comme une discipline séparée figurent ceux de Jean Beguin (*Tyrocinium Chymicum*, 1610) et de Nicolas Lémery (*Cours de Chymie*, 1675). Tous rejettent violemment la tradition paracelsienne. Sur le plan pratique, le recours systématique à l'expérimentation fait de Robert Boyle (1627-1691) un candidat sérieux au titre de premier chimiste moderne. Sur le plan théorique, la seconde moitié du XVII^e^ siècle constitue également un moment charnière en raison de l'intégration de la pensée chimique à la nouvelle philosophie mécaniste et corpusculariste. C'est ainsi que des philosophes de la nature comme Descartes, Gassendi et Newton apportèrent une certaine attention à la chimie conçue comme théorie de la matière [10]. Certes, les théories corpusculaires n'offraient pas de solution au développement de l'analyse chimique, qui suppose une définition opératoire des notions d'élément et de composé [11]. Mais la chimie se libère néanmoins de l'emprise exclusive de la iatrochimie pour être intégrée au paradigme mécaniste dominant. Newton aura lui-même une influence sur le développement de cette science de la matière en suggérant l'existence d'attractions à court rayon d'action entre particules (voir les « Queries » 31 et 32 de la seconde édition de son *Opticks*, 1717 [12]). L'étude de ces attractions, et l'établissement de tables d'affinités, deviendront ainsi l'un des principaux programmes de recherche de la chimie du XVIII^e^ siècle.

Ursula Klein a récemment démontré que l'analyse chimique, c'est-à-dire l'étude des réactions de substances qui peuvent être décomposées et recomposées, s'est mise en

7. Newman & Principe, 1998.

8. Hannaway, 1975.

9. Brock, 1992, p. 26-28.

10. Sur le cas de Descartes, voir Joly, 2011.

11. Le *Cours de chimie* de Nicolas Lémery (1675), dans lequel certains historiens ont vu l'un des actes fondateurs de la discipline, se sert ainsi des corpuscules comme d'un principe théorique légitimant, mais ne parvient pas à faire disparaître le recours aux quatre éléments aristotéliciens ou à d'autres principes, y compris ceux de Paracelse.

12. Ces notions figuraient déjà dans l'édition latine de 1706. Sur la chimie de Newton voir Newman, 2002.

place vers 1700, même si ce n'était encore que dans le domaine limité des sels, des terres des métaux et des corps inflammables d'origine minérale [13]. Un des premiers aboutissements de l'établissement de ce nouveau système expérimental et conceptuel, basé sur les notions de composition chimique et d'affinité et sur la pratique de l'analyse et de la synthèse, fut l'établissement de tables d'affinité comme celles d'Étienne-François Geoffroy (1718) [14]. En montrant de plus que la théorie du phlogistique de Stahl [15] et le développement de la chimie des sels [16] permettaient d'établir un paradigme théorique et conceptuel en rupture avec la chimie traditionnelle des principes, Ursula Klein et d'autres historiens ont donc relativisé considérablement l'importance de la « Révolution chimique » des années 1770-1780 comme acte fondateur de la chimie moderne. L'isolement des « principes immédiats » des substances a donc précédé celui des éléments chimiques comme la théorie phlogistique de la calcination des métaux a précédé celle de l'oxydation. De même, la classe des bases salifiables était préfigurée par le groupe des sels alcalins, comme la classe des bases acidifiables l'était par la notion de soufre générique [17]. Dans cette optique, la Révolution chimique recouvre certes toujours la découverte et l'analyse quantitative de nouveaux gaz, la décomposition de l'air et de l'eau, la théorie moderne de la combustion, la loi de conservation de la masse ou encore l'établissement d'une nomenclature nouvelle. Mais la « nouvelle chimie » de Lavoisier et consorts perd en revanche son statut de premier paradigme véritable pour la chimie et donc d'acte fondateur de la chimie moderne. Un appareil théorique relativement cohérent existait déjà depuis le début du XVIII^e^ siècle, de même qu'un programme de recherches empiriques, fondé sur l'analyse des affinités et l'identification des « principes immédiats » des corps. Le fait que la chimie « académique » utilisait les mêmes substances, et les mêmes principes de classification, que les pharmaciens, les métallurgistes et les artisans, n'est pas en soi un indice de l'inexistence de la chimie comme discipline, mais bien davantage une caractéristique de la chimie du XVIII^e^ siècle et du début du XIX^e^ siècle [18].

En considérant la chimie d'un point de vue social, ou si l'on préfère dans une optique « constructiviste », on voit également que la charnière des XVII^e^ et XVIII^e^ siècles constitue une sorte de tournant. Le chimiste émerge alors comme une figure sociale plus ou moins identifiable par les contemporains, et dont les caractéristiques peuvent être analysées rétrospectivement. C'est ce que nous allons faire dans la suite de ce chapitre.

13. Klein & Lefevre, 2007.
14. Crosland, 1963, p. 375-390.
15. La théorie du phlogistique a été établie par Stahl en 1703, mais une première version avait déjà été esquissée dès 1667 (Metzger, [1930] 1974).
16. Holmes, 1989 a montré (« Lecture 2 », p. 33-60) que la chimie des sels a servi dès le début du XVIII^e^ siècle de structure conceptuelle à la discipline, en attendant que l'analyse des gaz lui serve de prototype d'études quantitatives.
17. Klein & Lefevre, 2007, p. 163-177.
18. *Ibid.*, p. 297-299.

2 Les premières communautés organisées de chimistes (vers 1700)

Dans un article volontairement polémique, Lawrence M. Principe a soutenu que les changements survenus entre 1675 et 1725 dans les buts, les pratiques, les contenus et la forme même de la chimie sont tellement importants qu'ils font presque automatiquement venir à l'esprit le mot, si souvent utilisé par ailleurs, de révolution [19]. Au niveau des buts et des applications, explique-t-il, c'est alors que la chimie se sépare définitivement de l'alchimie. Socialement, on note un accroissement du statut des chimistes, avec même un début de professionnalisation. Enfin, la période est marquée par une fertilité remarquable en matière de propositions théoriques, désormais fondées sur des données empiriques et des résultats expérimentaux. On pourrait ajouter que vers 1700, la perception par les principaux États européens des enjeux médicaux, pharmaceutiques, miniers et manufacturiers de la chimie est à l'origine des premières formes d'institutionnalisation de la discipline.

En réalité, la chimie pratique a démontré, dès le XVI^e^ siècle, l'intérêt de ses méthodes dans l'extraction des métaux et l'essayage. Au cours du XVII^e^ siècle, elle a connu des développements importants dans les arts relatifs à la distillation (production d'huiles, de parfums, de liqueurs et d'acides forts), ainsi que dans la teinture, la verrerie et la poterie. Cependant, dans un monde intellectuellement dominé par des disciplines théoriques (théologie, droit, philologie et… médecine), l'association de la chimie avec des pratiques artisanales, manufacturières ou commerciales n'était pas de nature à lui procurer une grande reconnaissance sociale. La médecine savante en particulier n'avait que mépris pour les pharmaciens, les médecins empiriques et autres « Thiéracleurs, Alchimistes, Chimistes, Paracelsistes, Distillateurs, Extracteurs de quintessences, Fondeurs d'or potable, Maistres de l'elixir et telle pernicieuse engeance d'imposteurs [20] ».

Grâce à quelques succès thérapeutiques habilement exploités [21], un groupe d'iatrochimistes et de pharmaciens bien en cour obtient néanmoins quelques créations institutionnelles, notamment à Paris [22]. Un premier enseignement de la chimie fut ainsi établi au Jardin du roi dès 1635, un enseignement d'ailleurs dédoublé avant la fin du siècle [23]. D'autres cours de chimie sont donnés au Jardin des apothicaires dès 1702 [24] et à la faculté de médecine de Montpellier, qui nomme en 1697 un professeur de chimie, secondé par un démonstrateur royal. À partir de 1666, la nouvelle Académie des sciences inclut parmi ses pensionnaires des chimistes comme Claude Bourdelin, Samuel Duclos, Pierre Borelli, et Wilhelm Homberg, prélude à l'instauration en 1699

19. Principe, 2007, en particulier p. 2.

20. Expressions tirées du sous-titre d'une *Satyre contre les Charlatans et pseudo-médecins Empyriques* publiée en 1610 par Thomas Sonnet de Courval.

21. La guérison en 1658 du jeune Louis XIV par un traitement à l'antimoine décida de l'issue d'une querelle séculaire entre médecins galénistes et médecins partisans de la chimie.

22. Debus, 1991, chap. 2 et 3.

23. Vers 1604, Jean Beguin, aidé par des médecins comme Jean Ribit et Théodore Turquet de Mayerne, donna à Paris des leçons de chimie et des démonstrations pratiques pour la préparation des remèdes pharmaceutiques (Read, 1961, p. 104-107). Au Jardin du roi, l'enseignement de la chimie fut confié dès 1635 à un démonstrateur (Urbain Baudinot jusqu'en 1672, puis Guy Fagon jusqu'en 1711), installé dans ce qui deviendra une chaire principale avant la fin du siècle. En effet, une seconde chaire de chimie, préfigurée par les leçons de William Davisson (1648-1651), Nicaise Lefèbvre (1652-1660) et Christophe Glaser (1660-1671) fut établie en 1695 (Laissus, 1964, p. 312).

24. De 1702 à 1722, puis de 1753 à 1765 (Bedel, 1964).

d'une section de chimie à part entière [25]. Un premier laboratoire de chimie est établi au Louvre dès 1678, afin de permettre aux académiciens d'étudier notamment la composition chimique des végétaux. Un autre laboratoire est installé en 1 700 dans le Jardin des apothicaires.

Dès le XVII^e siècle, la chimie entre discrètement dans quelques universités germaniques. C'est notamment le cas à Marburg en association avec la pharmacie (1609), à Jena dans le cadre de la médecine pratique (1673) et à Altdorf en liaison avec l'anatomie (1677). La tradition des ingénieurs des mines qui publient des ouvrages techniques se poursuit tout au long du XVII^e siècle, ce qui incite différents États (Brunswick, Saxe, Prusse) à se doter d'un conseil des mines en bonne et due forme. Quelques alchimistes ou ex-alchimistes trouvent par ailleurs à s'employer comme « arcanistes » dans des manufactures de glaces (Berlin) ou de porcelaine (Meissen). En 1711, Caspar Neumann, destiné à devenir pharmacien de cour à Berlin, est envoyé par le roi de Prusse à Leyde, puis à Paris, afin d'y améliorer sa formation.

En Suède, un *Bergskollegium* est établi dès 1678 dans la capitale afin d'améliorer la gestion des industries minières et forestières du pays, mais aussi de développer l'enseignement pratique de la science des mines. Dotée d'un laboratoire confié à Urban Hiärne (1684), puis à Georg Brandt (1726), cette école va devenir une pépinière de chimistes et de métallurgistes. Elle contribuera à faire de la Suède l'un des principaux foyers de la discipline tout au long du XVIII^e siècle.

En Angleterre, les premiers pharmaciens enseignant la chimie en milieu privé (George Wilson, Christopher Packe) apparaissent dès la Restauration. L'Apothecaries' Hall de Londres devient en 1672 la première institution fabriquant des produits chimiques en grand. À Cambridge, John Francis Vigani, qui enseignait la chimie pharmaceutique depuis le début des années 1680, est officiellement titularisé comme professeur honoraire en 1703.

Aux Pays-Bas enfin, la chimie est intégrée en 1718 au curriculum de la faculté de médecine de Leyde. Le succès des cours donnés par Hermann Boerhaave donnera à cette initiative une portée européenne. Au tournant du siècle, la profession de chimiste est donc effectivement sur le point de se dégager des limbes de la médecine, de la pharmacie et de la science des mines. La recherche va cependant s'organiser suivant des modes sensiblement différents d'un État à l'autre. Ainsi, la France et la Prusse accorderont davantage d'importance aux académies et à la formation des ingénieurs, les autres États germaniques et les États italiens aux universités. Quant à la Grande-Bretagne, elle laissera le champ libre à diverses initiatives corporatives ou privées, ainsi qu'à l'industrie.

À partir de 1700 environ, tous ces développements institutionnels de « l'entreprise chimique » commencent à avoir un impact réel sur la constitution de la discipline et sur la professionnalisation de ses adeptes. En devenant partie prenante d'un système de grandes académies royales qui s'efforce d'organiser et de promouvoir la « nouvelle science », les chimistes acquièrent une identité sociale et un début de statut pro-

25. La section de chimie comptait alors trois pensionnaires (Nicolas Lemery, Guillaume Homberg, Simon Boulduc), deux associés et deux élèves. À la même date, le Jardin du roi avait deux professeurs de chimie (Guy Fagon, Simon Boulduc) et un assistant démonstrateur.

fessionnel. Ils s'installent du même coup au cœur des réseaux de la République des lettres. Collectivement pourtant, leur identité mettra pourtant du temps à se préciser, le chimiste demeurant facilement occulté par la figure du médecin, du pharmacien, de l'ingénieur des mines, voire du philosophe de la nature. Une étude sémantique assez sommaire suffit à montrer que ce processus d'affirmation sociale ne s'est achevé qu'autour des années 1770-1780, lorsque le « savant chimiste » deviendra un « chimiste » tout court, c'est-à-dire lorsque le spécialiste de la discipline aura remplacé une variété particulière de la corporation des chercheurs ou des techniciens.

3 La croissance du nombre de spécialistes, 1700-1870

Malgré ces avancées institutionnelles, la chimie du début du XVIII^e^ siècle ne peut encore se comparer, par le nombre de ses spécialistes, avec des sciences établies de plus longue date comme l'astronomie, les mathématiques, l'anatomie ou encore la botanique. Ce nombre de spécialistes ne croît d'ailleurs d'une manière sensible qu'à partir des années 1730-1740 (voir *infra*, fig. 2). C'est à cette époque que l'utilité de la chimie attire l'attention des philosophes, en particulier de Diderot et des collaborateurs de l'*Encyclopédie*, mais aussi, de façon moins visible, de Rousseau [26]. Devenue une science à la mode, son enseignement se répand en France tout au long du XVIII^e^ siècle [27]. En Allemagne, elle s'institutionnalise à partir des années 1720 à l'Académie de Berlin, puis dans un nombre croissant d'universités. Elle donnera ainsi naissance, dans le dernier tiers du siècle, à l'une des premières communautés de spécialistes organisée à l'échelle nationale [28]. En Grande-Bretagne, le développement des industries chimiques devient, après 1760, l'un des fers de lance de la Révolution industrielle. La production d'acides, celle de colorants pour les textiles ou encore celle de faïences fines y symbolisent, tout aussi bien que la machine à vapeur de James Watt, le triomphe de l'esprit d'entreprise et d'une mentalité libérale. À la fin du siècle, la chimie expérimentale intéresse aussi bien le public cultivé du Sud de l'Angleterre que les milieux manufacturiers des Midlands ou les médecins et les industriels d'Écosse [29]. En revanche, elle ne progresse guère dans les universités d'Oxford et de Cambridge.

À partir du moment où le chimiste devient un individu socialement identifiable se pose la question de l'évolution du nombre de spécialistes. Les contemporains ne pouvaient identifier comme savant, et à partir de là comme chimiste, qu'une mince élite de chercheurs affiliés aux principales académies royales, en particulier celles de Londres (Royal Society), Paris, Berlin, Stockholm, Saint-Pétersbourg et Bologne. Grâce à des recueils tels que le *Historical Catalogue of Scientists* de Robert M. Gascoigne (1984) ou le *Dictionary of Scientific Biography* (DSB) de Gillispie (1970-1980), l'historien dispose aujourd'hui d'outils qui lui permettent de se constituer un échantillon plus large, et ainsi plus représentatif de l'ensemble des savants européens de la période 1700-1870 [30]. On peut aussi considérer de manière séparée les « grands » savants (catégorie A), soit ceux qui figurent dans le DSB ou étaient affiliés à deux au moins

26. Sur la chimie de Diderot, voir Pépin, 2012. Sur la chimie de Rousseau, voir Bensaude-Vincent, 2003.
27. Voir Bensaude-Vincent & Lehman, 2007.
28. Hufbauer, 1982.
29. Golinski, 1992.
30. Sur la façon de constituer cet échantillon, voir Sigrist & Widmer, 2011.

des principales académies de l'époque. Tous les autres individus inventoriés dans le *Catalogue* de Gascoigne ou affiliés à une des six principales académies de l'époque, soit les trois quarts de l'échantillon considéré, deviennent alors de « petits » savants (catégorie B).

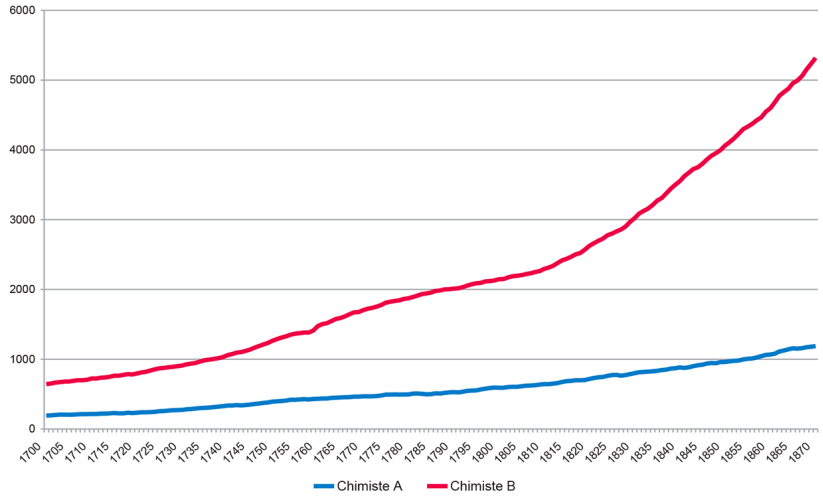


Figure 1 – Évolution du nombre de savants occidentaux potentiellement actifs, 1700-1870. N'ont été retenus que les savants de plus de 20 ans recensés par Gascoigne, 1984, ou affiliés à l'une au moins des six principales académies des sciences de l'époque. Les savants A sont ceux qui figurent dans le *Dictionary of Scientific Biography* ou étaient affiliés à deux académies principales au moins

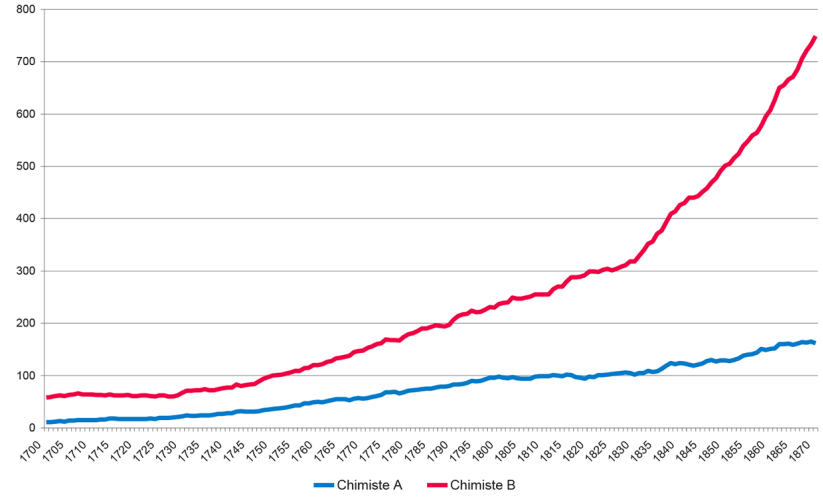


Figure 2 – Évolution du nombre de chimistes occidentaux potentiellement actifs, 1700-1870. N'ont été pris en compte que les savants « académiques » dont la chimie constituait la discipline principale

Sur la base de ces définitions formelles, on peut montrer que la croissance numérique de la communauté savante européenne entre 1700 et 1870 offre l'image d'une progression rassurante (fig. 1). À y regarder de plus près, le groupe des grands savants croît assez régulièrement, tandis que celui des savants de second plan connaît après 1810 un essor accéléré. Pour reprendre les catégories de Kuhn, ce développement pourrait être interprété comme la manifestation d'une certaine « normalisation » de la science européenne au cours du XIX^e^ siècle.

Qu'en est-il de la communauté des spécialistes de la chimie ? Désignons par A1 le groupe des grands savants spécialisés en chimie (soit ceux dont la chimie serait la spécialité première) et par B1 le groupe des savants de second plan spécialisée en chimie [31]. On constate alors que l'évolution numérique de la communauté des chimistes spécialisés reflète assez bien l'évolution globale de la communauté savante occidentale (fig. 2). Quelques différences significatives sont toutefois à relever. D'abord, dans la période d'avant 1735, les effectifs de la communauté des chimistes stagnent, ou à peu près. Par contre, dans la période d'après 1830, la croissance de la communauté des chimistes est plus forte que celle de l'ensemble des savants. Conséquence de cette évolution : alors qu'au début du XVIII^e^ siècle, les spécialistes de la chimie représentent environ 9 % de la communauté savante globale, cette proportion atteint les 14 % vers 1870 [32]. Cette évolution reste à peu près la même si l'on considère les grands savants de manière séparée. Par conséquent, le poids relatif de la chimie dans l'ensemble de l'entreprise scientifique occidentale a augmenté au cours de la période 1700-1870. Il convient cependant de distinguer trois phases.

1° Avant 1735, la chimie représente encore peu de chose par rapport à d'autres disciplines comme les mathématiques, l'astronomie ou même à la botanique [33].

2° De 1735 à 1830, son développement apparaît plus rapide que celui des sciences physico-mathématiques (maths, astronomie, physique), soit des disciplines issues de la « Révolution scientifique » du XVII^e^ siècle. Il demeure par contre inférieur à celui d'autres sciences empiriques telles que la botanique et surtout les sciences de la terre, qui caractérisent véritablement la science des Lumières.

3° De 1830 à 1870 enfin, et sans doute au-delà, la chimie tend progressivement à devenir l'un des principaux moteurs de la recherche en Occident. Son influence sur d'autres domaines comme la minéralogie, la physiologie, l'agronomie ou la physique est très certainement à la hausse lui aussi [34].

Les statistiques présentées ci-dessus, et celles qui suivront, sont donc basées sur un échantillon de 1 365 chimistes spécialisés, dont 351 entrent dans la catégorie des savants de premier plan (type Berthollet) et 1 014 dans la catégorie des chercheurs

31. L'attribution de cette spécialisation se fonde sur les sources utilisées : Gillispie, 1970-1980 (= DSB), Gascoigne, 1984 et les différents index d'affiliations académiques.

32. En 1870, le nombre de chimistes spécialisés est plus de 8 fois supérieur à ce qu'il était en 1700.

33. Pour une figure comparant l'évolution numérique de la chimie avec cinq autre disciplines sur la période 1700-1825, voir Sigrist, 2011, p. 638.

34. Pour pouvoir l'affirmer en toute rigueur, il faudrait néanmoins recenser tous les chimistes non spécialisés, soit les chercheurs ayant pratiqué la chimie comme une discipline secondaire, voire même les pratiquants occasionnels de la chimie.

de second plan (type Nicolas Deyeux). En dépit du caractère formel, et quelque peu artificiel, de ces délimitations (tab. 1), on a de bonnes raisons de penser que les membres de ces deux groupes (A1 et B1) rassemblent les individus les plus représentatifs de l'entreprise chimique de la période considérée [35]. Au-delà de ce noyau principal, d'autres catégories d'acteurs peuvent être caractérisées d'une manière tout aussi formelle. C'est en particulier le cas des individus qui ont pratiqué la chimie comme une discipline secondaire, et sont néanmoins susceptibles de lui avoir apporté des contributions substantielles à l'image d'Ampère (A2) ou de Gillet de Laumont (B2) [36]. Il semble d'ailleurs que leur nombre dépasse légèrement celui des spécialistes proprement dits [37]. Celui des pratiquants occasionnels de la chimie est beaucoup plus difficile à établir, mais il est de toute évidence nettement plus élevé [38]. On y trouve des individus moins connus pour leurs contributions à la chimie qu'à d'autres domaines scientifiques ou intellectuels, à l'image de Monge (A3) ou de Jean-Jacques Rousseau (B3) [39].

Tableau 1 – Grille d'analyse de la communauté des chimistes de la période 1700-1870 et de ses différentes composantes académiques et non académiques

CHIMISTES 1700-1870	Savants de premier plan (A)	Savants de second plan (B)	Savants d'importance mineure, amateurs et dilettantes (C)
Spécialisés (1)	Cl.-Louis Berthollet Humphry Davy 351	Nicolas Deyeux William Allen 1014	Séb. Matte J.-F. Boulduc Rob. Mushet Wil. Ch. Henry c. 2050
Non spécialisés (2)	Ampère James Hall c. 420	Gillet de Laumont c. 1200	M^{me} Lavoisier François Delaroche c. 2500 ?
Occasionnels (3)	Monge c. 1600 ?	J.-J. Rousseau c. 4500 ?	M^{me} de Warens (c. 9200 ?)

35. Il convient de signaler ici l'étonnante coïncidence entre notre échantillon d'étude et celui établi par Hufbauer, 1982 pour les chimistes allemands du XVIII^{e} siècle. Nos deux groupes A1 et B1 incluent en effet 63 des 65 chimistes « allemands » du XVIII^{e} siècle, identifiés par Karl Hufbauer sur la base de l'opinion de pas moins de 82 observateurs des XVIII^{e} et XIX^{e} siècles (*cf.* Hufbauer, 1982, Appendix I). Bien entendu, ce décompte n'inclut pas les ressortissants des terres héréditaires des Habsbourg en Autriche (Vienne, Innsbruck, Graz), en Hongrie (Budapest, Schemnitz) ou en Bohême (Prague, Olmütz), pas plus que les Alsaciens (Strasbourg, Colmar) ou les Suisses (Bâle), qui figurent également dans l'étude de Hufbauer.

36. On peut ainsi mentionner les travaux d'Ampère sur les gaz parfaits ou les descriptions d'espèces minérales nouvelles par Gillet de Laumont.

37. Sur la base de la très extensive *Liste des astronomes connus actuellement vivants*, établie dans les années 1776-1778 par Jean III Bernoulli, il semblerait que le nombre des non-spécialistes de ce genre se situerait aux environ 1,2 fois celui des spécialistes proprement dits.

38. Toujours en transposant les données de la *Liste des astronomes* de Bernoulli, nous estimons ce coefficient de chimistes occasionnels à 4,5 fois le nombre de spécialistes.

39. Le nom de Monge est resté associé à la géométrie descriptive, à la mécanique et à la physique. Quant à Rousseau, inclus dans la catégorie des savants de second plan pour ses publications sur la botanique, il fut aussi un chimiste occasionnel, auteur d'*Institutions chymiques* demeurées inachevées.

Au-delà de ces catégories se déploie encore le vaste horizon des amateurs, des dilettantes et de tous les savants d'importance mineure (catégorie C) [40]. Leur nombre excède sans doute de moitié celui des savants de catégorie A et B pris ensemble. Mais les fluctuations d'effectifs de court ou de moyen terme peuvent être importantes, selon l'évolution des modes scientifiques. D'après une étude encore inédite de John Perkins, le nombre d'amateurs de chimie fut particulièrement important dans la France des années 1770 et 1780, tant en province qu'à Paris. Ceux dont la chimie fut l'activité scientifique principale (C1) ont pu jouer un rôle important au niveau local. Certains pharmaciens, comme les Matte ou Boulduc, ont même constitué de véritables dynasties de chercheurs. Les autres catégories d'amateurs (C2, C3) servent avant tout à donner une idée de l'étendue et de la complexité de l'« entreprise chimique », ainsi que de l'importance de ses rapports avec la société au sens large. Il est évidemment impossible de fixer les frontières de cette entité, et de déterminer le nombre d'individus qui ont participé de près ou de loin aux activités de ce qu'on pourrait appeler la « République des chimistes ».

4 La « République des chimistes » des années 1680-1890 : essai de géographie

Même limitée aux chimistes spécialisés de premier et de second plan, la « République des chimistes » est encore loin d'être homogène. Un petit nombre de chercheurs publie en effet la majorité des ouvrages et des articles et cumule les affiliations académiques, tandis que la plupart des chercheurs publient peu et n'ont droit qu'à une reconnaissance académique limitée, voire inexistante. Afin de représenter plus fidèlement le potentiel de recherche de chaque savant, et par conséquent de chaque lieu, il peut donc se révéler utile de subdiviser le groupe des 351 chimistes de premier plan en trois sous-groupes dont les effectifs sont inversement proportionnels à l'importance scientifique, mesurée notamment en termes de publications [41]. Des coefficients correspondants ont ainsi été appliqués à la répartition cartographique des chimistes de la période 1680-1890 [42].

Comme cette période a connu de profonds changements politiques, sociaux et institutionnels aussi bien que scientifiques ou intellectuels, il nous a paru utile de la subdiviser en quatre phases. Les chimistes de notre échantillon ont donc été répartis en quatre cohortes en fonction leurs dates de naissance et de formation, et par conséquent de leurs périodes d'activité (sommet de carrière) (tab. 2).

40. Ces individus peuvent être formellement identifiés, et donc recensés, à partir du moment où ils répondent à l'un au moins des six critères suivants : 1° avoir publié ; 2° figurer dans un index historique tel que Poggendorff, 1863 ; 3° être affilié à au moins une académie ou société savante ; 4° posséder un équipement scientifique d'une certaine importance (un laboratoire pour un chimiste) ; 5° occuper une position institutionnelle (professeur, directeur d'institution scientifique) ; 6° avoir collaboré de façon significative avec un savant de premier plan.

41. Concrètement, cela donne une élite de 29 chimistes de tout premier plan (A ++), un sous-groupe de 68 chimistes d'importance majeure (A +) et un sous-groupe de 254 chimistes d'importance moyenne (A –). Sur les critères formels qui ont permis de délimiter ces groupes, voir Andurand, Jegou, Maisonnobe & Sigrist, 2015, p. 57-59.

42. Afin de rendre compte au plus près des changements de résidence des chercheurs, nous avons affecté des coefficients de 8, 6 et 4 aux membres des sous-groupes A ++, A + et A –, et un coefficient de 2 aux membres du groupe B.

Tableau 2 – Caractères principaux des quatre cohortes de chimistes de la présente étude (c. 1680 – 1890)

COHORTES DE CHIMISTES	Première	Deuxième	Troisième	Quatrième
Sommet de carrière	c. 1680-1765	c. 1765-1810	c. 1810-1860	c. 1860-1890
Naissance	c. 1630/40-1725	1726-1770	1771-1820	1821-1850
Formation	c. 1650/60-1745	c. 1745-1790	c. 1790-1840	c. 1840-1870
Nombre de chimistes localisés	384	647	1278	1375
Secteurs de formation	Médecine	Pharmacie Médecine	Sciences Pharmacie	Science
Caractère de la période	Absolutisme Despotisme éclairé	Lumières Révolution Empire français	Libéralisme Romantisme Nationalismes	Nationalismes Industrie
Institutions scientifiques	République des lettres Académies	Académies Universités Grandes écoles	Universités Grandes écoles	Universités Instituts de recherche
Thèmes dominants	Iatrochimie	Révolution chimique	Chimie organique	Tableau périodique
Pays dominants (en nombre de chimistes)	États allemands France Grande-Bretagne	France États allemands Grande-Bretagne	États allemands France Grande-Bretagne	Allemagne Grande-Bretagne France
Villes principales (en nombre de chimistes)	Paris Londres Berlin Stockholm Halle	Paris Londres Berlin St-Pétersbourg Genève	Paris Londres Berlin Stockholm Munich	Paris Londres St-Pétersbourg Berlin Vienne

4.1 Cohorte 1680-1765 : héritiers de l'iatrochimie ou pionniers de la chimie moderne ?

La première cohorte rassemble des savants dont le sommet de carrière se situe entre 1680 et 1765. Ils sont donc nés entre 1630/40 et 1725, et ont été formés entre le milieu du XVII^e siècle et 1745 environ. Près de la moitié d'entre eux ont fait des études en médecine [43], un quart en pharmacie (15 % en Allemagne) [44] et le dernier quart se répartit pour l'essentiel entre des facultés non-scientifiques (fréquemment théologie en Allemagne, droit en France, « arts » en Grande-Bretagne), des filières d'ingénieurs (des mines en Allemagne, militaires en France) et un petit groupe d'autodidactes (surtout en Grande-Bretagne). Professionnellement parlant, la plupart des chimistes ont eu des parcours compliqués, qui impliquent généralement l'exercice simultané de

43. Données valables pour la France, l'Allemagne et la Grande-Bretagne, qui représentent à eux trois plus des deux tiers des effectifs.

44. En Allemagne, où un certain nombre de chimistes (13 %) préfèrent fréquenter des facultés de philosophie ou des écoles techniques, la proportion des formations en pharmacie n'est que de 15 %.



Figure 3 – Distribution géographique des principaux chimistes (A1 et B1) de la période 1680-1765. Les frontières sont celles d'avant 1740

deux ou trois activités. Celles-ci relèvent notamment de la médecine, de la pharmacie, de l'enseignement, de la recherche et de l'administration. Mais on trouve aussi des statuts sans liens directs avec la chimie, tels que rentier ou ecclésiastique, industriel et commerçant ou encore des professions libérales (juristes, journalistes) et artisanales.

La forte présence de médecins et de pharmaciens parmi les chimistes de cette première cohorte – celle des pionniers de la chimie « moderne » – résulte d'un héritage historique : celui de l'iatrochimie. L'enseignement de la chimie fait ainsi souvent partie du cursus des facultés de médecine ou d'établissements à vocation médico-pharmaceutiques tels que le Jardin du roi de Paris. Néanmoins, la proportion des médecins pratiquants est inférieure à celle des formations en médecine : elle représente en moyenne 27 % des statuts socioprofessionnels en France, 30 % en Allemagne, 45 % en Grande-Bretagne, et diminue d'ailleurs au fil de la carrière. Il en va de même pour les pharmaciens (17 % des statuts en France, 15 % en Allemagne, 14 % en Grande-Bretagne). L'évolution se fait au profit des enseignants, qui représentent déjà un tiers des statuts en Allemagne, essentiellement des professeurs de médecine ou de science des mines et métallurgie, plus rarement des professeurs de chimie. Ils sont un quart France, pour moitié professeurs (généralement de médecine et de pharmacie), et pour moitié démonstrateurs de chimie (royaux, provinciaux, ou privés), et 18 % en Grande-Bretagne (presque tous lecteurs ou démonstrateurs itinérants).

La distribution géographique de ces acteurs (tab. 1) révèle l'importance du système des académies royales. Les principaux groupes de chimistes sont en effet localisés dans

les villes qui sont dotées de grands établissements de ce genre : Paris, Londres, Berlin, Stockholm, Saint-Pétersbourg. On en trouve aussi à Bologne et dans des villes universitaires comme Halle, Leipzig, Leyde ou Montpellier, dans quelques centres miniers (Freiberg en Saxe) ainsi que dans différentes autres localités allemandes, britanniques, françaises, suédoises et italiennes. L'essentiel de l'activité se regroupe dans la partie Nord de l'Europe occidentale et centrale, ainsi qu'en Italie. En tant que nation, la France regroupe 32 % du potentiel de recherche européen, les États allemands 32 % également (Prusse 10,5 %, Saxe 6 %), la Grande-Bretagne 14,5 %, la Suède 7 %, les États italiens 4,5 %, les Pays-Bas 3,5 %, la Russie 3 %.

4.2 Cohorte 1765-1810 : les acteurs de la « Révolution chimique »

La seconde cohorte regroupe des chercheurs dont l'activité se situe pour l'essentiel entre 1765 (fin de la Guerre de sept ans) et 1810 (apogée de l'empire napoléonien, mais aussi fondation de l'Université impériale et de l'université de Berlin). Ils sont donc nés entre 1726 et 1770 et ont été formés entre 1745 et la veille de la Révolution française. En France, la formation médicale décline (24 %) au profit de la pharmacie (46 %), mais la situation est équilibrée dans les États germaniques (34 % chaque). En Grande-Bretagne, on compte encore 42 % de formations médicales (notamment dans les universités écossaises et les hôpitaux de Londres), pour 8 % de formations pharmaceutiques. Dans ce pays de tradition, on trouve toujours beaucoup de chimistes passés par les humanités (« arts ») des collèges traditionnels (21 %), voire par la théologie (6 %), ainsi que des apprentis qui se destinent à travailler dans les manufactures (15 %). En Allemagne, les formations scientifiques en faculté de philosophie (15 %) commencent à rivaliser avec celles en faculté de médecine (34 %).

Professionnellement, la corporation médicale représente encore 31 % des chimistes en Grande-Bretagne, mais seulement 8 % en France et dans les pays germaniques. À l'inverse, la corporation pharmaceutique, qui ne signifie presque rien en Grande-Bretagne (3 %), représente toujours 17 % des chimistes français. La profession, qui bénéficie de la création de l'École royale de pharmacie (1777) semble donc avoir joué un rôle important dans la « Révolution pneumatique » [45]. En Allemagne, où les pharmaciens de province sont extrêmement nombreux, la corporation représente même 30 % des chimistes [46]. Pour ce qui concerne les enseignants, leur proportion demeure de 33 % en Allemagne (où les professeurs de chimie remplacent les professeurs de médecine) et de 25 % en France (où les professeurs remplacent les démonstrateurs, avec des salaires et des statuts améliorés après la Révolution). Elle augmente à 23 % en Grande-Bretagne, où l'intérêt grandissant des corporations, des sociétés savantes et du public pour la chimie permet à la moitié des démonstrateurs de devenir des professeurs entre la fin du XVIII^e^ siècle et l'aube du XIX^e^. Nous verrons ultérieurement ce qu'il en est des chimistes employés par l'État, par l'industrie, ainsi que des intellectuels indépendants. Il convient toutefois de noter qu'à une époque où la chimie tend à se rapprocher de l'histoire naturelle, la proportion d'amateurs, sociologiquement parlant, demeure importante. Ainsi 14 % des chimistes français et 21 % des chimistes britanniques se

45. Simon, 2005 parle même de rôle majeur. Les préoccupations liées à la salubrité de l'air, à la gestion sanitaire des hôpitaux, à l'hygiène de la ville de Paris et au transfert des cimetières de la capitale, étaient en effet susceptibles d'intéresser les pharmaciens.

46. Sur les pharmaciens chimistes allemands, voir Klein, 2007.

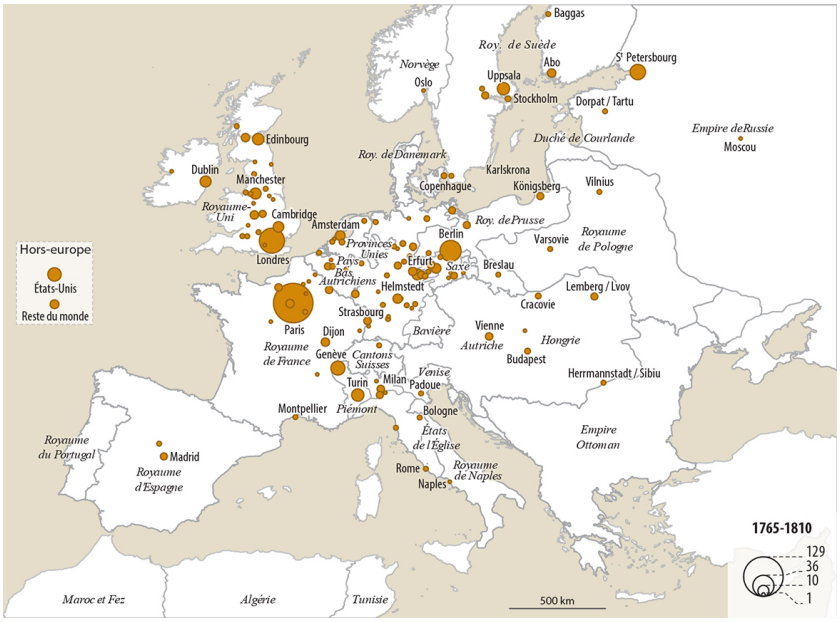


Figure 4 – Distribution géographique des principaux chimistes (A1 et B1) de la période 1765-1810. Les frontières sont celles d'avant 1789

recrutent au sein d'une élite de magistrats, de propriétaires terriens et de représentants des professions libérales, qui maintiennent vivants des liens traditionnels entre science, philosophie et culture générale.

La « topographie chimique » de la période (tab. 2) voit apparaître de nouveaux centres, mais confirme la prédominance des grandes métropoles académiques que sont Paris, Londres, Berlin et Saint-Pétersbourg. Stockholm est néanmoins éclipsée par Uppsala, dont l'université est à son apogée, et Bologne par Turin, qui bénéficie d'une sorte de symbiose entre science, pouvoir et volonté de modernisation éclairée. Les autres centres principaux montrent des structures institutionnelles et sociales variées. Genève, Dublin et Philadelphie ont ainsi des élites urbaines qui s'intéressent à la chimie. Édimbourg et Cambridge, sont des villes universitaires, touchées ou non par la Révolution industrielle. Erfurt a pour sa part une académie peuplée d'universitaires intéressés par les questions pratiques. Manchester enfin est une ville industrielle, comme Londres et Paris le sont en partie. D'autres centres de recherche se dessinent dans de nombreux États allemands, dans l'Angleterre des Midlands, en Écosse et en Irlande, et même dans les semi-périphéries que sont la partie habsbourgeoise de l'Empire, la Pologne ou encore l'Empire espagnol (jusqu'à Mexico et Bogotá, en dehors de la carte). En France, les villes de province restent dans l'ombre de Paris, qui compte à elle seule pour 20 % du potentiel de recherche de la chimie occidentale. En tant que nation, la France représente 26 % de ce total, les États germaniques 23,5 % (Prusse 8 %, Saxe 4 %), la Grande-Bretagne 20,5 %. Viennent ensuite la Suède (5,5 %), l'Italie (5 %), la Russie (4 %), les Pays-Bas et la Suisse (3 % chaque).

4.3 Cohorte 1810-1860 : l'essor des professionnels et de la chimie organique

Pour les chimistes de la troisième période, dont le sommet de carrière se situe entre la fondation de l'université de Berlin et l'essor de la grande chimie industrielle, la tendance dominante fut sans doute la professionnalisation. Nés entre 1771 et 1820, ces chimistes ont été formés dans des structures plus spécialisées que par le passé, établies par la Révolution française, l'Empire napoléonien ou les régimes de la Restauration. La première caractéristique majeure de la période est sans doute la montée en puissance des formations scientifiques. C'est notamment le cas en Allemagne, où cette filière, favorisée par le déplacement de la chimie des facultés de médecine vers les facultés de philosophie, représente désormais 39 % des formations de chimistes. C'est également le cas en France, où 27 % des chimistes (contre 9 % à la fin de l'Ancien Régime[47]) bénéficient de formations scientifiques et techniques supérieures[48]. En Grande-Bretagne enfin, où la formation scientifique prend du retard dans les universités d'Oxford et de Cambridge, mais aussi en Écosse, une bonne partie des 21 % de chimistes passés par cette filière ont en réalité été formés dans les universités allemandes, notamment à Giessen. Malgré tout, il n'existe pas de rupture radicale avec le passé. Ainsi, la formation pharmaceutique demeure importante. Elle prévaut même plus que jamais en France (40 %), grâce notamment à la pharmacie militaire, en plein essor sous la Révolution et l'Empire. En Allemagne, elle constitue la seconde formation (29 %) derrière les sciences, mais devant la médecine. En Grande-Bretagne, où la filière universitaire classique, celle du « *college of arts* », demeure importante (14 %), la formation pharmaceutique est toujours marginale (7 %), tandis que celle en médecine demeure une option majeure (34 %). Parmi les chimistes français et allemands, cette dernière ne représente plus que 20 % et 18 %.

Conséquence de cette évolution de la pédagogie, la proportion de chimistes enseignants augmente encore, pour s'établir à 41 % en Allemagne. Après 1830, l'essentiel des créations de postes concernent cependant moins les universités que les écoles polytechniques (*Technische Hochschulen*) et, au niveau secondaire, les *Gewerbeschulen* (écoles industrielles et commerciales) ainsi que les *Realschulen*, où la chimie est généralement enseignée conjointement avec d'autres sciences, en particulier la physique. En général, la proportion des chimistes professeurs de physique ou même d'agronomie augmente au détriment de ceux qui enseignent la pharmacie. La multiplication des instituts agronomiques et forestiers est aussi une caractéristique de la période en Allemagne. En France, la proportion des enseignants atteint 42 %, notamment grâce à la création de l'École normale supérieure (1826) et de l'École centrale des arts et manufactures (1829). En Grande-Bretagne, c'est aussi après 1830 que les milieux concernés entreprennent de rattraper l'Allemagne et la France en matière de pédagogie scientifique. Les 35 % d'enseignants demeurent cependant, pour un tiers d'entre eux, des lecteurs et des démonstrateurs, avec une variété de statuts extrême : seule la moitié des enseignants est en effet rattachée à des collèges universitaires, militaires

47. Ces 9 % étaient passés par le Jardin du roi, le Collège de France ou encore l'École des mines.

48. 16 % passent par Centrale, l'École normale supérieure, le Muséum, ou encore les facultés de sciences, 11 % par les grandes écoles techniques (Polytechnique, Mines, Ponts et Chaussées). À titre de comparaison, les écoles allemandes des mines ne forment plus que 2 % des chimistes de la même période, la plupart des ingénieurs des mines devenant désormais des minéralogistes, des métallurgistes ou géologues.

ou techniques ou encore à des institutions telles que la Royal Institution ou le Royal College of Mines ; une moitié relève d'hôpitaux et d'écoles de médecine, d'académies et sociétés savantes, de corporations et de sociétés pharmaceutiques, industrielles, agricoles ou vétérinaires, sans oublier les *Mechanics' Institutes* qui sont en général des créations privées.

En ce qui concerne la proportion des chimistes employés par l'État, elle atteint environ 10 % dans chaque pays, ce qui par rapport à la période précédente représente curieusement une baisse en France, mais une augmentation en Allemagne et surtout en Angleterre, où cette catégorie était jusque-là inexistante. Ce pourcentage est même un peu plus élevé si l'on inclut les analystes qui vivent presque exclusivement des expertises d'État (eaux, produits alimentaires, gaz, expertises légales). Dans le secteur industriel, la Grande-Bretagne reprend un net avantage sur ses concurrents, avec 20 % de ses chimistes travaillant dans l'industrie contre 9 % en France et 10 % en Allemagne, abstraction faite du secteur minier (3,5 %). Les médecins représentent encore 14 % des chimistes en Grande-Bretagne, mais ils ont quasiment disparu des communautés française (4 %) et allemandes (3 %). À l'inverse, les pharmaciens, qui ne sont plus que 3 % en Grande-Bretagne, représentent encore 17 % des chimistes en France et 16 % en Allemagne. Finalement, la proportion des chimistes issue des élites aristocratiques et bourgeoises tombe à 6 % en France contre 9 % en Allemagne et 12 % en Grande-Bretagne.

Sur la carte des concentrations de chimistes, les grandes métropoles de Paris, Londres, Berlin, Stockholm et Saint-Pétersbourg viennent toujours en tête (fig. 3), mais elles sont désormais dotées de structures universitaires aussi bien qu'académiques. Cela relativise la distinction avec les centres universitaires traditionnels tels que Heidelberg, Göttingen ou Giessen. Certaines universités sont désormais au cœur de villes industrielles comme Glasgow ou Édimbourg ou les nombreux centres du couloir rhénan, de Bâle à Bonn. La ville industrielle de Manchester, toujours sans université, demeure une exception. Des capitales en plein renouvellement comme Munich, Vienne ou Philadelphie attirent aussi une multitude d'institutions de recherche et d'industries, et donc de chimistes. Le remarquable essor des centres germaniques fait de la chimie allemande une nouvelle référence, avec 30 % de la capacité globale de recherche (Prusse 9 %, Bavière moins de 5 %, Bade et Saxe 2,5 % chaque). La chimie française, qui fait encore 25 % du total demeure essentiellement parisienne (18 %). Quant à la chimie britannique (19 %) elle est un peu plus centrée sur Londres (9 %) qu'auparavant, en dépit de la présence maintenue de Glasgow, Édimbourg, Manchester et Dublin. La chimie suédoise est à nouveau centrée sur Stockholm, grâce à la fondation en 1807 du *Karolinska Instituet*. Celle de l'Italie demeure l'affaire d'une multitude de petits centres. Enfin, de nouveaux centres universitaires font leur apparition dans l'empire des Habsbourg, dans l'empire russe, ainsi qu'en Suisse et en Belgique.

4.4 Cohorte 1860-1890 : la spécialisation et la montée des enjeux industriels

La quatrième et dernière cohorte de chimistes rassemble les individus nés entre 1821 et 1850, soit ceux qui dont le sommet de carrière se situe entre l'unification de l'Italie (1860) et le renvoi de Bismarck (1890). Ils ont appris le métier entre 1840 et 1875,

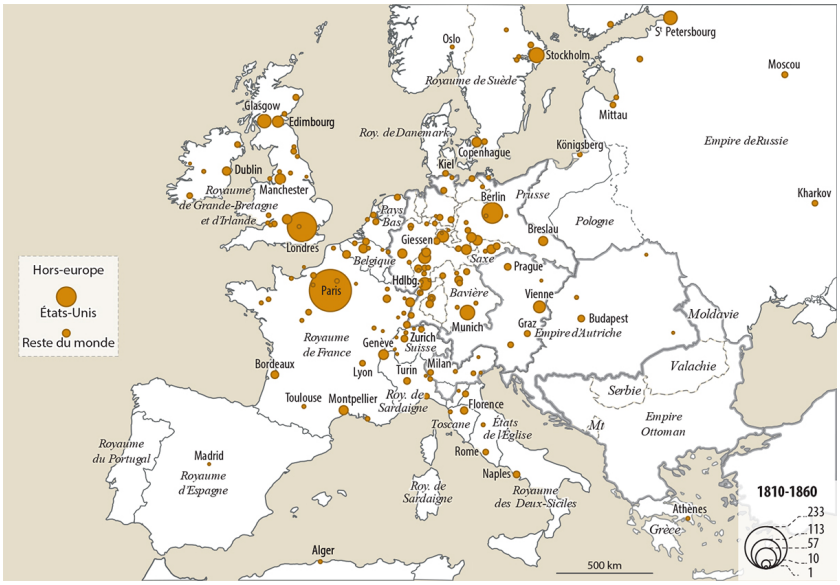


Figure 5 – Distribution géographique des principaux chimistes (A1 et B1) de la période 1810-1860. Les frontières sont celles d'après 1830

soit à une époque où l'introduction de la formation en laboratoire dans les universités fait sentir tous ses effets. C'est d'abord vrai en Allemagne, dont 69 % des chimistes de la période sont passés par les facultés de philosophie ou les écoles polytechniques (*Technische Hochschulen*)[49]. L'introduction de la chimie dans le programme des *Gewerbeschulen* (écoles professionnelles) élargit d'ailleurs considérablement la base de recrutement des futurs spécialistes. En Angleterre, les chimistes avaient pris l'habitude dès les années 1830 de se rendre dans des facultés allemandes telles que Giessen (Liebig), Heidelberg (Leopold Gmelin) ou Marburg (Bunsen). La campagne de la British Association for the Advancement of Science pour la création d'institutions scientifiques aboutit à la fondation en 1845 de la Royal School of Chemistry, où Hofmann enseigna pendant vingt ans. À partir de 1865, un doctorat en sciences fut proposé à Londres comme une alternative aux doctorats allemands en philosophie, ou aux doctorats écossais en médecine. Ainsi, 61 % des chimistes britanniques reçoivent désormais une formation scientifique, que ce soit chez eux ou en Allemagne. Les filières littéraire (10 %), médicale (9 %) et pharmaceutique (7 %) viennent loin derrière. En France, la proportion des formations en science n'est « que » de 54 %, soit 31 % pour les facultés, 12 % pour l'ENS ou Centrale et 11 % pour les grandes écoles d'ingénieurs. La formation médicale et celle en pharmacie, (désormais centrée sur l'École de pharmacie et les facultés universitaires) se maintiennent en effet mieux qu'en Allemagne ou en Grande-Bretagne avec 18 % et 13 %.

Le modèle universitaire allemand fait désormais figure de référence, même en France, où les demandes de renouvellement institutionnel aboutissent à la création en 1868

49. Les formations en médecine et en pharmacie ne représentent plus que 8 % et 13 % des chimistes allemands.

de l'École pratique. Celle-ci vise à promouvoir la formation pratique et la recherche doctorale, tout en préparant des enseignants pour les universités [50]. Cette institution comprend d'emblée quatre sections, dont une, dirigée par Balard, Wurtz et Jules Jamin, est consacrée à la physique et à la chimie [51]. Dès 1872, l'École pratique compte 28 laboratoires de recherche, dont 20 à Paris, hébergés principalement à la Sorbonne, au Muséum et à la faculté de médecine. S'y ajoutent 41 laboratoires d'enseignement, dont 36 à Paris [52].

Dans tous les pays occidentaux, le statut le plus fréquent d'un chimiste professionnel est désormais celui d'enseignant, un groupe qui rassemble 49 % des chercheurs allemands et 47 % de leurs collègues français et britanniques. Dans les facultés universitaires, notamment en Allemagne, l'enseignement de la chimie proprement dite tend d'ailleurs à se spécialiser, la chimie minérale se séparant de la chimie organique, la chimie analytique du génie chimique, la chimie appliquée (à l'agriculture et à l'industrie) de la chimie physiologique et pharmaceutique ou encore de la toxicologie. En France, le système universitaire devient enfin national avec la mise sur pied de nouvelles facultés en province. En Grande-Bretagne, les institutions d'enseignement, qui restent caractérisées par une extrême diversité, paraissent avoir rattrapé leur retard sur la France, voire l'Allemagne, du moins pour ce qui concerne le nombre de postes disponibles.

Devenue un facteur de la puissance des nations, la chimie joue naturellement un rôle accru dans l'industrie. En Grande-Bretagne, l'industrie chimique emploie quelque 23 % des chercheurs, une proportion supérieure à l'Allemagne (17 %) et à la France (12 %). Mais il ne s'agit que de proportions, qui n'expriment pas le potentiel de recherche de chaque pays. D'après nos estimations, le potentiel de recherche de la chimie allemande serait, sur l'ensemble de la période 1680-1890, de deux tiers supérieur à celui de la Grande-Bretagne et d'un tiers supérieur à celui de la France [53], mais cette supériorité paraît plus évidente encore pour la seule période 1860-1890. On peut donc en conclure qu'indépendamment de la qualité de la formation universitaire, l'industrie chimique allemande dispose désormais d'une capacité de recherche très supérieure à la capacité britannique. Les milieux industriels britanniques étaient d'ailleurs préoccupés par cette question, et en particulier par la montée de la chimie allemande des colorants. Leur préoccupation vira à l'inquiétude en 1885 lorsque Raphael Meldola, inventeur d'un procédé de teinture en bleu qui porte son nom, dut finalement en abandonner la fabrication face à l'intensité de la concurrence allemande. Cet échec suscita un vif débat sur les causes de la perte de l'industrie britannique des colorants, débat qui devait durer jusqu'à la première guerre mondiale [54].

50. Jusque-là, les professeurs d'université étaient principalement issus de l'enseignement secondaire.

51. Les trois autres étaient consacrées aux mathématiques, aux sciences naturelles et à la physiologie, et aux sciences historiques et philologiques.

52. Ces laboratoires concernaient les mathématiques et les sciences humaines aussi bien que les sciences expérimentales.

53. Établie sur la base d'une répartition des chimistes spécialisés en quatre catégories d'importance (voir ci-dessus note 40), cette capacité serait de unités pour 1081 pour l'Allemagne (ou plutôt les Allemagnes), de 789 pour la France et de 622 pour la Grande-Bretagne.

54. Voir l'article « Meldola » dans l'*Oxford Dictionary of National Biography.*

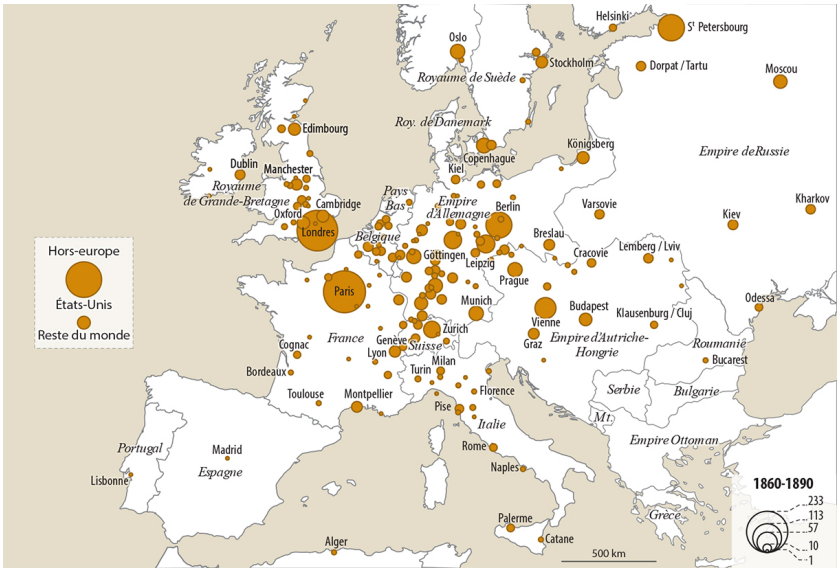


Figure 6 – Distribution géographique des principaux chimistes (A1 et B1) de la période 1860-1890. Les frontières sont celles d'après 1878

Quant aux chimistes au service de l'État, leur proportion augmente à nouveau en France (à 14 %), tandis qu'elle fléchit légèrement en Allemagne (à 8 %) et plus sensiblement en Angleterre (à 5 %), où une grande partie des analyses commanditées par l'État passent désormais par des contrats de droit privé. Un autre signe de professionnalisation est la baisse de la proportion de chimistes n'exerçant aucune profession scientifique ou pédagogique : celle-ci régresse à moins de 7 % dans chaque pays. Celle des pharmaciens et des médecins est encore plus faible, même si les pharmaciens français représentent encore 7 % des effectifs.

Après 1860, l'augmentation du nombre de chercheurs est telle que la quatrième cohorte est aussi fournie en trente ans que la troisième l'était en cinquante. La carte des localisations (fig. 4) souligne l'importance accrue de Saint-Pétersbourg et Vienne. Elle montre aussi la consolidation d'une série de centres d'importance moyenne tels que Leipzig, Göttingen, Munich, Bonn, Heidelberg, Königsberg, Tübingen et même Strasbourg, mais aussi Manchester, Oxford, Cambridge ou Édimbourg [55]. La multiplication de ces centres d'importance moyenne est aussi visible dans l'empire russe (en particulier Moscou et, hors de la carte, Kazan), dans l'empire austro-hongrois (Prague, Budapest), au Danemark (Copenhague), dans la Norvège suédoise (Oslo), en Suisse (Zurich, Genève) et, hors de la carte, aux États-Unis (Boston, New York, Philadelphie, Washington). L'Allemagne, enfin unifiée politiquement, domine le monde de la chimie avec 28 % de la capacité de recherche totale (dont la moitié en Prusse). La Grande-Bretagne, qui vient en second (17 %), a pour la première fois rattrapé et dépassé la France (14 %), Londres (9 %) devenant presque aussi importante que Pa-

55. Grâce au développement, par Henry Roscoe, d'un enseignement en laboratoire à l'Owens College (1857), Manchester devient le second pôle de Grande-Bretagne pour la recherche en chimie.

ris (10 %). D'une manière encore plus remarquable, trois empires jadis périphériques représentent désormais une part croissante de la communauté des chimistes : la Russie (9 %), l'Autriche-Hongrie (8 %) et les États-Unis (7 %). Vient ensuite la Suisse (4 %), qui grâce à sa rapide industrialisation et à son recrutement massif de chimistes allemands, dépasse pour la première fois l'Italie (3 %) et même la Suède (3,5 %).

5 La dynamique des principales nations : France, Grande-Bretagne, Allemagne

L'examen de la structure géographique de la « République des chimistes » montre donc l'existence de pôles urbains qui sont généralement des capitales d'États ou des métropoles. Certains comme Paris ou Londres sont si importants qu'ils ont pris de ce seul fait une signification nationale. La concentration parisienne est même sensible à l'échelle de l'Europe et fait de la capitale française *le* centre majeur de formation sur l'ensemble de la période considérée. C'est évidemment un effet de la centralisation des institutions de la monarchie, que la République et l'Empire ne feront que reprendre, et même renforcer. Sur l'ensemble de la période 1680-1890, Paris rassemble ainsi quelque deux tiers de la capacité de recherche française, ce qui rend sa domination écrasante pour les villes de province. Sept d'entre elles, soit Montpellier, Strasbourg, Nancy, Rouen, Dijon, Lille et Versailles comptent au total pour environ 15 % de cette même capacité. Les autres chimistes français se répartissent pour 14 à 15 % dans 45 localités de province et pour les 2 à 3 % restants dans quelques villes étrangères plus ou moins sensibles à l'influence culturelle de la France, telles que Genève, Turin, Rome ou Madrid.

Toute autre est la situation de la Grande-Bretagne, où l'État est beaucoup moins présent et ne crée d'institutions d'enseignement de la chimie qu'à partir du milieu du XIX^e^ siècle. Londres n'en concentre pas moins 43 % environ des capacités de recherche du royaume, ce qui situe l'importance des milieux médicaux et des élites cultivées, mais aussi des manufacturiers, de la capitale. Un autre tiers des chercheurs se répartit dans quelques villes des Midlands (en particulier Manchester et Birmingham), d'Écosse (Édimbourg, Glasgow), ou d'Irlande (Dublin), sans oublier les universités d'Oxford et de Cambridge. Un cinquième enfin se disperse dans une cinquantaine d'autres lieux, tandis que 3 % sont actifs hors du pays, essentiellement à Paris. À noter que la circulation des chercheurs entre les différentes parties du pays, Irlande comprise, est beaucoup plus importante que celle des chimistes français, qui changent rarement de province et ne vont en général à Paris que pour y demeurer. Cette circulation renforce la cohésion nationale de la recherche britannique, en dépit des différences sociales et institutionnelles qui existent entre le Sud de l'Angleterre et les Midlands, sans parler de l'Écosse ou de l'Irlande [56]. L'examen des correspondances scientifiques montre par ailleurs que les échanges d'information les plus significatifs ont eux aussi un caractère très national en Grande-Bretagne [57].

56. Golinski, 1992.

57. Des recherches en cours portant sur les échanges de correspondance significatifs (plus de dix lettres et part et d'autre) indiqueraient que 79 % des échanges des savants britanniques auraient eu lieu avec de savants compatriotes.

Dans l'espace germanique, la dispersion géographique des chercheurs paraît maximale, et Berlin ne regroupe guère plus de 16 % des chimistes allemands sur l'ensemble de la période. Avec l'aide des villes universitaires de Halle, Königsberg et Breslau, la Prusse, n'en rassemble elle-même qu'un peu plus d'un quart (26,8 %) dans ses frontières de 1792, et un bon tiers (34,6 %) dans ses frontières de 1815, qui incluent également Bonn, Erfurt, Greifswald et une grosse partie de la Rhénanie. D'autres groupes de chimistes relativement importants sont établis en Saxe (Leipzig, Dresde, Freiberg), dans le Hanovre (Göttingen), en Bavière (Munich), dans le Palatinat (Heidelberg), en Hesse (Giessen, Marburg), dans le Wurtemberg (Tübingen, Stuttgart) ou ailleurs encore (Jena, Würzburg, Brunswick). Hormis Berlin, une trentaine de villes abritent ou ont abrité de petites communautés de chimistes, pour un total dépassant légèrement la moitié de la capacité de recherche (54,5 %) de la chimie allemande [58]. Les 30 % restants se dispersent sur quelque 110 autres localités, dont une trentaine à l'étranger (pour un peu plus de 7 % de la capacité de recherche allemande), notamment en Grande-Bretagne ou en Suisse. Très peu s'installent dans la partie autrichienne de l'Empire ou dans les autres territoires des Habsbourg.

Tout au long du XVIII^e siècle, la Prusse s'inspire largement du modèle académique français, tout en participant également aux échanges universitaires interallemands. Dans les autres États allemands, ce sont les universités qui offrent l'essentiel des postes de chercheurs. Ces universités témoignent de la volonté des principaux États allemands de former leurs propres élites administratives, médicales et spirituelles. Elles ont en règle générale des activités scientifiques plus développées dans les pays de tradition protestante (Saxe, Hanovre, Hesse, Nassau, Brunswick, Mecklembourg, Wurtemberg) que dans ceux de tradition catholique (Bavière, Palatinat, évêchés de Trêves, Cologne, Münster, Mayence, Würzburg et Bamberg), même si cela ne vaut pas pour tous les secteurs [59]. Quoi qu'il en soit, la circulation des étudiants et des professeurs entre ces différents établissements, donne peu à peu aux savants et aux intellectuels allemands le sentiment de former une communauté nationale. Pour ce qui concerne les professeurs de chimie, dont le nombre passe de trois ou quatre vers 1720 à une quinzaine dans les années 1780 et à une vingtaine en 1810, ce sentiment national explique en partie la réticence de certains à accepter la chimie « française » de Lavoisier [60].

En Autriche et dans les autres terres des Habsbourg, la situation est différente. Le pouvoir impérial, qui reste fort, limite en effet l'autonomie des universités [61]. La monarchie danubienne reste d'ailleurs en marge du réveil culturel allemand des années 1770 et 1780, qu'il s'agisse du *Sturm und Drang* ou de l'essor de la philosophie

58. Par ordre d'importance, ces vingt-huit villes sont : Leipzig, Göttingen, Munich, Heidelberg, Halle, Giessen, Bonn, Jena, Königsberg, Breslau, Marburg, Tübingen, Dresde, Erfurt, Stuttgart, Würzburg, Brunswick, Freiberg, Kiel, Nuremberg / Altdorf, Wiesbaden, Freiburg i. B., Hanovre, Karlsruhe, Francfort a. M., Greifswald, Cassel et Erlangen.

59. On a souvent mis en avant le fait que l'Aufklärung a eu un caractère majoritairement protestant, et souvent piétiste, du fait que les pays protestants concentraient l'essentiel des universités allemandes. Cela vaut aussi en règle générale pour le développement des sciences, à l'exception notable de la médecine, beaucoup plus uniformément répartie, de l'astronomie ou encore de la botanique, volontiers pratiquées par le clergé catholique.

60. Hufbauer, 1982. Sur l'attitude des chimistes allemands face à Lavoisier, voir aussi Brock, 1992, p. 87.

61. C'est ainsi que l'Université de Graz fut fermée en 1782 et transformée en lycée pour la formation de fonctionnaires et de médecins. Elle ne retrouva son statut d'université qu'en 1827.

allemande. Elle n'est guère affectée non plus par le développement du *Bildungsbürgertum*, cette classe moyenne d'universitaires qui allait devenir le principal agent de l'unification culturelle allemande. Après 1815, le fossé se creuse encore entre l'Autriche de Metternich et les universités allemandes, devenues des foyers de libéralisme et de nationalisme. C'est donc sans surprise que les savants autrichiens furent exclus de la Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, établie en 1822 comme foyer national de la science allemande.

Nous verrons que l'essor de la chimie allemande ne restera pourtant pas sans incidences sur les États des Habsbourg, comme d'ailleurs sur la Russie ou les États-Unis. Si cet essor a tant frappé les contemporains de Liebig, c'est sans doute parce qu'il coïncidait avec l'émergence d'une nation qui n'existait pas au XVIII^e siècle, et dont la démographie était elle aussi beaucoup plus dynamique que celle de la France, sinon de la Grande-Bretagne [62]. Avec le recul, ce développement s'inscrit pourtant dans la continuité d'une tendance que l'on constate déjà à la fin du XVIII^e siècle. Dès cette époque en effet, les chimistes vivant dans l'espace germanique étaient un peu plus nombreux que ceux qui exerçaient en France ou en Grande-Bretagne (fig. 5). Malgré tout, le rythme de développement de la chimie allemande demeure très comparable, jusque dans les années 1830, à celui de ces deux autres nations. Ceci vaut en particulier pour le nombre total de chimistes.

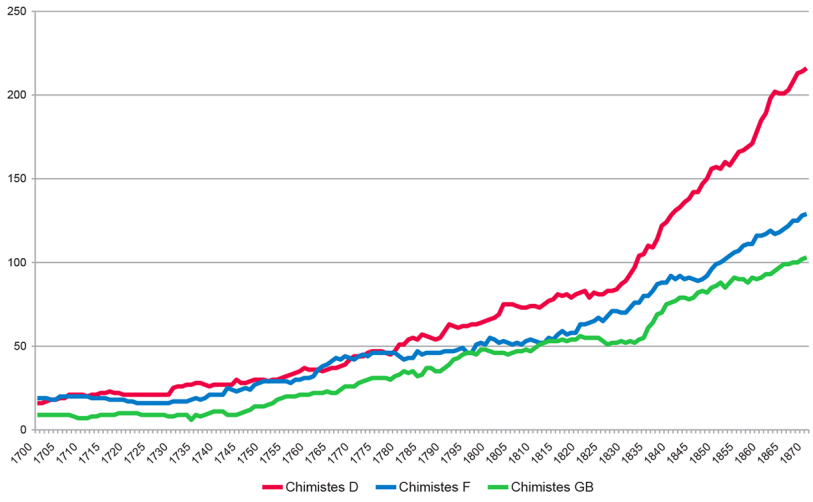


FIGURE 7 – Évolution du nombre de chimistes spécialisés formellement identifiables (A1 et B1) en Allemagne, en France et en Grande-Bretagne, 1700-1870

Si l'on considère séparément le cas des savants de premier plan (A1), dont le rôle dans le développement d'une discipline est manifestement crucial, l'avantage pris par l'Al-

62. La population des Allemagnes demeura inférieure à celle de la France tout au long du XVIII^e siècle. En 1800, cette population était de 24,8 millions (France : 27,3). Grâce à une croissance de 44 % dans la première moitié du XIX^e siècle (contre 28 % pour la France), l'écart fut rattrapé en 1850, avec 35,9 millions d'habitants pour l'Allemagne contre 35,7 pour la France. En 1870, cette population était de 41 millions (France : 36,1). (Source : Maurice Halbwachs & Alfred Sauvy, *Le point de vue du nombre*, Paris, 1936.)

lemagne paraît encore moins évident, ou plus tardif (fig. 6). À ce niveau, c'est même l'Allemagne qui semble en retard, la France creusant à partir des années 1740 un avantage qui s'accentue au moment de la Révolution chimique et se maintient jusqu'au milieu du XIX^e siècle. Le prestige acquis par Lavoisier et ses collaborateurs, affermi sous la Révolution et l'Empire par Berthollet et la société d'Arcueil, se maintient dans la première moitié du XIX^e siècle grâce à la brillante génération des Chaptal, Vauquelin, Gay-Lussac, Thénard, Courtois et autres Pelletier. Quant à la Grande-Bretagne, elle connaît dans la seconde moitié du XVIII^e siècle un remarquable développement, qui la place au niveau de la France au moment des guerres révolutionnaires et impériales, mais qui est suivi par un tassement tout aussi marqué entre 1815 et 1840.

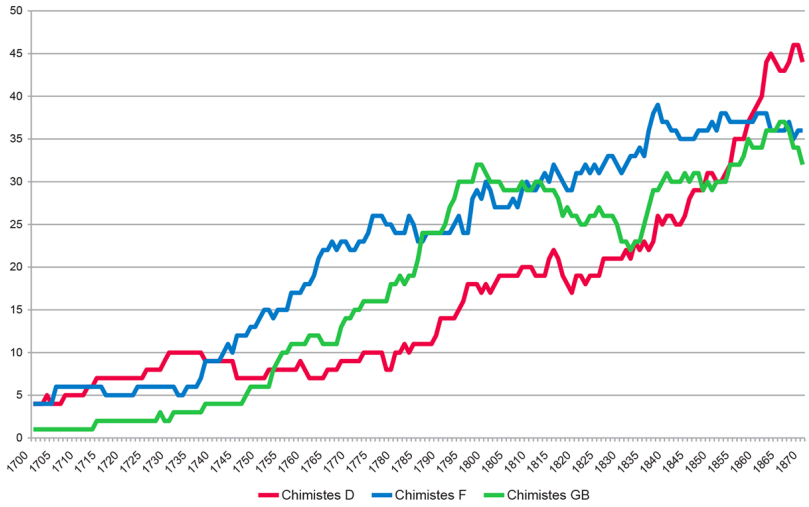


FIGURE 8 – Évolution du nombre de grands chimistes (A1) en Allemagne, en France et en Grande-Bretagne, 1700-1870

Globalement donc, et jusqu'au milieu du XIX^e siècle, l'Allemagne produit moins de chimistes de premier plan que la France, ou même la Grande-Bretagne, et plus de chimistes de second plan. Cela tient-il à des raisons structurelles ? On est en tout cas tenté d'établir une corrélation entre le nombre de grands chercheurs et les concentrations métropolitaines que l'on constate à Paris ou Londres, mais qui font défaut en Allemagne. L'explication serait la suivante. Dans un régime scientifique de pénurie, où le nombre de spécialistes est limité et les possibilités de collaborations à distance réduites, un regroupement en un même lieu de chercheurs qualifiés multiplie les opportunités de collaboration et accroît l'émulation mutuelle. Pour que l'Allemagne surmonte un tel handicap, dû à son émiettement politique et géographique, il a fallu que son système universitaire devienne véritablement national, de manière à assurer une véritable mise en réseau des compétences existantes. À partir du moment où la circulation des étudiants et des professeurs a permis d'atteindre ce niveau de collaboration et de diffusion des savoirs, les handicaps dus à l'émiettement politique et géographique ont disparu et les chimistes allemands se sont mis à fonctionner comme une véritable communauté nationale de spécialistes. C'est peut-être là que réside l'ex-

plication ultime de l'impression d'émergence de la chimie allemande ressentie par les observateurs à partir des années 1830-1840. Accessoirement, l'association entre formation théorique et formation pratique en milieu universitaire a permis de surmonter le conflit, traditionnel en Allemagne, entre culture savante et culture pratique, un conflit préjudiciable au développement de la chimie [63].

6 Le rôle des politiques étatiques dans le développement de communautés nationales

Notre propos n'est pas d'examiner ici le rôle des États dans le développement de communautés nationales de chercheurs. Nous nous contenterons de recenser quelques faits qui concernent plus particulièrement les chimistes. On cherchera notamment à savoir si le relatif essoufflement de la chimie française après 1840, ou les importantes fluctuations du nombre de grands chimistes britanniques, ont un rapport avec le nombre de postes disponibles, et donc avec le développement des institutions d'enseignement et de recherche financées par les États.

Il est difficile d'établir des statistiques précises du nombre de postes disponibles pour des chercheurs en chimie. Mais on peut estimer le nombre d'équivalents de postes à plein temps que les chimistes de notre échantillon ont occupé dans l'enseignement ou dans l'appareil d'État (fig. 7). On découvre alors que les opportunités de carrière offertes aux chimistes des trois principales nations européennes n'ont pas toujours eu des répercussions immédiates sur le nombre de chercheurs en activité. Le cas de la Grande-Bretagne, dont la communauté de chimiste croît, au cours du XVIII^{e} siècle, bien plus vite que le nombre de postes disponibles semble en effet paradoxal. Il indiquerait que pour susciter des vocations de chercheurs, l'attitude de la société civile, de ses corporations et de ses entrepreneurs, est au moins aussi importante que la création d'institutions par l'État.

Tout au long du XVIII^{e} siècle, les chimistes français semblent les plus favorisés en matière d'institutions. À travers l'Académie des sciences, l'administration de manufactures ou d'hôpitaux, ainsi qu'un certain nombre d'inspections techniques (pharmacies, monnaies, teintures, eaux minérales), la monarchie d'Ancien Régime a donné un statut quasi administratif à un cinquième des chimistes français de notre échantillon. La plupart de ces fonctions n'étaient en réalité que des activités à temps partiel. En y ajoutant quelques enseignements spécialisés au Collège de France, en faculté de médecine, au Collège de pharmacie et à l'école vétérinaire d'Alfort, plus quelques charges de pharmacien d'hôpital (Invalides, Hôtel-Dieu, Pitié-Salpêtrière), cela ne représentait pas plus de vingt-cinq postes complets à la fin de l'Ancien Régime, une trentaine peut-être en y incluant quelques individus qui ne font pas partie de notre échantillon. La Prusse, qui s'inspire du modèle français, crée dès les années 1719-1723 quelques postes de chimistes à la pharmacie royale, à l'Académie royale et au sein du Collegium Medico-Chirurgicum de Berlin. Leur nombre augmente peu à peu avec la réforme de l'Académie royale (1744), puis avec la fondation de l'École des mines (1770) et de

63. Sibum, 2003.

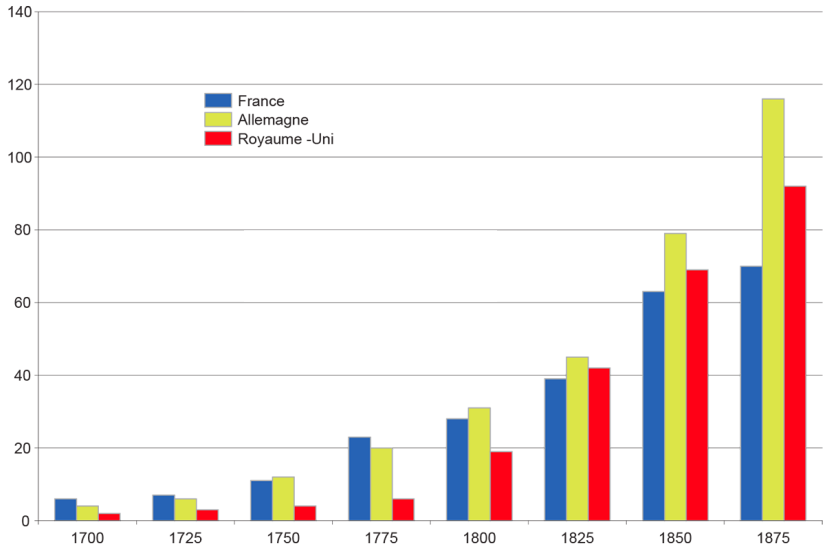


Figure 9 – Estimation du nombre de postes à plein temps disponibles pour les chimistes spécialisés (A1 et B1) recensés dans les trois principales nations européennes, 1700-1875

l'École d'artillerie et du génie (1787). Cette politique ne suffit cependant pas à faire de Berlin un centre scientifique capable de rivaliser avec Paris et Londres [64].

Dans l'ensemble des pays germaniques, ce sont essentiellement les universités qui offrent des situations aux chimistes. Après les trois ou quatre créations du XVII[e] siècle, l'enseignement de la chimie est successivement introduit dans les universités de Giessen (1723), Helmstedt (1730), Erfurt (1740), Königsberg (1740), Duisburg (1742), Göttingen (1753), Ingolstadt (1760), Leipzig (1762), Heidelberg (1771), Greifswald (1774), Tübingen (1775), Halle (1783), ou encore Erlangen (1796). La Saxe électorale, qui salarie des professeurs de chimie et de métallurgie, crée également des postes d'ingénieurs des mines à Freiberg et de chimistes « arcanistes » à la manufacture de porcelaine de Meissen. Le duché de Brunswick possède un professeur de chimie au Collegium Carolinum, ainsi que des conseillers des mines à Blankenburg. Le Hanovre a son école des mines à Clausthal. En 1778, au moment où Crell lance son fameux *Chemisches Journal*, les chimistes germaniques se voient ainsi offrir, dans l'ensemble, presque autant de postes que leurs collègues français.

À l'opposé, la Grande-Bretagne ne compte pas d'académiciens pensionnés et très peu de professeurs de chimie. En 1775, on ne dénombre encore qu'un professeur de chimie par université (Oxford, Cambridge, Édimbourg et Glasgow), et un tout petit nombre de lecteurs dans des lieux comme l'Ashmolean Museum d'Oxford, le St. George's Hospital ou l'Apothecaries' Hall de Londres. Il existe aussi, à Londres et dans les Midlands, quelques démonstrateurs publics de chimie et quelques chimistes consultants. Par contre, un certain nombre de chimistes (environ un cinquième du total) travaillent

64. Sur l'ensemble de la période considérée, Paris rassemble trois fois plus de chercheurs que Berlin et Londres la moitié plus.

dans les secteurs traditionnels de l'aciérie, de la verrerie, des mines, ou, dans le dernier quart du XVIII^e siècle, dans un nombre croissant de fabriques d'indiennes, de colorants, d'alcalis, de magnésie et d'autres produits chimiques, sans oublier les fabriques de savons ou de vinaigre. À une époque où la pratique compte sûrement autant que la théorie, certains des plus grands chimistes anglais travaillent donc pour l'industrie ou sont eux-mêmes des industriels [65]. Par ailleurs, un petit nombre de postes de chimistes sont créés par des associations de savants, de pharmaciens ou d'industriels.

Au cours du XIX^e siècle, l'avantage institutionnel de la France se réduit, et même disparaît au profit de l'Allemagne, voire même de la Grande-Bretagne. Au sortir de la Révolution, la chimie fut pourtant l'une des grandes bénéficiaires des nouvelles créations institutionnelles opérées au Muséum, à l'École des mines, à l'École de pharmacie, à l'École de médecine, au Conservatoire national des arts et métiers, et après 1808 dans les facultés de sciences et de médecine. Il faut dire qu'au moment où la République était en danger, les chimistes avaient su démontrer leur utilité en accélérant la production de poudre. Ainsi dotée d'une solide assise institutionnelle, l'École française de chimie acquit encore de nouvelles positions avec la création de l'École normale supérieure (1826), de l'École centrale des arts et manufactures (1829), puis des facultés universitaires de province. Nombre de ces positions avaient cependant un caractère subalterne (préparateurs, chefs des travaux pratiques, maîtres de conférences), tandis que les postes en province étaient considérés peu prestigieux.

Dans l'espace germanique, les créations de nouveaux postes furent aussi nombreuses dans le premier tiers du XIX^e siècle qu'elles l'avaient été en France au cours des périodes révolutionnaire et impériale. Après l'invasion napoléonienne, la Prusse introduisit ainsi l'enseignement de la chimie dans de nouvelles institutions telles que l'École vétérinaire et le Gewerbe-Institut de Berlin, l'Inspection des fabriques, et bien entendu les universités de Berlin, Bonn et Breslau. La Bavière pensionnait pour sa part des chimistes rattachés à l'Académie des sciences de Munich, et nomma des professeurs de chimie dans les universités de Landshut et de Würzburg ainsi qu'à l'Institut polytechnique d'Augsbourg. Elle menait une véritable politique de développement scientifique et industriel qui aboutit en 1852 au transfert de Liebig à l'université de Munich. L'électorat de Hesse se dota de son propre Institut des mines et introduisit la chimie à l'École d'artillerie et du génie de Cassel, ainsi qu'à l'université de Marburg. Même le nouveau duché de Bade créa une chaire et un laboratoire de chimie à l'université de Freiburg, qu'elle avait hérité de l'Autriche.

En Angleterre, la fondation en 1799 de la Royal Institution témoigne de l'intérêt pour la chimie de la société civile, et plus particulièrement des élites de la capitale. Elle était néanmoins insuffisante à enrayer la stagnation, voire le déclin, de la chimie britannique dans les trois décennies qui suivent, un déclin qui semble également affecter le nombre de chimistes engagés dans l'industrie. Et pourtant, la situation institutionnelle de la discipline semble s'améliorer avec l'introduction de démonstrateurs et de professeurs de chimie dans les hôpitaux et les écoles de médecine de Londres,

65. C'est le cas de Roebuck, Keir et Brownrigg, et plus tard de Thomas Cooper, William Henry, Archibald Cochrane, David Mushet, ou encore Smithson Tennant.

ainsi que dans quelques collèges militaires [66]. Quelques experts travaillent également à la Monnaie Royale. En réalité, la chimie londonienne demeure, comme l'essentiel de la science anglaise de l'époque, partie prenante d'une culture d'amateurs et de dilettantes. Quelques chimistes plus « professionnels », souvent des « *Dissenters* » religieux, proviennent des milieux manufacturiers des Midlands, mais n'ont en général que peu de liens avec les universités [67]. Le besoin d'une formation chimique plus complète, notamment sur le plan théorique, se fit néanmoins sentir [68]. Après 1815, et surtout après 1830, il va pousser nombre d'étudiants anglais vers les universités écossaises et surtout allemandes. À l'inverse, la formation pratique en entreprise attire de nombreux chimistes allemands vers les Midlands, ou vers la périphérie industrielle de Londres.

Après 1835, le nombre de chimistes manufacturiers augmente à nouveau assez rapidement, tant à Londres que dans les Midlands ou en Écosse, dans un contexte d'essor général de la chimie anglaise. À une époque où la formation théorique s'acquiert souvent dans les universités allemandes, l'industrie britannique offre des postes d'analystes ou d'affineurs, non seulement dans la métallurgie, la verrerie, les colorants ou les textiles, mais aussi dans la brasserie et la sucrerie. À Londres, on voit augmenter le nombre de chimistes indépendants mandatés par l'industrie, ou par des agences d'État (poudres, gaz, inspections des alcalis et des rivières), voire par des collectivités territoriales. La fondation en 1845 du Royal College of Chemistry, qui devient Royal College of Mines en 1853 et Royal College of Science en 1881, comble en partie la demande de formation supérieure. Une véritable école s'y forme bientôt autour du chimiste allemand August Wilhelm von Hofmann, puis de son successeur Edward Frankland. La Royal Institution reste pour sa part orientée vers l'enseignement élémentaire, tandis que la chimie médicale et pharmaceutique est laissée à la charge des hôpitaux. L'offre des universités se développe enfin, quoique lentement, tant à Oxford qu'à Cambridge.

C'est donc par un mélange d'initiatives publiques, associatives (ou corporatives) et privées que se multiplie le nombre de postes d'enseignants et de chercheurs en Grande-Bretagne. Assez emblématique de l'importance laissée à l'initiative privée est la fondation en 1806 de la London Institution for the Promotion of Literature and Useful Knowledge, qui deviendra un important centre de recherche en chimie dans les années 1860 et 1870. La multiplication de ces initiatives aboutit après 1860 à une situation à peu près inverse de celle qui existait au XVIII^e siècle, soit un nombre de postes, et aussi de chimistes, plus grand en Grande-Bretagne qu'en France. On peut penser qu'en favorisant la concentration des chercheurs, l'efficacité des grandes institutions étatiques françaises demeurait supérieure. Mais cette concentration semblait surtout

66. À l'inverse, la réforme du curriculum introduite à Oxford en 1800 va favoriser pendant trois décennies les études classiques et mathématiques au détriment de la chimie et des autres sciences de la nature.

67. Cette opposition entre Manchester et Londres est bien illustrée par la différence d'attitude scientifique, et de milieu social, qui sépare John Dalton de Humphry Davy. Le premier, qui présidait la Literary and Philosophical Society de Manchester, considérait d'ailleurs la Royal Society de Londres comme un club d'amateurs.

68. C'est Charles Babbage qui tira la sonnette d'alarme en 1830 en publiant un retentissant pamphlet intitulé *The Decline of Science*. La fondation en 1831 de la British Association for the Advancement of Science, destinée à accélérer la professionnalisation de la recherche, fut une réponse à cette inquiétude. C'est aussi dans ce contexte que William Whewell inventa en 1833-1834 le terme de « *scientist* ».

opérer au profit de quelques grands patrons comme Dumas, Wurtz, Sainte-Claire-Deville, ou Berthelot.

7 Nations secondaires et empires émergents

Sur l'ensemble de la période 1680-1890, la France, les États allemands et la Grande-Bretagne, qui hébergent les principaux foyers de développement de la chimie moderne, concentrent, on l'a dit, près des deux tiers des chimistes spécialisés [69]. Les 35 % restants se partagent entre une multitude d'entités politiques aux dynamiques culturelles et scientifiques forts différentes. Les principales sont la Suède et l'Italie, ainsi que la Russie, l'Autriche-Hongrie et les États-Unis. Les deux premières sont de vieilles nations ayant joué, dès le XVIII^e siècle, un rôle non négligeable dans le développement de la chimie. Les trois autres sont tout à coup sorties, à partir des années 1830-1840, de la situation semi périphérique qui était la leur auparavant. Cette expansion marque le début d'un long processus d'universalisation de la chimie.

Le rôle crucial qui fut celui de la Suède dans le développement de la chimie au XVIII^e siècle n'est pas bien reflété dans le simple décompte du nombre de chercheurs en activité (fig. 8). Un recensement tenant davantage compte du potentiel de recherche placerait en effet la communauté des chimistes suédois du XVIII^e siècle au 4^e rang, bien qu'assez loin derrière les trois grandes nations [70]. Entre 1740 et 1780, soit en gros à l'époque des Lumières (*Upplysning*), dit aussi l'âge de la liberté, la Suède comptait un bon nombre de chimistes de premier plan (Brandt, Wallerius, Rinman, Cronstedt, Bergman, Scheele, Gadolin), formés pour la plupart dans le laboratoire du Bergskollegium de Stockholm ou à l'université d'Uppsala. Presque exclusivement focalisés sur la chimie minérale et sur la science des mines, ces chercheurs formaient une communauté véritablement nationale, quand bien même certains d'entre eux résidaient dans des localités comme Köping, Västeras, Eskilstuna ou Strangnäs, situées il est vrai à des distances raisonnables de Stockholm et d'Uppsala. Grâce à Berzelius et à la fondation du Karolinska Instituet de Stockholm (1807), cette école connaîtra un second âge d'or entre 1810 et 1840, avant de décliner rapidement.

Contrairement à la Suède, l'Italie des chimistes n'existait quasiment pas au XVIII^e siècle. Plus qu'ailleurs, la chimie transalpine, pratiquée dans les facultés de Bologne, Rome, Pavie, Naples, Padoue ou Pise, est longtemps demeurée dépendante de la médecine et de la pharmacie. Entre 1775 et 1815, la Révolution chimique paraît néanmoins avoir suscité l'intérêt des savants et des élites italiennes, un intérêt souvent lié aux préoccupations agronomiques de l'élite foncière. Bologne, Rome et Milan s'affirment alors comme des centres scientifiques d'une certaine importance. À défaut de circulations universitaires sur le modèle allemand, l'Italie, réorganisée par Napoléon, bénéficie de la création en 1802 d'un Institut national sur le modèle français. La Restauration brise néanmoins cet élan et provoque l'exil de certains chercheurs. La véritable naissance de la chimie italienne date finalement des années 1860, à l'instigation de Cannizzaro, Piria et Bertagnini. Elle accompagne l'unification politique et institutionnelle

69. On peut en effet considérer que les chimistes allemands représentent 30,4 % des spécialistes de la discipline, les chimistes français 19,1 % et les chimistes britanniques (Irlande comprise) 15,3 %.

70. Pour le XIX^e siècle, la Suède se voit dépassée par la Russie, les États-Unis et même l'empire des Habsbourg.

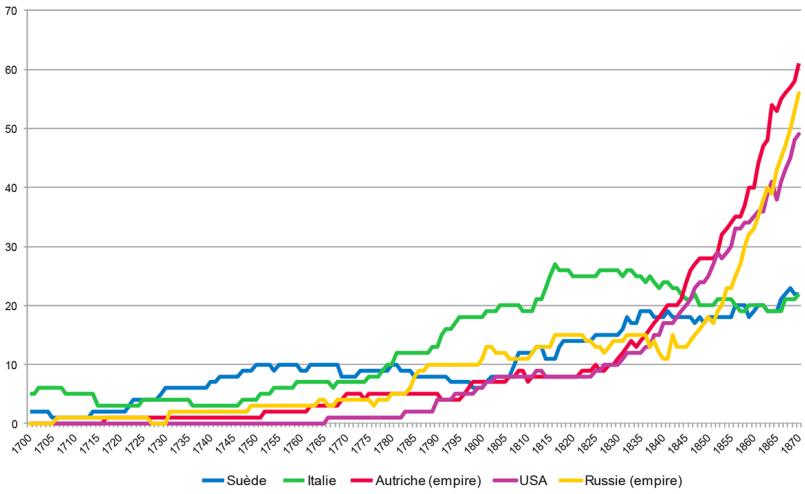


Figure 10 – Évolution du nombre de chimistes spécialisés formellement identifiables (A1 et B1) dans cinq entités politiques différentes, 1700-1870

du pays et se fait paradoxalement dans un contexte de relative stagnation du nombre de chercheurs.

Si la Suède et l'Italie appartiennent encore au centre, la Russie, les États-Unis et l'empire des Habsbourg constituèrent longtemps des sortes de semi-périphéries. La chimie russe a ainsi connu des débuts assez modestes au XVIII^e siècle, en dépit de la fondation dès 1725 de l'Académie de Saint-Pétersbourg, et de la brillante personnalité de Lomonossov (1711-1765). Jusqu'au milieu des années 1780, elle était faite pour l'essentiel par des Allemands venus chercher fortune à Saint-Pétersbourg, ainsi que par des Baltes (notamment livoniens) exerçant à l'université de Dorpat [Tartu], ou à Riga. De 1785 à 1845 environ, la Russie ne compte toujours qu'une douzaine ou une quinzaine de chimistes d'une certaine envergure, ce qui n'est, soit dit en passant, guère moins que la Suède. Grâce à l'acquisition d'importants territoires en Pologne (1793 et 1795), en Courlande (1795) et en Finlande (1814), où se trouvaient quelques universités (Vilnius, Abo [Turku], Helsinki, Varsovie [71]), grâce surtout à la création des chaires de chimie dans les universités de Moscou (1803), Kharkov (1803) et Kazan (1804), l'empire des tsars se donne cependant de nouveaux moyens politiques et institutionnels. Sous Alexandre Ier puis Nicolas I^er, la multiplication de chaires spécialisées dans les Académies, instituts et écoles des deux capitales, ainsi que dans les diverses universités de l'empire, prépare les conditions du « *take off* » des années 1850, qui sera aussi le fruit d'une politique volontariste de formation à l'étranger (Allemagne notamment). Joignant la qualité à la quantité, la génération des Beketov, Butlerov, Borodin, Mendeleev, Markovnikov, Beilstein et autres Menshutkin fera de la Russie une nation importante de la chimie de la fin du XIX^e siècle.

71. L'université de Varsovie, fondée en 1816, n'eut qu'une existence languissante après 1830.

Tout aussi spectaculaire fut la progression des États-Unis, qui avant leur indépendance ne comptaient pour rien dans le monde de la chimie et qui représentent par contre 7,5 % des spécialistes entrés dans la carrière entre 1841 et 1870. De 1790 à 1825 s'est établie une première génération de chercheurs, qui, faute de maîtres et de structures adéquates, ont choisi pour la plupart d'aller se former en Europe. Par la suite, la dispersion géographique des collèges américains et des facultés de médecine n'a guère permis la mise sur pied d'un centre national capable de rassembler les professeurs et les chercheurs les plus réputés, et donc d'attirer les étudiants les plus ambitieux. Philadelphie, Boston (Cambridge), New Haven (Yale), New York et d'autres villes encore se dotèrent ainsi de leurs propres chaires et laboratoires. Aucune d'entre elles ne parvint cependant à dominer un système institutionnel en rapide expansion, surtout après 1830, et qui concernera, avant même la fin du XIX^e^ siècle, plus de soixante localités différentes.

Le cas de l'empire des Habsbourg se rapproche des deux précédents. Comme pour l'empire russe ou pour les États-Unis, sa communauté de chimistes ne compte pas pour grand chose avant 1750, ou même 1800. Jusque-là, les chimistes « autrichiens » sont pour l'essentiel des praticiens issus des facultés de médecine de Vienne (Nicolaus Joseph von Jacquin), Budapest (Winterl) ou encore Lemberg / Lvov (Jaskiewicz). C'est encore dans ce contexte médico-botanique et pharmacologique que Josef Franz von Jacquin forme, entre 1800 et 1830 la génération des pères fondateurs de la chimie dans l'empire des Habsbourg en particulier Anton von Schrötter et Joseph Redtenbacher. Leurs très nombreux disciples vont à leur tour essaimer à Vienne, à Prague, à Budapest, mais aussi, à la faveur d'une formidable multiplication des postes d'enseignement après 1840, à Graz, Innsbruck, Lemberg, puis à Cracovie, Brünn / Brno, Klausenburg / Cluj et Czernowitz. L'unité de cette école austro-hongroise est cependant menacée par le développement de sous-groupes à vocation nationale. À Budapest, l'enseignement scientifique passe ainsi, dès 1860, de l'allemand au hongrois. À Prague et à Brno, des institutions tchèques (université, école polytechnique) dédoublent dès les années 1860 et 1870 les institutions allemandes. À Cracovie, à Lemberg et à Czernowitz, l'enseignement en polonais remplace de facto celui en allemand. Les chimistes hongrois, tchèques et polonais se préoccupent d'ailleurs de créer des lexiques chimiques dans leurs différentes langues nationales. La chimie n'en connaît pas moins un développement exponentiel dans l'empire, et des enseignements de plus en plus spécialisés apparaissent à Vienne, Prague ou Budapest. La capitale viennoise, qui héberge bientôt la cinquième communauté de chimistes d'Europe, dispose après 1860 de trois laboratoires universitaires, plus un quatrième au Polytechnikum, sans compter les enseignements de la chimie dispensés à la Handelsakademie, à la Josephsakademie et au Theresianum. L'université de Budapest possède elle-même deux laboratoires, et Prague pas moins de quatre, répartis entre ses deux universités et ses deux écoles polytechniques. Les liens de la chimie avec les mines, l'agriculture et l'industrie se développent aussi à une vitesse comparable à ce qui se passe à la même époque en Russie et aux États-Unis. Un dernier facteur sépare cependant l'empire des Habsbourg des pays neufs : c'est le caractère relativement autonome de sa tradition chimique, qui évoque davantage les vieilles nations comme la Suède ou l'Italie. Si l'on excepte

le premier Jacquin, venu des Pays-Bas, le nombre de chimistes « austro-hongrois » formés à l'étranger est en effet relativement faible.

8 Centres, périphéries et transferts de compétences

Le rôle crucial joué dans le développement de la chimie moderne par des nations comme la France, la Grande-Bretagne et l'Allemagne, et dans une moindre mesure la Suède et l'Italie, évoque immanquablement la notion de centre. Mais contrairement au schéma simplificateur de Joseph Ben David [72], ce centre n'est pas fait d'une nation dominante comme l'Allemagne, qui aurait elle-même succédé au XIX^e^ siècle à la France et à la Grande-Bretagne, mais de trois ou quatre, peut-être cinq centres différents. Or ces entités nationales, ou proto-nationales, se caractérisent par des différences notables dans l'organisation de la recherche comme dans son insertion sociale. Constituées en entités autonomes par des politiques étatiques de formation scientifique et technique, mais aussi par des systèmes de collaborations et d'échanges d'informations à caractère national, ces communautés savantes sont en partie séparées les unes des autres par des barrières étatiques et linguistiques. Elles sont néanmoins unies les unes aux autres par des valeurs et des objectifs communs, ainsi que par des liens suffisants (traductions, influences, collaborations, échanges) pour assurer la concordance des recherches et la cohésion d'ensemble de l'entreprise chimique. Ces valeurs et ces liens suffisent-ils à expliquer la relative concomitance des dynamiques de développement des trois principales communautés de chimistes ? C'est possible. La concomitance, encore plus frappante, du développement, au milieu du XIX^e^ siècle, de nouvelles communautés de chimistes dans trois entités géopolitiques émergentes irait en effet dans ce sens. Elle incite à croire à l'existence de facteurs qui imposent des phases de développement plus ou moins synchronisées dans des pays aux configurations géopolitiques ou socioculturelles relativement semblables. Selon cette hypothèse, l'universalisation de la science moderne procéderait par cercles concentriques.

La première configuration géopolitique, ou le premier cercle, serait ainsi celui des nations pionnières, en particulier la France, la Grande-Bretagne et l'Allemagne. En dépit de leurs différences géographiques, politiques, sociales et donc institutionnelles, ces trois nations se trouvaient dans une forme de rivalité permanente, une rivalité créatrice de contacts qui expliquerait peut-être la simultanéité de leurs développements scientifiques. Chacune observe ce qui se passe chez l'autre et s'efforce de la rattraper lorsqu'un retard est perçu. À partir de la fin du XVIII^e^ siècle, la France s'inquiète ainsi de son retard industriel sur l'Angleterre, de sorte que les autorités révolutionnaires et impériales, convaincues du caractère stratégique de la production d'acide sulfurique, de soude artificielle ou de chlore, auraient développé une politique de grande tolérance envers les nuisances et les risques liés à la chimie ou aux manufactures en général [73]. Au début du XIX^e^ siècle, c'est au tour de la Prusse, puis de la Bavière et des autres États allemands d'entamer une industrialisation à marche forcée et d'envoyer des étudiants, des apprentis ou même des espions dans les manufactures

72. Ben David, 1971.

73. Thomas le Roux a montré que les autorités révolutionnaires et impériales ont fait prévaloir de plus en plus systématiquement les intérêts industriels au détriment de la protection des populations qui entourent les sites industriels (Le Roux, 2011).

anglaises. Les Britanniques ont à leur tour envoyé leurs étudiants dans les universités allemandes, tout en fondant, dès 1831, la British Association for the Advancement of Science afin de remédier au retard du pays en matière d'institutions scientifiques et de professionnalisation de la recherche. À partir des années 1850, ce sont les Français qui se préoccupent des avantages que la science allemande retire de la réforme de ses universités, et en particulier du développement de la formation en laboratoire. À la fin du XIX^e siècle enfin, les Britanniques s'inquiètent des avantages acquis par l'Allemagne en matière de chimie des colorants.

Symbolisée par l'enseignement de la chimie en laboratoire, la réforme des universités allemandes semble constituer le tournant crucial dans l'émergence des chimistes professionnels et dans le développement, bientôt exponentiel, de la chimie organique et de ses applications industrielles [74]. Le relatif équilibre qui prévalait jusque-là entre les trois grandes communautés nationales de chercheurs semble ainsi modifié au bénéfice de l'Allemagne. Mais des facteurs de rééquilibrage sont intervenus très rapidement. D'abord, le marché des grands professeurs de chimie a vite débordé les frontières allemandes, comme l'illustre le transfert d'August Wilhelm von Hoffmann au Royal College of Chemistry de Londres (1845), où il introduisit la nouvelle méthode d'enseignement de Liebig, qui consistait à adosser la maîtrise des procédures de laboratoire à un corpus de connaissances théoriques en physique et en histoire naturelle. D'autres professeurs allemands iront faire carrière en Russie, aux États-Unis ou en Suisse. À l'inverse, de très nombreux étudiants russes, américains, britanniques, suisses ou même à l'occasion autrichiens, français ou latino-américains iront se former dans les laboratoires universitaires allemands, assurant de ce fait un rapide transfert de compétences vers d'autres nations, qu'elles soient centrales, semi-périphériques ou même périphériques.

Les réussites du modèle allemand ne doivent d'ailleurs pas occulter celles d'autres nations, qui avaient souvent anticipé en partie les réformes de Liebig, en particulier la France (Rouelle dès les années 1740 au Jardin du roi, Vauquelin dès 1804 au Muséum, Thénard dès 1810 à Polytechnique), la Suède (Brandt dès 1726 au Bergskollegium, Wallerius et Bergman dès 1750 à l'université d'Uppsala, Gadolin dès 1797 à l'université d'Abo, Berzelius dès 1807 au Karolinska Instituet) et même la Grande-Bretagne (Thomas Thomson dès 1818 à l'université de Glasgow, Edward Turner dès 1823 à l'université d'Édimbourg) [75]. Des figures comme Jean-Baptiste Dumas ou Charles-Adolphe Wurtz attiraient à Paris un certain nombre d'étudiants russes ou américains, mais aussi en provenance de pays comme l'Italie, la Belgique, la Suisse, le Danemark, l'Espagne ou le Portugal.

Le cas des Pays-Bas illustre assez bien, pour le milieu du XIX^e siècle, la redistribution permanente des cartes qui s'opère en faveur des centres secondaires de formation et de recherche. Après une période de grand essor scientifique au XVII^e siècle, notamment à Leyde et Utrecht, les Pays-Bas avaient peu à peu perdu de leur rayonnement au cours du XVIII^e siècle. Dans le premier tiers du XIX^e siècle, la chimie n'était même plus

74. Klein & Lefevre, 2007 parlent à ce propos de tournant ontologique (« *ontological shift* »).

75. En Allemagne même, on peut citer les pensionnats pharmaceutiques de Langensalza (dès 1779), Berlin (1789) et Erfurt (1795), ainsi que l'enseignement de Stromeyer à l'université de Göttingen (dès 1805).

enseignée aux Pays-Bas que conjointement avec d'autres sciences comme la botanique ou l'histoire naturelle. Dès les années 1790 cependant, un petit groupe de chimistes, tôt ralliés à la doctrine de Lavoisier, s'était constitué à Amsterdam autour de Paets van Troostwijk [76]. Elle devait inspirer l'établissement d'une nouvelle tradition nationale à l'instigation de Gerard Mulder, qui enseigna d'abord à Rotterdam, puis à partir de 1840 à Utrecht. Or cette tradition néerlandaise était fortement influencée par la France, ainsi que par la Suède, où Mulder avait étudié. Elle devait bénéficier de la rapide multiplication des enseignements dans les universités de Leyde, Amsterdam et Groningue, de même qu'à l'École polytechnique de Delft.

En Belgique, devenue indépendante en 1830, les influences étaient également partagées. Celle de la France, transmise par Van Mons (1765-1842), docteur en médecine de Paris qui enseigna à Louvain à partir de 1817, sembla d'abord prédominante. Mais Kékulé, l'un des plus grands chimistes allemands de sa génération, disciples de Liebig et de Bunsen, fit école à Gand où il enseigna de 1858 et 1867. Quant à la Suisse, elle était influencée par l'Allemagne, mais aussi la France et même en Angleterre, influences transmises comme ailleurs à travers les formations de jeunes chercheurs, mais aussi par le recrutement, assez massif en l'occurrence, de chimistes allemands (Schönbein, Graebe, Baumhauer, Victor Meyer, Wislicenus).

En Espagne, le déclin de la chimie et des mines est allé de pair avec celui de son empire transatlantique, finalement disloqué vers 1820. Mais comme pour la Suisse, nombre de ses principaux chimistes vont se former à l'étranger (France, Suède, Allemagne) ou proviennent de l'étranger, notamment de France [77]. Le Portugal a quelques contacts privilégiés avec l'Angleterre. Le Danemark se développe dans l'orbite de la Suède, avec des influences françaises. La Norvège danoise, puis suédoise, parvient à établir sa propre école après 1860 (Guldberg et Waage). La Finlande est dans l'orbite suédoise, puis russe. Quant à la Pologne, encore indépendante au XVIII^{e} siècle, elle est partagée pour l'essentiel entre la Russie (Varsovie), et l'Autriche (Lemberg, Czernovicz, puis Cracovie).

Répétons-le, l'émergence d'un centre prestigieux crée aussitôt des mécanismes de circulations étudiantes, qui diffusent les innovations et augmentent le potentiel scientifique des centres secondaires et des périphéries. Parmi les étudiants de Liebig à Giessen, de Heinrich Rose à Berlin, de Wöhler à Göttingen ou de Bunsen à Marburg, on trouve ainsi un nombre croissant d'Américains, de Russes et de Britanniques, mais aussi une poignée d'Austro-hongrois, de Néerlandais, de Suisses ou encore de Danois. La concomitance entre ces studieuses pérégrinations, et le boom de la chimie aux États-Unis, en Autriche-Hongrie et en Russie n'est sans doute pas fortuite. Quant aux raisons profondes de ces migrations étudiantes, elles sont à rechercher du côté des demandes sociales qui émergent dans les pays d'origine.

Dès les années 1860, des migrations étudiantes plus lointaines se mettent également en route, en particulier depuis le Japon, où la pression militaire occidentale a précipité un *aggiornamento* technico-scientifique. Un consensus rapidement établi autour de la

76. Y figuraient notamment Jan Rudolph Deiman (1743-1808), Nicolaas Bondt (1765-1796) et Gebardus Vrolik (1775-1859).

77. Joseph Louis Proust a effectué l'essentiel de sa carrière à Madrid et à Ségovie.

nécessité de moderniser le pays en danger aboutit à l'envoi d'étudiants aux Pays-Bas (dès 1862) et en Angleterre (dès 1866). Quelques années plus tard débuta le recrutement au Japon de scientifiques et de techniciens occidentaux, dont des chimistes comme Edward Divers ou Oscar Loew, invités à enseigner au Collège impérial d'ingénierie et à l'Université impériale de Tokyo. Il ne faudra pas plus de deux ou trois décennies – une génération – pour transférer l'essentiel des connaissances occidentales en la matière [78].

Au-delà de ces exemples, il faut considérer la diffusion de l'entreprise chimique, ou l'élargissement de la République des chimistes, comme un processus multifactoriel, dont les circulations étudiantes et les recrutements de professeurs ou de spécialistes étrangers ne constituent que la partie la plus visible. Ces processus dépendent en effet de valeurs et de choix de société aussi bien que de considérations stratégiques ou industrielles des États et des élites qui les gouvernent. Lorsque ces volontés concordent, et que les nécessités sont perçues comme vitales ou urgentes, le processus de développement d'une tradition de recherche moderne peut s'avérer extrêmement rapide. Il peut être nettement plus progressif lorsque la société ne partage pas forcément les vues de l'État (Russie du XVIII^e siècle) ou lorsque l'État n'a lui-même guère de politique scientifique (Autriche du XVIII^e siècle). Il peut ensuite s'accélérer dans ces mêmes pays lorsque changent les priorités politiques ou économiques, ou que démarre une phase de modernisation culturelle. Ce processus peut également aller de pair avec la construction d'une nation (États-Unis, Égypte de Muhammad Ali, Turquie kémaliste) ou faire l'objet de vues contradictoires au sein d'un État colonial (Inde). Même au cœur des plus vieilles nations d'Europe, où le processus de maturation disciplinaire de la chimie a débuté, on peut distinguer des phases de lentes évolutions intellectuelles et structurelles (première moitié du XVIII^e siècle) et des phases de transformations accélérées (années 1770-1780 et 1830-1840).

Dans tous les cas, l'institution de la chimie et l'insertion sociale des chimistes dans les sociétés occidentales ont connu de telles transformations au cours de la période considérée qu'on peut légitimement se demander si le terme de chimie désigne bien la même chose en 1890 que deux siècles plus tôt. Peut-être tout ce qui précède les années 1830, relève-t-il au fond d'une réalité différente, pour laquelle il faudrait inventer des catégories lexicales spécifiques.

Références

ANDURAND, A., JEGOU, L., MAISONNOBE, M. & SIGRIST, R. (2015), « Les réseaux de savants et leur visualisation, de l'Antiquité à nos jours », in *Histoire et informatique*, 18/19, p. 41-75.

BEDEL, C. (1964), « L'enseignement des sciences pharmaceutiques », in René Taton (dir.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au* XVIII^e *siècle*, Paris, Hermann, p. 237-257.

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

BENSAUDE-VINCENT, B. (2003), « Rousseau chimiste », in Bernadette Bensaude-Vincent & Bruno Bernardi (éd.), *Rousseau et les sciences*, Paris, L'Harmattan, p. 59-76.

78. L'essentiel du transfert des connaissances scientifiques et techniques occidentales fut assuré par le recrutement, par le Japon, de quarante-cinq savants et ingénieurs britanniques, américains et allemands, ainsi que par l'envoi en Europe de quelques centaines d'étudiants, dont quelques dizaines au plus avaient vocation à devenir des chercheurs.

BENSAUDE-VINCENT, B. & LEHMAN, C. (2007), « Public lectures of chemistry in mid-eighteenth-century France », in Lawrence M. Principe (ed.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, p. 77-96.

BROCK, W.H., (1992) *The Fontana History of Chemistry*, London, Fontana Press.

CROSLAND, M. (1963), « The development of chemistry in the eighteenth century », *Studies on Voltaire and the eighteenth century*, 24, p. 369-441.

DEBUS, A. G. (1991), *The French Paracelsians : The Chemical Challenge to Medical and Scientific Tradition in Early Modern France*, Cambridge, Cambridge University Press.

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

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

GASCOIGNE, R. M.(1984), *A Historical Catalogue of Scientists and Scientific Books. From the Earliest Times to the Close of the Nineteenth Century*, New York and London, Garland Publishing.

GILLISPIE, C. C. (dir.) (1970-1980), *Dictionary of Scientific Biography*, New York, Scribner's sons, (16 vol.).

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

HANNAWAY, O. (1975), *The Chemists and the Word : The Didactic Origins of Chemistry*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

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

HUFBAUER, K. (1982), *The Formation of the German Chemical Community (1720-1795)*, Berkeley.

JOLY, B. (2011), *Descartes et la chimie*, Paris, Vrin (Mathesis).

KLEIN, U. (2007), « Apothicary-chemists in Eighteenth-Century Germany », in Lawrence M. Principe (ed.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, p. 97-137.

KLEIN, U. & LEFEVRE, W. (2007), *Materials in Eighteenth-Century Science. A Historical Ontology*, Cambridge (Mass.), The MIT Press.

LAISSUS, Y. (1964), « Le Jardin du roi », in René Taton (éd.), *Enseignement et diffusion des sciences en France au* XVIII^{e} *siècle*, Paris, Hermann, p. 287-341.

LE ROUX, T. (2011), *Le laboratoire des pollutions industrielles. Paris, 1770-1830*, Paris, Albin Michel.

METZGER, H.(1974), *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique* [1930], Paris, A. Blanchard.

NEWMAN, W. R. (2002), « The Background to Newton's Chymistry », in I.B. Cohen & George E. Smith (eds), *The Cambridge Companion to Newton*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 358-369.

NEWMAN, W. R.(20016), *Atoms and Alchemy, Chymistry and the Experimental Origins of the Scientific Revolution*, Chicago, Chicago University Press.

NEWMAN, W. R. & PRINCIPE, L. M. (1998), « Alchemy vs Chemistry : The Etymological Origins of a Historiographic Mistake », *Early Science and Medicine*, 3, p. 32-65.

PEPIN, F. (2012), *La Philosophie expérimentale de Diderot et la chimie. Philosophie, sciences et arts*, Paris, Classiques Garnier.

POGGENDORFF, J. C. (1863), *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften*, Leipzig, (2 vol.).

PRINCIPE, L. M. (ed.) (2007), « A Revolution Nobody Noticed ? Changes in Early Eighteenth-Century Chymistry », in Lawrence M. Principe (ed.), *New Narratives in Eighteenth-Century Chemistry*, Dordrecht, Springer, p. 1-22.

READ, J. (1961), *From Alchemy to Chemistry*, London, G. Bell & sons.

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.

SIGRIST, R. & WIDMER, E. (2011), « Training links and transmission of knowledge in 18$^{\text{th}}$ century botany : a social network analysis », *Redes. Rivista Hispana para el analisis de redes sociales*, 21/7, p. 274-318.

SIMON, J.(2005), *Chemistry, Pharmacy and Revolution in France, 1777-1809*, Aldershot, Ashgate.