

Une ou deux chimies ?

« *Pur* » et « *appliqué* » en version française

Bernadette Bensaude-Vincent

A nos yeux, la distinction entre « pur » et « appliqué » est une évidence : d'un côté, une recherche à finalité cognitive ; de l'autre, une exploitation des connaissances acquises dans un but utilitaire. Pourtant, il n'est pas évident que savoir et technique soient deux aspects d'une même discipline. L'affirmation d'une identité commune entre la science et les arts chimiques est une idée relativement récente et durement conquise. En effet, dans la littérature chimique du début du XVIII^e siècle dominent deux couples de notions – théorie et pratique ; science et art –, qui seront évincés au milieu du XIX^e siècle par les expressions de chimies « pure » et « appliquée ». Or ce glissement sémantique présente une particularité : les catégories qui organisent la chimie au XVIII^e siècle sont philosophiques, l'une issue de la philosophie grecque, l'autre de la scolastique. Au contraire, les concepts de pur et d'appliqué ne semblent pas empruntés à une philosophie et ne sont même pas, semble-t-il, intégrés aux discours philosophiques contemporains.

Un bref rappel des catégories philosophiques voisines, en vigueur à la fin du XVIII^e siècle et au début du XIX^e éclaire le problème. Chez Kant, le « pur » s'oppose à l'« empirique » et non à l'« appliqué ». C'est justement parce que la chimie n'est pas « pure » que Kant lui refuse le titre de science en 1786, dans

Exposition de la Compagnie Liebig au pavillon de l'Uruguay, pays où sont installées les principales usines de la Compagnie, créée en 1865 avec la coopération du baron Justus von Liebig (1803-1873). Extrait de l'Exposition universelle de 1889 d'E. Monod, Paris, 1890.

la préface des *Premiers Principes métaphysiques de la Science de la Nature*¹. En 1797, Kant semble revenu sur ce jugement puisqu'il déclare qu'il n'« y a qu'une seule chimie, celle de Lavoisier », ce qui revient à la traiter comme une science rationnelle reposant sur des principes. Plus loin, Kant avoue qu'en chimie comme en physique, des principes dérivés de l'expérience peuvent être admis comme universels, bien qu'ils ne présentent pas le même caractère de nécessité que des principes *a priori*². Ces deux allusions suggèrent que la révolution lavoisienne a profondément transformé le statut philosophique de la chimie, mais pas au point de conduire Kant à qualifier la chimie de « pure ».

En 1830, Auguste Comte, définissant l'objet de son *Cours de philosophie positive*, utilise à plusieurs reprises la notion d'application, mais non celle de science pure. D'une part, il distingue deux types de sciences naturelles : « les unes abstraites générales ont pour objet la découverte des lois... les autres concrètes, particulières, descriptives et qu'on désigne quelquefois sous le nom de sciences naturelles proprement dites, consistent dans l'application de ces lois à l'histoire effective des différents êtres existants ». Il mobilise, d'autre part, la distinction générale entre « spéculation » et « action », à laquelle il fait correspondre deux catégories de connaissances « théoriques » et « pratiques », sous-jacentes à la fameuse formule du positivisme « science d'où prévoyance ; prévoyance d'où action ». Tout en admettant que, au temps de Bacon, on a progressé en concevant la connaissance « comme véritable base rationnelle de l'action de l'homme sur la nature », Comte déplore l'utilitarisme de son siècle qui réduit les sciences à cette fonction, ignorant leur « destination plus directe et plus élevée » : connaître les lois des phénomènes³. L'autonomie des recherches théoriques par rapport aux besoins pratiques appelle, dit Comte, un médiateur entre science et arts, concrétisé dans une forme sociale nouvelle : l'ingénieur, « dont la destination spéciale est d'organiser les relations de la théorie et de la pratique³ ». On ne trouve toujours pas l'expression « science pure ».

Le couple de notions « science pure » et « science appliquée » ne s'inscrit pas dans une réflexion d'ensemble sur la finalité des sciences mais semble très fortement attaché à une localité du savoir : la chimie. En effet, d'après une étude de C. Meinel, ses premières occurrences, dès la fin du XVII^e siècle se rapportent aux mathématiques, mais il est manifeste que ces concepts sont empruntés au vocabulaire des chimistes de l'époque, puisqu'on distinguait la « *mathematica pura* » de la « *mathematica impura sive mixta*⁴ ». Quant à la distinction entre « *chimia pura* » et « *chimia applicata* », Meinel établit qu'elle est introduite par un chimiste d'Uppsala, Wallerius, en 1751⁵. Elle correspond à une tentative de légitimation de la chimie comme discipline académique renversant, en quelque sorte, la priorité chronologique des arts en une dépendance logique. Elle s'inscrit, selon Meinel, dans la tradition scandinave et allemande de relations étroites entre la chimie, le mercantilisme et le « kammeralisme » de l'Aufklärung qu'illustre un titre de Wallerius, *De nexu chemiae cum utilitate reipublicae*. Avec les multiples traductions des ouvrages de Wallerius, les expressions « pur »

et « appliqué » se répandent très rapidement en Allemagne puis en Angleterre. Mais leur diffusion en France est beaucoup plus tardive. Bien qu'on trouve dans l'Encyclopédie l'idée générale d'application d'une science à d'autres domaines, la notion d'exploitation utilitaire d'un savoir autonome n'apparaît qu'à l'époque révolutionnaire. Le premier ouvrage intitulé *Chimie appliquée* est publié en 1807⁶. On observe en France un certain décalage entre ce qu'on appelle l'« esprit des lumières » et l'apparition des catégories de « pur » et d'« appliqué ».

Tel est le problème qu'on se propose d'examiner dans cet article en suivant la chimie française sur près d'un siècle, de 1750 à 1850. Ce décalage signifierait-il qu'en France la chimie n'a pas été promue comme une discipline académique autonome avant la fameuse révolution chimique de Lavoisier ? Ou bien que les relations entre économie et chimie manquaient dans la France du XVIII^e siècle ?

Lavoisier et Leblanc

Deux portraits de fondateurs habitent la mémoire collective des chimistes français, qui ne jouissent pas d'une égale renommée. La chimie moderne a été fondée par Lavoisier, c'est une certitude pour les Français, rappelée à satiété depuis deux siècles. Elle n'est pas forcément partagée par les chimistes anglais qui ont d'autres prétendants au titre de fondateur. Et l'évidence française se trouve périodiquement contestée par les Allemands, chaque conflit entre les deux nations rallumant d'après controverses sur la patrie de la chimie⁷. Quelles que soient les variantes nationales sur la personne du fondateur, toutes ces recherches en paternité reposent sur le même présupposé : il existe un moment fondateur à partir duquel la science chimique devient moderne. Dès lors, elle progresse irréversiblement, accumule lois et découvertes qui tout naturellement débouchent sur de mirifiques applications industrielles ou agricoles.

Tout en situant le tournant à la même époque, les historiens de l'industrie proposent un autre récit des fondations. Ils admettent couramment que l'industrie chimique lourde démarre avec le procédé Leblanc pour la fabrication de la soude artificielle à partir du sel marin. En effet, autour de la soudière Leblanc se greffent d'autres industries : une vitriolerie en amont, et une fabrique de produits chlorés pour le blanchiment, récupérant l'acide chlorhydrique dégagé lors de la première phase, en aval. C'est un véritable « système technique » qui stimule plusieurs secteurs de production et règle la cadence de l'industrie chimique pendant presque un siècle⁸. Bien que le procédé Leblanc ait été mis au point peu après la révolution chimique, il n'est pas directement en relation avec la nouvelle théorie chimique. Au contraire, le nom même du produit fabriqué par Leblanc symbolise une rupture : la soude factice du manufacturier est du carbonate de sodium pour le chimiste de l'Académie. Le devenir du procédé Leblanc accuse encore l'impression de divorce. Adopté dans tous les pays, continuellement perfectionné, il reste pourtant mal expliqué⁹. Quand les soudières Leblanc commencent à fermer vers l'année 1870 à cause de la



concurrence du procédé Solvay, les chimistes disputent encore sur la suite des réactions qui aboutissent à la formation de carbonate de sodium. Comme l'oiseau de Minerve, la théorie chimique prend son vol à la tombée de la nuit. Et, si l'on songe au mystère qui longtemps plane sur la fameuse chambre de plomb, utilisée depuis le XVIII^e siècle, dans la production d'acide sulfurique, on voit que ce retard de la science sur la technique n'est pas un cas isolé.

Voici deux récits de fondations qui impliquent des positions très différentes sur les relations entre science et industrie. Or il n'y a pas vraiment de concurrence entre les deux fondateurs contemporains malgré quelques similitudes dans leurs destins. Par leur condition sociale, Lavoisier et Leblanc figurent comme derniers représentants d'une époque où la chimie n'est pas un métier¹⁰. Tous deux ont été durement frappés par la Révolution française. En dépit de sa renommée, de son rôle à la commission des poids et mesures, Lavoisier est guillotiné le 8 mai 1794 au titre de fermier général de l'Ancien Régime. Nicolas Leblanc, qui avait monté une fabrique à Saint-Denis avec le soutien financier du duc d'Orléans en 1791, se retrouve sans ressources après la nationalisation de sa fabrique et le don de son brevet au Comité de salut public. Il se suicide en 1806, bien qu'on lui ait rendu sa fabrique, parce qu'il n'a plus de capitaux ni de moyens pour la gérer. Victime des convulsions révolutionnaires, comme Lavoisier, mais pas directement, Leblanc est plutôt anéanti, dépassé par les événements. La postérité accuse le contraste. Lavoisier est célébré comme un héros : une légende rapporte qu'il aurait, avec sa balance, chassé les ténèbres de l'alchimie. Au contraire, l'invention de Leblanc est souvent expliquée par les guerres et le blocus économique. D'un côté, le génie créateur qui fonde un édifice et transcende son époque ; de l'autre, un pâle inventeur effacé derrière un rideau de circonstances.

Ces versions populaires ont été rectifiées par les historiens des doctrines et des techniques chimiques du XVIII^e siècle. Depuis longtemps déjà, Hélène Metzger a souligné que la chimie pré-lavoisienne forme un système rationnel, cohérent, loin de l'alchimie, et elle a mis en pièces la tradition historiographique qui réduit la doctrine de Stahl au phlogistique pour mieux le balayer d'un coup d'oxygène¹¹. Les biographes de Leblanc montrent l'antériorité de l'invention par rapport aux événements invoqués. Le procédé est en effet présenté à l'Académie royale des sciences de Paris en 1789, en réponse à un offre de prix lancée depuis 1775. Quant à Leblanc, chirurgien de formation, cristallographe à ses heures de loisir, il est membre de plusieurs sociétés savantes, intégré au milieu scientifique de son époque¹².

Déconstruire les légendes par la précision des analyses est une entreprise historique capitale mais il faut encore comprendre leur signification. Le contraste entre



Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) - déterminant la formation de l'eau en faisant éclater des étincelles électriques au sein d'un mélange de gaz hydrogène et oxygène venant de réservoirs de gazomètres placés à droite et à gauche de la figure - Extrait de Physique populaire d'É. Desbeaux, Paris, 1891.

Statue de Nicolas Leblanc (1742-1806) inaugurée à Paris, au Conservatoire des arts et métiers, le 28 juin 1887.

ces deux figures de pionniers révèle une dissymétrie dans les façons de concevoir l'invention scientifique et l'invention technique. Le prestige monopolisé par Lavoisier suggère que la science est l'unique moteur du progrès technique et sert l'image d'une recherche pure éternellement féconde, avec des retombées techniques miraculeuses.

En quoi l'œuvre de Lavoisier peut-elle vraiment soutenir pareille conception ? Dans quelle mesure la révolution chimique a-t-elle réorganisé les rapports entre science et industrie ? Dans la multitude des articles parus sur la révolution chimique depuis une trentaine d'années, on trouve seulement deux études traitant des relations entre le changement observé dans la science et le développement des techniques¹³. Tout se passe comme si ces questions avaient été gelées, dans le climat de guerre froide des années 50, par la riposte d'Henry Guerlac à une tentative d'interprétation marxiste de la révolution chimique¹⁴. Guerlac reconnaissait que les techniques métallurgiques et minières avaient stimulé les études de chimie dans la deuxième moitié du XVIII^e siècle, mais il refusait absolument d'établir une relation entre les problèmes métallurgiques et le renversement de la théorie du phlogistique. Mon intention n'est pas de rouvrir le débat en ces termes, mais simplement de voir comment la révolution chimique se traduit dans l'espace social.

1750, SCIENCE ET ARTS EN INTERACTION

En France comme ailleurs, au XVIII^e siècle, une majorité de traités comportent une partie théorique et une partie pratique. La distinction est admise par tradition et n'est jamais remise en question. L'action – *praxis* – étant bien distincte de la production – *poiesis* – ou de la *technè*, la chimie pratique ne correspond pas aux arts chimiques. Elle traite des opérations chimiques et des instruments de laboratoire. Ainsi P.J. Macquer publie en 1749 des *Elémens de Chymie théorique* qui exposent la théorie des affinités et deux ans plus tard des *Elémens de Chymie pratique*¹⁵. La division entre les deux traités correspond moins à une différence de contenu – Macquer inclut beaucoup d'opérations et de descriptions d'expériences dans le corps de la théorie – qu'à une différence de présentation. La chimie théorique suit un ordre logique, tandis que la chimie pratique échappe à une présentation systématique.

Une réalité quotidienne

Quant au lien avec les arts, Macquer le noue dans la vie quotidienne, en tant qu'inspecteur général des teintures du royaume. L'union du laboratoire et de l'atelier est encouragée en France par le gouvernement qui confie à des savants de l'Académie royale des sciences de Paris la solution de problèmes pratiques. Tel est le cas de la teinturerie : en 1731 débute une dynastie de chimistes, grands commis d'État, qui unissent étroitement dans leur carrière la connaissance et l'action. C.F. de Cisternay du Fay, puis Jean Hellot auquel succèdent P.J. Macquer puis

C. L. Berthollet, ont tous contribué à développer la concertation entre savants et fabricants¹⁶.

S'il est vrai que cette interaction a répandu parmi les fabricants la conviction que les lumières d'un chimiste étaient utiles dans l'atelier, il semble que les progrès importants réalisés dans la teinturerie au cours du XVIII^e siècle doivent plus au pragmatisme et à l'empirisme des artisans qu'aux brillants théoriciens. Quel est l'apport effectif de ces chimistes à la production ? Mis à part l'*Art de la teinture des laines* de Jean Hellot, qui, traduit en plusieurs langues et largement diffusé, a réellement servi de guide dans les ateliers, les chimistes ont surtout fourni, après coup, des interprétations théoriques de ce qui se passe dans les ateliers : Macquer avance une explication de la teinturerie en termes d'affinités et une classification des couleurs¹⁷. Berthollet, dans ses *éléments de l'art de la teinture*, propose une vaste synthèse ordonnée des procédés observés, recueillis dans les ateliers. Il n'a pas l'ambition de diriger les artistes, ni même d'améliorer leurs techniques, mais, comme le précise le rapport de Lavoisier, d'« éclairer les artistes sur les principes de leur art pour qu'ils puissent ensuite le perfectionner dans leur pratique »¹⁸. Intégrer la pratique dans un cadre théorique général, classer, systématiser les phénomènes, telles sont les missions des savants. D'innovation technique suscitée par la théorie chimique, il n'est pas question.

L'enjeu est ailleurs. Il y va du statut de la chimie. Autant les rapports entre science et art ne posent pas de problème dans la réalité, autant, comme le remarque Meinel, ils deviennent un sujet sensible au niveau symbolique de la lutte pour la reconnaissance et la dignité académique des chimistes. Or ce combat, illustré en France par l'article « Chymie » de Venel dans l'*Encyclopédie* de Diderot, ignore les catégories de « pur » et d'« appliqué » et mobilise une conception bien différente de la chimie et des rapports entre science et art¹⁹.

Chimie d'artiste

Venel commence par dénoncer quelques préjugés nuisibles à l'image sociale de la chimie. Le premier, répandu parmi les « gens peu instruits », consiste à confondre le chimiste et l'artiste verrier ou céramiste. Le second, plus grave car il procède non de l'ignorance mais de la lecture de mauvais traités de chimie, consiste à confondre le chimiste et le « manœuvre de l'expérience ». Contre la réduction de la chimie aux arts et contre l'empirisme aveugle, Venel présente la chimie comme une doctrine générale, rivale et non servante de la mécanique par sa puissance explicative, par la profondeur de ses principes et par l'extension de son territoire « au laboratoire de la nature et de l'art ». La critique de la mécanique s'accompagne de la volonté d'affirmer l'originalité de la chimie dans ses rapports entre science et art. Si Venel combat la confusion entre la science chimique et les arts, ce n'est pas pour affirmer qu'ils sont étrangers l'un à l'autre ni même indépendants. Il pense leur différence en termes de général et de particulier. La chimie – toujours au singulier – est « une vaste source de connaissances natu-



relles » dont les arts ou d'autres sciences font « une application particulière » (p. 420).

Mais au lieu d'envisager la relation entre la science générale et ses applications à sens unique, Venel définit une interaction sous la forme d'une double question :

« Les arts chimiques étant liés à la chimie générale comme à un tronc commun, il se présente ici deux questions très importantes, ce me semble. 1°) Jusqu'à quel point chacun de ces arts peut-il être corrigé et perfectionné par la science chimique ? 2°) Combien la science chimique peut-elle être avancée à son tour par les connaissances particulières puisées dans l'exercice de chacun de ces arts. Quant à la première question, il est évident que le chimiste le plus éclairé, le plus instruit, dirigera, reformera, perfectionnera un art chimique quelconque avec un avantage proportionnel à ses connaissances générales, à sa science, à condition néanmoins que sur l'objet particulier de cet art il aura acquis cette faculté de juger par sentiment, qui s'appelle « coup d'œil » chez l'ouvrier, et que celui-ci doit à l'habitude de manier son sujet ; car aucun moyen scientifique ne saurait suppléer à cette habitude, c'est un fait, une vérité d'expérience » (p. 420).

A la première question, la réponse est positive mais conditionnelle : les lumières de la science n'éclairent l'atelier que si le chimiste possède en outre l'habitude, la familiarité, la longue expérience de l'ouvrier. En revanche, à la deuxième question, la réponse est franche : la science chimique ne peut se passer des ressources de l'art. Généralité et prévisibilité, ces deux caractères des phénomènes

scientifiques ne peuvent être atteints sans l'empirisme, l'habileté opératoire, le « coup d'œil » d'un artiste. Pour éliminer les singularités, les caprices de la nature, les résultats parfois aberrants d'une expérimentation, il faut, plus que de bons instruments, le « bon sens » d'un artiste qui a « un thermomètre au bout des doigts et une horloge dans la tête ».

« En un mot, il faut être artiste, artiste exercé, rompu, ne fût-ce que pour exécuter, ou pour diriger les opérations avec cette facilité, cette abondance des ressources, cette promptitude qui en font un jeu, un délassement, un spectacle qui attache et non pas un exercice long et pénible [...]. Tous ces phénomènes isolés, ces prétendues bizarreries des opérations, ces variétés des produits, toutes ces singularités dans les résultats des expériences, que les demi-chimistes mettent sur le compte de l'art, ou des propriétés inconnues des matières qu'ils employent, peuvent être attribuées assez généralement à l'inexpérience de l'artiste, et elles se présentent peu au yeux du chimiste exercé. Il n'arrivera que très rarement à celui-ci, peut-être même ne lui arrivera-t-il jamais, d'obtenir un certain produit, et de ne pouvoir jamais parvenir à le retirer une seconde fois des mêmes matières » (p. 420).

L'interaction entre science et art présente donc une dissymétrie : l'art est source de savoir pour la science puisqu'il n'est de savoir chimique sans savoir-faire, de vue d'ensemble sans curieuse minutie des détails. Mais la relation inverse reste problématique. La science est utile pour perfectionner, corriger, étendre les procédés de l'art. « Quant à l'invention directe et systématique des arts, de ceux surtout qu'on peut regarder comme chefs, loin de convenir qu'elle soit due aux sciences, c'est une question de savoir si elle peut l'être » (p. 425).

Pour Venel, promouvoir la chimie comme science digne de figurer dans l'*Encyclopédie* ne signifie pas renoncer à un passé empirique. Recettes, cuisine, astuces et saleté des manipulations, tout ce qui fut jugé honteux par les tenants de l'explication mécanique devient un titre de noblesse. La « *sapientia chimica* » est à la fois un savoir et une pratique. Elle « a dans son corps la double langue, la populaire et la scientifique » (p. 419). La science n'est ni antérieure ni supérieure aux arts. Ce sont deux manifestations de l'identité de la chimie, deux modes d'expression qui font son originalité parmi les autres sciences de la nature.

1800 : « LE GÉNIE DE LA SCIENCE CHIMIQUE »

Dans le « Discours préliminaire » de son monumental *Système des connaissances chimiques*, Fourcroy, ancien conventionnel, membre du Comité de salut public aux heures les plus chaudes, rappelle les exploits des chimistes révolutionnaires pour défendre la patrie en danger :

Expérience de Pierre-Joseph Macquer (1718-1784) : « Combustion du gaz hydrogène à l'air, contre une soucoupe de porcelaine ». Extrait des *Merveilles de l'industrie de L. Figuier, Furne et Jouvet édit., Paris, 1873-1877, vol. 3.*

« Sans le génie de la science chimique, elle [la France] était menacée d'une disette absolue dans ses moyens de défense. Une administration active, et accoutumée à vaincre toutes les résistances [...] conçoit l'espoir de trouver dans la chimie ce que la routine des ateliers ne peut lui fournir, et ce que le commerce interrompu lui refuse. Elle appelle les chimistes les plus éclairés, elle les réunit, leur fait connaître ses besoins pressants autant qu'étendus, la confiance qu'elle a placée dans leurs lumières et les secours qu'elle leur demande. Son attente n'a pas été trompée : ses espérances se sont réalisées au-delà même du point où elle les avait portées ²⁰. »

Une théorie et des accessoires

Changement de décor. Plus d'artiste habile et créatif inspirant les lumières de la science. Non seulement la science guide, éclaire, simplifie, rationalise la production, mais elle innove. De l'atelier ne peut sortir que la routine, au point que l'artiste n'est plus l'interlocuteur du savant éclairé. Entre le fabricant et le savant s'interpose l'administration.

Toute la fonction d'utilité de la chimie semble transférée des arts vers la science. D'où une inversion des rapports décrits par Venel. Évoquant la collecte du salpêtre dans les caves, Fourcroy conclut : « Voilà donc un fonds inépuisable de la matière la plus utile à la défense, et la plus avantageuse à une foule d'ateliers et de manufactures, trouvé pour jamais dans les connaissances chimiques. » (p. xxij). L'art n'alimente plus le savoir ; la science, en revanche, fournit aux ateliers leur matière première.

Science-providence de la France. La chimie, tout naturellement, répond aux besoins sociaux. Cette adaptation miraculeuse de l'offre à la demande passe, en fait, par quelques intermédiaires – entre autres la présence de chimistes dans les comités révolutionnaires – dont Fourcroy ne dit rien ici. Cela lui procure un bon argument pour obtenir des crédits ou des postes : en quelque sorte un échange de services entre la patrie et la chimie « C'est à la France que sont dus le renouvellement, la restauration complète et la perfection de cette belle science ; et s'il était juste qu'elle en recueillît les fruits dans une grande occasion où il s'agissait de son existence et de son soutien, il est aussi naturel qu'elle voie former dans son sein les plus grandes entreprises destinées à augmenter les progrès de la chimie et à en étendre les avantages. » (p. xxiiij).

En quoi consiste cette science, bonne à tout faire pendant la Révolution française ? Elle est profondément transformée par sa propre révolution. Fourcroy la présente comme une science autonome, affranchie du joug de la pharmacie, émancipée enfin de l'histoire naturelle. Elle se partage toujours entre théorie et pratique, mais la distinction entre science et art semble effacée. Le plan qu'expose Fourcroy pour la construction d'un système de chimie s'organise en quatre parties : Théorie de la science, Histoire de la science, Pratique (opérations de laboratoire) et Applications. Mais ce plan idéal est impraticable. En dépit de ses dix épais volumes, le *Système* est présenté comme un ouvrage incomplet, inachevé. Seule la première

partie est intégralement traitée. Pour les autres, quelques traits d'histoire et plusieurs faits de pratique ou d'applications aux sciences et arts sont évoqués chemin faisant. Au bilan, la chimie qu'apprennent les étudiants consiste en un système théorique avec des « accessoires » (p. xxxviii). S'il est vrai que Fourcroy a, comme il le prétend, recueilli les matériaux de cet ouvrage pendant vingt ans, alors cette distribution des contenus est plus pertinente pour définir la chimie que le plan idéal conçu au départ. En effet, le but des menues injections d'histoire, de pratique et d'applications n'est point de faire connaître ces domaines par de brefs aperçus, mais plutôt de valoriser la puissance de la théorie moderne : « faire apercevoir en quoi les procédés actuels de l'art chimique diffèrent de ce qu'ils étaient autrefois », « exposer les grands avantages dont la culture et l'étude approfondie de la chimie sont accompagnées ». La théorie est autonome, simplement embellie par la pratique et les applications.

Un double déplacement s'est donc opéré par rapport à la chimie de Venel : dans l'espace de la science chimique, un mouvement de bascule vers la théorie qui définit l'essence de la chimie, tandis que la pratique et les applications deviennent de simples accessoires ; et corrélativement un déplacement de la fonction d'utilité des arts vers la science chimique.

Ce paysage de 1800 prend d'autant plus de relief qu'il succède à quelques années tourmentées où les sans-culottes exigeaient la fermeture des académies et la censure des recherches sans utilité publique ²¹. Que les propos de Fourcroy constituent une riposte à ces lourdes charges contre la science au nom des arts, une sorte de liquidation d'un passé jacobin, cela n'est pas improbable.

Mais dans quelle mesure sont-ils commandés par la révolution interne à la chimie ? Sans entrer ici dans les débats d'interprétation sur la révolution chimique, on peut repérer dans l'œuvre de Lavoisier ce qui a pu induire ces deux déplacements et modifier les rapports entre science et art.

Espace académique

La réforme de la nomenclature, en 1787, est un premier geste lourd de conséquences ²². D'une part, cette langue forgée dans le cadre de l'Académie et diffusée dans les milieux savants français ou étrangers entraîne une rupture de dialogue avec la langue parlée dans les ateliers. Si les matières premières utilisées et les produits fabriqués ne portent plus le même nom, il faut ou bien prévoir un médiateur-traducteur entre l'artisan et le chimiste, ou bien assurer une formation des artisans qui ne soit pas simplement un apprentissage « sur le tas » mais un enseignement de la chimie. Telle est la rançon d'une langue rationnelle.

D'autre part, le clivage dans l'espace social entre catégories professionnelles de la chimie est la conséquence d'une volonté explicite de rupture dans le temps avec un passé jugé honteux ou encombrant. La langue d'usage forgée au long des siècles, enrichie par de multiples traditions – antiques, médiévales, renaissantes ou plus récentes, méditerranéennes ou nordiques – est



perçue comme un fardeau, à la fois obstacle à la communication et véhicule d'erreurs. L'initiative de créer une langue nouvelle et rationnelle suggérée par Bergmann, compatriote de Linné, est mise en œuvre par Guyton de Morveau. Dès 1782, il énonce clairement le principe fondamental : « *la dénomination d'un composé chimique n'est claire et exacte qu'autant qu'elle rappelle les parties composantes par des noms conformes à leur nature* ²³ ». Éliminer les noms qui rappellent l'inventeur, l'origine géographique ou historique, bref le passé, l'anecdote, l'événement. Avec un tel mot d'ordre, les chimistes se dépouillent de leur histoire pour se tourner vers la nature : « *les dénominations doivent être autant qu'il est possible conformes à la nature des choses* ».

Qu'est ce que la nature des choses ? Le chimiste peut-il espérer la connaître et doit-il attendre cette heure pour forger un nouveau langage ? C'est sur ce point que Lavoisier transforme profondément le projet initial. Sa réponse passe par une philosophie du langage empruntée à Condillac.

« *Les langues n'ont pas seulement pour objet, comme on le croit communément, d'exprimer par des signes, des idées et des images : ce sont de plus de véritables méthodes analytiques, à l'aide desquelles nous procédons du connu à l'inconnu, et jusqu'à un certain point, à la manière des mathématiciens* ²⁴ ».

La nomenclature n'est pas une simple collection de signes, mais une méthode d'investigation. Mieux, une méthode d'apprentissage puisque le chimiste débutant est, dit Lavoisier, dans une situation analogue à celle de l'en-

fant qui forme ses premières idées (p. 9). Ce détour philosophique permet de résoudre sans hésitation le défi de l'entreprise des réformateurs. On peut forger une langue qui soit un « miroir fidèle » de la nature des choses alors qu'on ne la connaît pas encore. Lavoisier ne sait pas de quoi est faite la réalité, mais il sait comment elle est faite : par composition et elle est connue par décomposition. Telle est, dit-il, la « logique naturelle ». En d'autres termes, la nature d'une chose est sa composition établie par le chimiste au terme d'une analyse.

D'où un programme unique assigné à la science chimique : « *La chimie, en soumettant à des expériences les différents corps de la nature, a pour objet de les décomposer et de se mettre en état d'examiner séparément les différentes substances qui entrent dans leur combinaison [...]. La chimie marche donc vers son but et vers sa perfection en divisant, subdivisant et resubdivisant encore et nous ignorons quel sera le terme de ses succès* ²⁵ ».

Les notions de corps simple et composé forment l'axe directeur de la théorie chimique, tandis que celles de principes et de mixtes perdent peu à peu leur pertinence.

En centrant la chimie sur les opérations d'analyse et de synthèse, Lavoisier lui fixe un territoire. Les substances ne se définissent plus par leur appartenance à un règne de la nature, minéral, végétal ou animal. Si la composition établie au terme d'une analyse de laboratoire épuise la définition des substances, le chimiste n'a plus à se promener en plein air, à être attentif aux détails, aux circonstances. Il n'est plus soumis aux caprices de la nature, aux aléas du terrain. Il peut s'enfermer dans le laboratoire, où il contrôle les événements grâce à des instruments de mesure tels que la balance ou le gazomètre, pour établir des bilans de réaction. Ainsi le chimiste cultive-t-il le voisinage de la physique et prend-il ses distances à l'égard des géologues, minéralogistes, botanistes... tous hommes de terrain renvoyés dans la catégorie des applications avec les pharmaciens, les métallurgistes et les artisans.

Former des chimistes professionnels

Lavoisier modifie la façon même de poser le problème entre science et art par ses vues sur la recherche et l'enseignement de la chimie. Comment former des chimistes ? Cette question préoccupe Lavoisier tout au long de sa carrière, bien qu'il n'ait jamais enseigné. Dès la fin des années 70 du XVIII^e siècle, il travaille avec son collaborateur Jean Bucquet à la rédaction d'un traité élémentaire et déclare : « *Ce sera l'ouvrage de ma vie* » ²⁶. Dans ses derniers jours, Lavoisier prépare encore un *Cours de chimie expérimentale* ²⁷, tandis qu'il rédige, au nom du Bureau des Arts et Métiers, des *Réflexions sur l'instruction publique* pour la Convention nationale ²⁸. Un manuscrit de cette époque, intitulé *Sur la manière d'enseigner la chimie*, suggère une liaison forte entre le projet pédagogique et la révolution chimique ²⁹. A la manière de Descartes, au début du *Discours de la Méthode*, Lavoisier présente son

Jean Antoine Chaptal (1756-1832). Extrait des Merveilles de l'industrie de L. Figuier, Furne et Jouvet édit., Paris, 1873-1877, vol. 1.

entreprise comme fruit d'une insatisfaction à l'égard de l'enseignement qu'il a reçu et d'une volonté de « *refaire son instruction chimique* ». Le reproche essentiel adressé à ses professeurs est le manque de progression pédagogique dans leurs cours : ils ne procèdent pas du connu à l'inconnu :

« *Ainsy deux premières questions sont à faire aux élèves en commençant à enseigner : que savez-vous ? Que voulez-vous savoir ? Celui qui enseigne doit à plus forte raison se faire deux questions à lui-même : où commence et où finit le livre que je me propose de parcourir ?*²⁶ »

Lavoisier définit les conditions d'un bon enseignement dans les mêmes termes que la chimie qu'il promeut. La méthode des bilans mise en œuvre pour peser ce qui entre et ce qui sort de l'enceinte réactionnelle au laboratoire doit s'appliquer à la situation pédagogique. La marche du simple au complexe, déjà consacrée « *logique naturelle* » dans la réforme du langage, est aussi une logique didactique.

D'où le pari lancé dans le Discours préliminaire au *Traité élémentaire* : former des chimistes en un an. Partir de rien, ne rien supposer qu'un entendement vierge, une table rase comme l'esprit d'un enfant, et l'informer progressivement, en partant des faits pour aller aux idées, des notions les plus simples aux plus complexes (pp. 4-5). Lavoisier présente clairement le prix à payer pour ce résultat : laisser de côté tout ce qui concerne les affinités, car cela obligerait à « *supposer, dès les premiers pas des connaissances que l'élève ou le lecteur ne doivent acquérir que dans les leçons subséquentes* » (p. 4) ; laisser de côté tout ce qui concerne les principes ou éléments des corps, car cela introduirait des spéculations métaphysiques dans une bâtisse que l'on veut fonder exclusivement sur des faits ; enfin, éliminer l'histoire de la chimie qui compliquerait inutilement la tâche des « commençants ». Bref, conduire l'élève par la main sur un chemin balisé, aplani, débarrassé des obstacles, ménageant une progression régulière, tel est le projet pédagogique de Lavoisier. Certes, vers la fin de sa vie, Lavoisier semble avoir modifié ses plans puisqu'il admet que la chimie exige un savoir préliminaire, « *un esprit formé* », « *des hommes faits*²⁶ ». Reste qu'il a défini les conditions d'un programme de formation permettant de faire l'économie de la longue familiarité avec l'expérience que préconisait Venel.

Enfin, c'est sous forme d'un programme d'enseignement que Lavoisier expose dans les *Réflexions sur l'instruction publique* sa conception des rapports entre la science chimique et les arts³⁰. Il introduit la chimie seulement au niveau de l'enseignement secondaire, qu'il partage en deux divisions d'orientation professionnelle : un enseignement de langue, science et littérature, sensiblement analogue à celui des collèges et universités préparant aux fonctions publiques ; pour ceux qui se destinent aux « arts », Lavoisier prévoit un enseignement nouveau, avec un tronc commun, le dessin, indispensable à tous les arts, puis une bifurcation vers les arts mécaniques ou les arts chimiques.

« *Le cours relatif aux arts chimiques devra commencer par une exposition des corps naturels qui sont en usage dans les arts, par une description de leurs qualités extérieu-*

res, par quelques explications sur leur origine. Passant ensuite à l'emploi de ces substances simples, le professeur fera voir que les opérations chimiques relatives aux arts peuvent se classer, se décomposer comme les machines ; que ces opérations se rapportent à des combustions, à des décombustions, à des dissolutions, à des cristallisations, à des précipitations, à des fermentations. Il aura comme dans le cours des arts mécaniques, l'attention de commencer par les généralités qui sont communes à un grand nombre d'arts, et de réserver pour la fin de son cours les instructions relatives aux arts qui exigent des développements particuliers » (p. 525).

L'exposé diffère sensiblement de celui de la science chimique, et la marche logique du simple au complexe est par deux fois traduite : les substances simples par où l'on doit commencer ne sont pas des résidus d'analyse mais des matières premières de transformation dont on évoquera l'origine naturelle. La logique de décomposition et de classification du simple au complexe est déplacée des substances vers les opérations, du matériau vers le geste.

Après avoir traité de l'« *éducation des individus* », Lavoisier, dans une deuxième partie, pose le problème d'une politique de la recherche en termes d'instruction « *de la nation elle-même, prise collectivement, celle de l'humanité tout entière* » (p. 527). Il ne s'agit plus de transmettre des connaissances mais de les acquérir, de les augmenter, pour le profit de la société. Prenant l'Angleterre pour modèle, Lavoisier explique que la prospérité industrielle ne dépend pas des seules ressources matérielles mais aussi de l'avancement de la recherche scientifique, « *de l'emploi des facultés de l'esprit* » (p. 528). Il propose donc de créer un corps de chercheurs fonctionnaires, sans aucune charge d'enseignement, uniquement consacré à l'invention et à la publication, et de regrouper ses membres, pour faciliter l'interaction en « *assemblées communes, à des époques déterminées* ».

Ce projet, élaboré en août 1793, peut être lu comme une riposte circonstancielle au décret de fermeture des académies, puisqu'il reprend les arguments adressés à Lakanal dans les *Observations sur l'Académie des sciences*. Lavoisier y distinguait trois éléments de la puissance d'une nation : les ressources naturelles, l'industrie qui les met en mouvement et la science qui donne l'impulsion à tout le système. Cette hiérarchie étant posée, la seule question à examiner, dit Lavoisier, est celle de savoir dans quelle mesure les sociétés savantes contribuent aux progrès des sciences. Bref, l'utilité politique des sciences est indiscutable ; discutons politique scientifique. Et Lavoisier préconise un corps de savants salariés par la République, une recherche financée par l'État³¹.

On voit donc qu'en plus des transformations qu'il apporte à la théorie et à la pratiques chimiques, Lavoisier a renouvelé le problème de la liaison entre science et art en posant deux conditions : un nouveau type de formation et la professionnalisation de la recherche.

Dialogue rompu

Mais cette façon d'envisager les rapports entre science et arts ne fait pas l'unanimité dans l'école française de

chimie. Chaptal, partisan de la révolution chimique et auteur du premier traité français intitulé *Chimie appliquée aux Arts* (1807), dénonce un effet pervers de la chimie lavoisienne. Ayant la double casquette de professeur à l'École de santé de Montpellier et de manufacturier, Chaptal est sensible aux difficultés de communication entre les divers métiers de chimistes. Tout en adoptant la logique analytique du savant, il connaît celle du fabricant et s'inquiète du divorce entre laboratoire et atelier. Le *Discours préliminaire* balance entre les deux points de vue. Chaptal souligne d'abord les avantages qu'apporte la nouvelle chimie à la conduite des arts³². Elle n'est plus seulement un flambeau qui éclaire et perfectionne l'atelier, elle crée de nouveaux arts : blanchiment, aérostation, etc. Grâce aux principes généraux auxquels se ramènent toutes les opérations de chimie, elle permet de faire l'économie d'une description détaillée de chacun des procédés techniques. La chimie est « *devenue tout à coup une science centrale d'où tout dérive et vers qui tout se réunit* » (p.xij).

Mais cette chimie ne répond pas aux besoins du fabricant :

« *Le fabricant pourrait aisément compromettre sa fortune et sa réputation s'il réglait sa conduite, ou fondait ses spéculations, sur quelques résultats de laboratoire ou sur des apparences trompeuses. Ce n'est qu'avec la plus grande circonspection qu'on doit porter dans les ateliers les innovations, quelque avantageuses qu'elles paraissent* » (p. xv).

Chaptal encourage chez le manufacturier une attitude circonspecte et méfiante – que le théoricien qualifie d'entêtement ou de préjugé aveugle – parce qu'il estime que le chimiste de laboratoire ne maîtrise pas tous les paramètres dont dépend le succès d'une innovation industrielle : marché, main d'œuvre, approvisionnement en matière première... Chaptal souligne le « *pouvoir des localités* ». La prospérité d'une fabrique dépend d'une foule de petits détails circonstanciels : la composition particulière d'un minerai en tel lieu, la configuration du paysage, un microclimat... bref une « niche ». Si chaque industrie a son terroir, les principes généraux dégagés par le savant ne peuvent normer la pratique de production : « *Le chimiste propose, le fabricant juge et décide* » (p. xx).

En soulignant la spécificité irremplaçable du savoir des fabricants, Chaptal est en un sens plus proche de Venel que de son collègue Fourcroy. Comme son maître de Montpellier, il maintient une priorité du savoir-faire sur le savoir : « *ma conviction est que les lumières de la pratique doivent arriver après elle* » (p. l). Ce savoir, acquis par l'expérience et la familiarité, est un préalable obligé : « *J'ai voulu, en un mot, éclairer un artiste et je n'ai pas prétendu former un ouvrier ; j'ai constamment supposé que j'écrivais pour l'artiste qui exécute et non pour l'apprenti qui entre dans un atelier* » (p. xlix).

Le discours d'un professeur à l'École polytechnique comme Fourcroy n'est pas celui d'un provincial, professeur et manufacturier. La révolution chimique n'a pas suffi à établir un nouveau consensus sur les rapports entre science et arts ; elle semble, dans l'immédiat, avoir perturbé le dialogue et exacerbé les tensions.

1850 : UNE CHIMIE À DEUX FACES : PURE ET APPLIQUÉE

Résumons : dès le milieu du XVIII^e siècle, la littérature chimique évoque de nombreuses applications dont la visée peut être cognitive ou technique. Au début du XIX^e siècle celles-ci sont présentées comme des sortes d'accès-soires d'une science nouvelle et originale. Mais c'est seulement au XIX^e siècle que cette science est dite « pure ».

L'invention de la « chimie pure »

Quelle que soit l'importance de la soude, du blanchiment, des colorants... des industries chimiques, on aurait tort de caractériser le XIX^e siècle par le triomphe de la chimie appliquée. La multiplication des chaires de chimie, des journaux spécialisés et des sociétés savantes, bref le triomphe de la chimie pure sur la scène académique, est un phénomène aussi capital, qui touche tous les pays d'Europe.

Dans le cas de l'Allemagne, ce phénomène est lié à la réforme du système universitaire, inspirée, entre autres, par Humboldt et Fichte. Plus qu'une formation professionnelle utile à l'État, l'Université doit procurer une authentique culture scientifique et former à la recherche³³. La promotion de la chimie universitaire est dominée par la figure de Liebig. Pendant plus de vingt-cinq ans, de 1824 à 1852, dans son laboratoire-école de Giessen, il forme des chimistes qualifiés venus étudier du monde entier³⁴. Contre la conception baconienne et utilitaire de la science, Liebig défend la science pure et déclare que le degré de civilisation d'un peuple peut se mesurer par ses recherches pures³⁵. La réaction contre l'utilitarisme est un mouvement si affirmé que peu à peu dans la majorité des universités la chimie appliquée disparaît³⁶.

En Angleterre, malgré une importante école de recherche fondée par Thomas Thomson à Glasgow, c'est plutôt le modèle Liebig qui préside à la création du Royal College of Chemistry à Londres³⁷. Si les fondateurs invoquent les bénéfices de la chimie appliquée pour intéresser les industriels au financement de l'entreprise, très vite les professeurs orientent les cours vers la chimie pure. Dans un ouvrage intitulé *Science versus practice*, Bud et Roberts présentent la distinction entre pur et appliqué comme la pièce maîtresse d'une stratégie académique : « *The concepts of pure and applied science... justified the institutions and in turn they acquired institutionalized validity. Ironically the discipline of chemistry, promoted as intrinsically useful, prospered as a pure science* »³⁸.

En France, « pur » et « appliqué » sont aussi des catégories pédagogiques utilisées dans l'élaboration des programmes pour l'ouverture de nouveaux cours. Mais à la différence de l'Allemagne, l'Université joue un rôle mineur en France dans l'essor de l'enseignement de la chimie. On crée certes beaucoup de chaires de chimie mais peu dans les facultés de sciences. La chimie s'implante dans des établissements à vocations diverses : à l'École polytechnique lors de sa création, dans les écoles de

médecine, de pharmacie, d'agriculture, à l'École des mines, à l'École normale supérieure, au Conservatoire national des arts et métiers, à l'École centrale des arts et manufactures³⁹... La chimie se répand, elle s'« applique » au sens premier de ce verbe qui désigne une action de superposition d'où résulte le recouvrement d'un espace. Comme la peinture appliquée sur un mur, la chimie couvre un vaste champ du savoir. Loin de produire une chimie éclatée, diversifiée suivant les registres, ces multiples applications laissent dans l'enseignement une empreinte, une sorte de dénominateur commun aux diverses pratiques professionnelles de la chimie. Ce que l'on appelle « chimie appliquée » n'est souvent qu'un squelette de la chimie pure. Une rapide consultation d'une douzaine de manuels de chimie appliquée, publiés en France entre 1800 et 1850, montre que la chimie élémentaire constitue l'essentiel de ces ouvrages et que la description des procédés de fabrication des produits tels que l'acide sulfurique, la soude ou les chlorures décolorants est bien souvent réduite à quelques lignes. En outre, ce silence sur les techniques est plus marqué dans les ouvrages d'enseignement que dans les ouvrages de popularisation. Les descriptions techniques de procédés industriels sont plus abondantes dans le *Cours de chimie élémentaire et industrielle destiné aux gens du monde*, de Payen, ou dans les *Leçons de chimie élémentaire faites le dimanche à l'école municipale de Rouen*, de J. Girardin⁴⁰.

L'invasion de la chimie académique dans tous les domaines de la formation se traduit dans la carrière des chimistes par le cumul des fonctions ; pratique favorisée à Paris par la forte concentration d'écoles et d'instituts, et par la pauvreté des revenus des enseignants. Il n'est pas rare qu'un chimiste cumule trois ou quatre charges d'enseignement auxquelles s'ajoutent des postes dans l'industrie. Or dans la rhétorique des éloges académiques, ces savants cumulards sont dépeints comme chevaliers de la vérité méprisant honneurs et richesses. Plus les savants se répandent dans l'industrie, l'agriculture ou la politique, plus les éloges académiques exaltent une image bucolique du savant : personnage austère, humble, frugal, sans ambition⁴¹. Ainsi une nuance morale de pureté au sens de désintéressement se trouve-t-elle associée à la promotion de la chimie pure au XIX^e siècle.

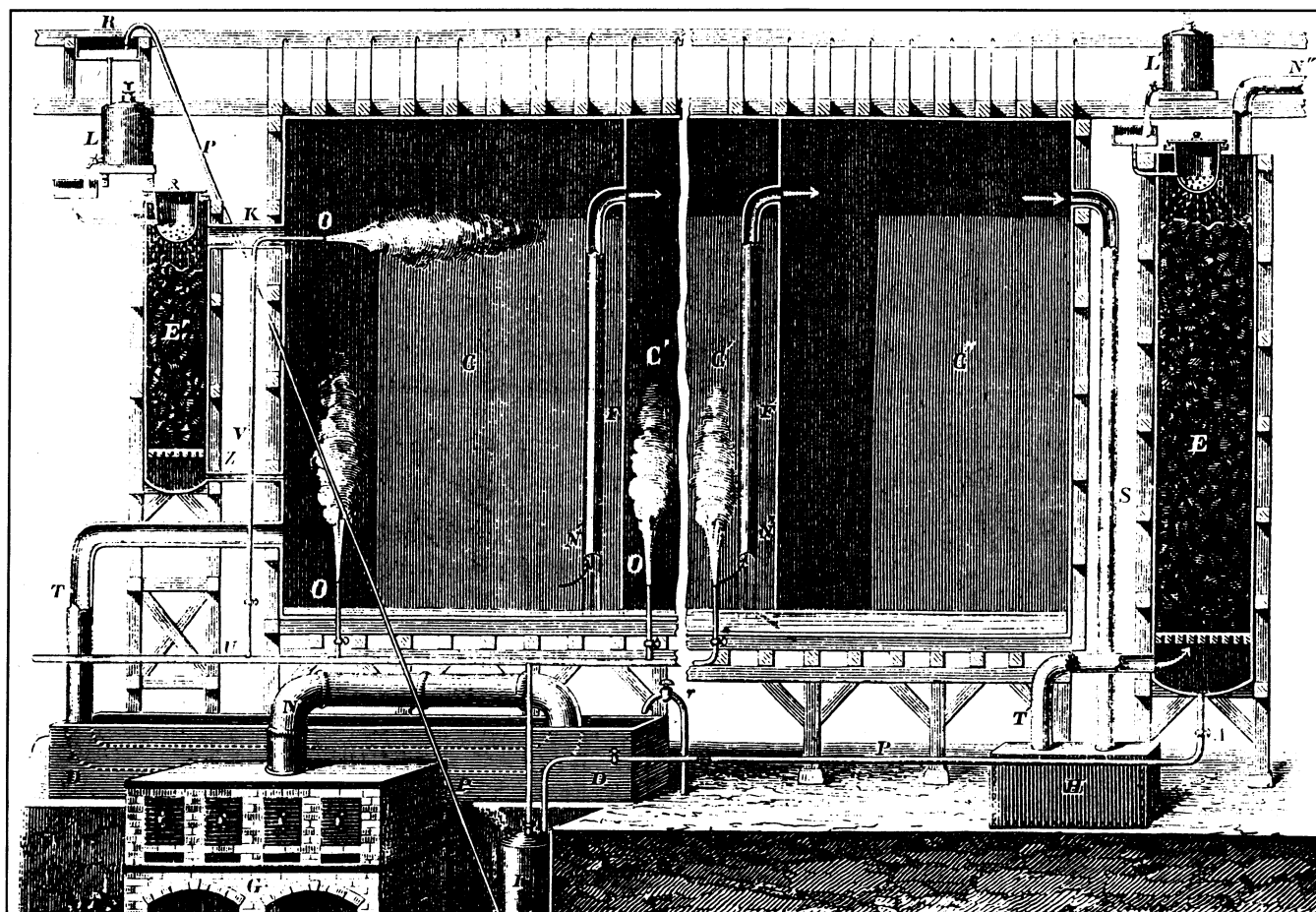
Au laboratoire comme à l'usine, des protocoles

Est-ce à dire que les concepts de chimies pure et appliquée sont une simple fiction pédagogique forgée pour servir une stratégie professionnelle ? Plus qu'un enjeu social ou un fétiche académique, la distinction semble correspondre à une évolution réelle des contenus cognitifs. Les chimistes professeurs ne se contentent pas d'exploiter l'utilité des arts chimiques pour promouvoir leur discipline, obtenir des chaires et des crédits. La perspective des applications oriente leurs recherches et leur enseignement vers l'acquisition de techniques d'analyse et de purification répondant à la demande industrielle – voire la devançant. A cet égard, les chimistes français semblent ouvrir la voie.

La carrière de Gay-Lussac illustre de manière exemplaire la transformation profonde de la théorie chimique induite par une liaison permanente entre des activités enseignantes et industrielles⁴². Il est professeur à la faculté des Sciences, à l'École polytechnique, membre de l'Académie des sciences, du Bureau consultatif des Arts et Métiers, directeur des *Annales de chimie et de physique*, puis professeur au Museum ; il occupe aussi de multiples fonctions dans l'industrie, au Bureau consultatif des Poudres et Salpêtres, au Bureau de garantie de la Monnaie, et surtout à Saint-Gobain où il devient président du conseil d'administration en 1839. Gay-Lussac se fait connaître aussi bien par des résultats fondamentaux comme la fameuse loi sur les volumes gazeux ou les études sur l'iode et le cyanogène que par des *Instructions* pour les praticiens. Cette double activité détermine un style de chimie. Dans la science pure, Gay-Lussac est avant tout un expérimentateur qui se tient à l'écart des discussions théoriques. Son travail essentiel consiste à perfectionner l'art de l'analyse en mettant au point de nouvelles méthodes quantitatives précises – la volumétrie, et surtout la titrimétrie qu'il applique à divers domaines tels que l'évaluation de l'argent, l'alcalimétrie, la sulfurométrie, la chlorométrie – essentielles pour l'industrie. Pure ou appliquée, la chimie de Gay-Lussac est une seule et même recherche qui vise l'analyse, la mesure, les contrôles fins. Pure ou appliquée, la chimie est avant tout un art expérimental qui exige la description de protocoles détaillés et qui s'apprend par le laboratoire.

Mais la carrière de Gay-Lussac montre également que l'interaction entre chimies pure et appliquée ne suffit pas pour créer une collaboration entre science et industrie. Après avoir contribué à l'essor de Saint-Gobain par une innovation technique importante dans la production de l'acide sulfurique – la « tour de Gay-Lussac » qui permet de récupérer les gaz nitreux, pour les faire servir à une nouvelle combustion du soufre, et donc de réduire la consommation de nitrates – Gay-Lussac est nommé président du conseil d'administration de la compagnie en 1844. Ce poste suprême lui donne cependant peu de pouvoir : Gay-Lussac est obligé de céder tous les droits sur ces brevets à Saint-Gobain qui s'arroge le monopole d'exploitation en France et négocie avec l'Angleterre. En 1847, invoquant des raisons de santé, Gay-Lussac offre sa démission. La réaction de la compagnie indique le genre de service que l'industrie française attend des savants : elle offre à Gay-Lussac une bonne indemnité et un poste honorifique en déclarant : « *A nos yeux, votre nom n'est pas moins utile que votre présence à la bonne marche des affaires*⁴³. » En dépit de sa prestance et de son infatigable activité, Gay-Lussac n'a pas réussi à créer les conditions d'une coopération entre recherche et industrie.

La carrière de son collègue allemand Liebig met en lumière, par contraste, une condition essentielle d'alliance : la formation d'une école de recherche. Là où un individu – si prestigieux soit-il – peut échouer, une armée de chimistes bien formés a toutes les chances de réussir. Poursuivant l'œuvre de Gay-Lussac, Liebig a perfectionné et simplifié les méthodes d'analyse élémentaire étendues aux composés organiques, notamment aux alcaloïdes,



grâce à la mise au point d'un appareil de combustion. Tous ces efforts pour simplifier et pour raccourcir les procédures d'analyse sont aussitôt transmis dans l'enseignement au laboratoire de Giessen. La pédagogie mise en œuvre par Liebig réactualise en plein XIX^e siècle un des thèmes favoris de Venel : la nécessité d'une familiarité avec l'expérience pour faire un bon chimiste. Faire et refaire chaque jour des expériences pour acquérir la maîtrise des opérations les plus fines et reconnaître les produits. Mais, chez Liebig, la familiarité s'acquiert selon un plan pédagogique avec un entraînement intensif : à raison de huit heures de travaux pratiques par jour, les étudiants s'initient à la recherche par un programme progressif d'exercices d'analyse quantitative, qualitative, et de manipulations d'appareils. Retrouvant les vertus de la relation maître-apprenti, Liebig se trouve constamment parmi ses élèves, menant ses propres recherches et confiant des travaux aux étudiants les plus avancés. Ainsi, des analyses délicates, jusque-là réservées à des expérimentateurs chevronnés, deviennent une routine. Les étudiants de Giessen – venus parfois d'Angleterre ou des États-unis – forment une pépinière de chimistes compétents aussi bien pour des recherches académiques que pour l'industrie. C'est ainsi que la chimie universitaire offre à l'industrie allemande un potentiel de main d'œuvre qualifiée qui précède en quelque sorte la demande ⁴⁴.

Coupe des trois chambres de plomb de la colonne de Gay-Lussac et de la dénitrante. Extrait des Merveilles de l'industrie de L. Figuier, Furne et Jouvet édit., Paris, 1873-1877, vol.1.

- G. Fourneau à soufre et à nitre.
- N. Tube conduisant les gaz sulfureux et hypoazotique dans le réfrigérant.
- DD. Réfrigérant.
- T. Tube amenant les gaz sulfureux et hypoazotique dans la première chambre.
- C. Première chambre ou premier tambour.
- C'. Deuxième chambre.
- C''. Troisième chambre.
- N' F, N'F'. Tubes de plomb faisant communiquer entre elles les chambre de plomb.
- S. Tube conduisant les gaz de la troisième chambre dans le réservoir condensateur H.
- H. Réservoir condensateur.
- T. Tube conduisant le gaz du réservoir condensateur dans la colonne de Gay-Lussac.
- r. Robinet alimentant d'eau courante le réfrigérant D.
- E. Colonne de Gay-Lussac.
- L'. Vase de Mariotte déversant de l'acide sulfurique faible dans la colonne de Gay-Lussac.
- N''. Tube évacuant dans la cheminée de l'usine l'air et gaz résidus de l'opération.
- APD. Tube amenant l'acide sulfurique chargé de gaz nitreux dans le monte-acide.
- I. Monte-acide agissant par la pression de la vapeur venant du tube U.
- PPR. Tube amenant l'acide du monte-acide dans le réservoir R, d'où l'acide coule dans la colonne dénitrante E', au moyen du vase de Mariotte L.
- E'. Colonne dénitrante.
- K. Entrée des vapeurs nitreuses provenant de la colonne dénitrante dans la première chambre C.
- Z. Retour de l'acide sulfurique débarrassé des vapeurs nitreuses dans la première chambre C.
- O, O. Jets de vapeur dans les chambres.



Un public pour la chimie appliquée

L'œuvre de Liebig met en relief un autre contraste entre Allemagne et France sur la destination de la chimie appliquée. Au début des années 1840, Liebig publie successivement deux ouvrages de chimie appliquée, traduits en plusieurs langues et très populaires⁴⁵. Pendant ce temps-là, J.B. Dumas publie un *Traité de chimie appliquée aux arts*, en huit gros volumes et un petit *Essai de statique chimique des êtres organisés*⁴⁶. Le traité, issu d'un cours à l'Athénée, expose d'une manière théorique l'ensemble de la chimie. Malgré un timide effort d'adaptation au niveau du plan, qui montre un compromis entre une classification des substances chimiques et un regroupement par familles d'industries, c'est de la chimie générale. Pour justifier cette orientation très académique, Dumas fabrique le public-cible de sa chimie appliquée en prenant position dans le débat de politique scolaire sur la part des sciences et des humanités classiques :

« Beaucoup de personnes trouveront que j'ai donné trop de détails de chimie pure, que j'ai eu tort de traiter les questions d'art d'une manière théorique, enfin que j'aurais dû éviter l'emploi des atomes. A tout cela je répondrai que ce livre s'adresse aux jeunes gens et non point aux fabricants déjà formés ; que mon intention n'a pas été de décrire la pratique des arts, mais bien d'en éclairer la théorie, et que ces détails scientifiques qui effarouchent les fabricants d'un certain âge ne seront qu'un jeu pour leurs enfants, quand ils auront appris dans leurs collèges un peu plus de mathématiques et un peu moins de latin, un peu plus de

physique ou de chimie et un peu moins de grec. » (p. viii).

L'*Essai de statique chimique des êtres organisés*, fruit d'une collaboration avec Boussiaingault, est le résumé d'un cours professé à l'école de médecine. Il aborde des problèmes vitaux pour l'agriculture – tels que la fixation des éléments minéraux par les plantes – dans le cadre d'une réflexion théorique sur les échanges entre le minéral et le vivant. Adoptant le style emphatique des leçons universitaires du XIX^e siècle, Dumas donne libre cours à son art des belles formules et développe une vision très poétique du cycle des éléments entre les règnes minéral, végétal et animal. Quant aux données quantitatives résultant d'expériences analytiques qui peuvent constituer une source d'informations pour le lecteur confronté à des problèmes agricoles, elles sont regroupées sous forme de documents annexes.

Tout autre est l'approche des mêmes problèmes par Liebig dans sa *Chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture*. Contrairement à Dumas, il fait de réels efforts d'adaptation à un public agricole. Tout en adoptant un plan induit par la question théorique générale des rapports entre le minéral et le vivant, Liebig aborde des problèmes très pratiques sur les rôles respectifs de l'humus et des minéraux pour favoriser la culture, et il s'intéresse tout particulièrement à la fixation de l'azote par les plantes. Son hypothèse – que la source de l'azote consommé par

Vue d'ensemble d'un laboratoire à l'école de physique et de chimie industrielle de la Ville de Paris, fondée en 1882. Extrait de la Nature, 10 mai 1884.

les plantes est l'air atmosphérique – est très vite démentie. Mais cela ne nuit pas à la popularité de l'ouvrage. Peu importe, en fait, la thèse que soutient Liebig ! Son succès tient moins à ce qu'il démontre qu'à la manière dont il le démontre. Sur chaque question abordée, il produit une série d'analyses systématiques – d'eaux de pluie, de sols, d'urines et d'excréments de bovins, de chevaux, d'hommes... A la fin de chaque démonstration, il donne des conseils pratiques aux agriculteurs. Il les présente clairement, en italiques, et les énonce parfois comme de véritables préceptes : « *Dans l'agriculture, le principe fondamental, c'est de rendre toujours à la terre, en pleine mesure, n'importe sous quelle forme, tout ce qu'on lui enlève par les récoltes et de se régler en cela sur les besoins de chaque espèce de plante en particulier* » (p. 264).

A chaque occasion, Liebig place un couplet sur les relations entre science et arts, scandant un invariable message : agriculteurs, vous ne pouvez vous passer des services d'un laboratoire de chimie. Fustigeant la folie des fermiers non avertis, Liebig prêche une nouvelle éthique agricole : « *Beaucoup de nos agronomes ressemblent aux anciens alchimistes ; car comme ceux-ci, ils cherchent la pierre philosophale, la semence merveilleuse qui puisse centupler les récoltes sans que le sol, à peine assez riche pour les plantes qu'ils y cultivent, reçoive d'autres substances nutritives. De véritables principes scientifiques les préserveraient sans doute de ces idées superstitieuses* » (pp. 233-234). Le savoir du chimiste répond à toutes les questions que pose la culture des plantes. Il donne la sagesse à l'agriculteur.

En fait, l'apport effectif de Liebig consiste surtout à expliquer – éventuellement corriger – des pratiques ancestrales de labourage, de jachère, d'assolement, de fumure, plâtrage, etc. Liebig sait bien que tant qu'elle ne produit pas d'engrais artificiels, la chimie n'a rien d'autre à offrir qu'un principe de conservation de la matière qui prescrit d'apporter à la terre toutes les substances nutritives qu'on lui enlève sous diverses formes. Mais, justement, Liebig utilise ce principe pour convaincre l'agriculteur qu'il a besoin d'analyses chimiques. C'est la technique d'analyse qui, selon Liebig, définit l'expertise du chimiste professionnel en matière d'agronomie, qui lui permet de ne pas s'en tenir, comme Dumas, aux formules générales, mais de donner une formule d'engrais adaptée à chaque situation particulière, à chaque terroir. Aussi Liebig peut-il transférer sur le chimiste de laboratoire la maîtrise du local, la connaissance du paysage qui, pour Chaptal, marquait la supériorité de l'homme de terrain⁴⁷.

Alors que pour Dumas la chimie appliquée reste un discours universitaire avec d'infimes concessions à un public plus large, Liebig fait de la chimie appliquée une œuvre de propagande pour la chimie professionnelle. Son attitude ressemble à celle de Pasteur créant le besoin d'un laboratoire de microbiologie dans les pratiques agricoles, industrielles et médicales⁴⁸.

Ouvertures sur le XX^e siècle

Que ces conceptions divergentes de la chimie appliquée aient eu des conséquences importantes sur les

industries allemande et française, c'est une question qui déborde les limites de cet article. Signalons seulement que dans la deuxième moitié du XIX^e siècle plusieurs villes françaises – Lille, Nancy, Mulhouse, Lyon – ouvrent des instituts de chimie destinés à former de véritables praticiens répondant à la demande des industries locales. La nécessité de dépasser la chimie appliquée « à la Dumas » au profit de la chimie industrielle est enfin clairement exprimée lors de la création de l'école municipale de Physique et de Chimie industrielle de la ville de Paris en 1882, et de l'ouverture en 1896 d'un laboratoire de chimie industrielle à la faculté des Sciences de Paris⁴⁹. Les mesures sont fructueuses puisque les publications françaises de chimie appliquée progressent de 600% et conquièrent droit de cité dans les vénérables *Annales de chimie et de physique*⁵⁰.

Mais quand, dans les années 1920, la France dispose enfin d'un potentiel de chimistes dans l'industrie, l'Union nationale de chimie lance un cri d'alarme, parce qu'elle craint que cette prolifération de chimistes praticiens ne discrédite l'image sociale de la chimie. Et l'on perçoit, au lendemain de la Première Guerre mondiale, les échos du débat mené au siècle des lumières, dans l'*Histoire de l'enseignement de la chimie en France*. Cet ouvrage de commande vise ouvertement à influencer la commission ministérielle chargée de la réforme de l'enseignement⁵¹. On propose d'éliminer les écoles médiocres, les instituts trop orientés vers la pratique professionnelle, afin de revaloriser le titre de chimiste. Et cet objectif conduit à redéfinir « à la française » les rapports entre chimie pure et appliquée : « *Il n'y a pas deux chimies. Il n'y a pas la chimie pure et la chimie appliquée. Il n'y a qu'une chimie. Les applications de la chimie sont l'extension à l'industrie des découvertes de la chimie pure. L'industrie est fille de la science* »⁵².

On voit donc que la distinction entre chimie pure et appliquée suit un parcours singulier, en France. Elle n'est pas mobilisée, comme en d'autres pays, au plus fort du combat pour la dignité encyclopédique de la chimie vers le milieu du XVIII^e siècle. C'est avec la conjonction de la révolution chimique et de la Révolution française que la distinction s'introduit en même temps qu'un nouveau langage : du savoir au pouvoir la conséquence est bonne.

Le partage de la discipline en chimie pure et appliquée correspond à une montée en puissance des professeurs, durant la première moitié du XIX^e siècle. Dans la plupart des enseignements en France, la chimie appliquée colle à la chimie pure et aux normes universitaires. Elle ne forme pas un nouveau savoir, pas même un nouveau public. Il y a une chimie que tous, savants, industriels et agriculteurs, doivent apprendre.

Cette indifférenciation entre chimie pure et chimie appliquée recouvre, en fait, une certaine indifférence aux contraintes techniques. La formule rhétorique si fréquente – que l'industrie est fille de la science – laisse entendre que la science, dans son mouvement propre, engendre naturellement, par surcroît, des progrès techniques. Or cette vision unilatérale peut produire un effet paradoxal de stérilisation, en bloquant l'avance de la science et de la technique. Par contraste, une différenciation nette entre les deux domaines pur et appliqué, comme chez Liebig par

exemple, semble plus favorable à une réelle interaction, à la formation de logiques communes de contrôle, standardisation, purification, rendement... qui suscitent des nouveaux concepts théoriques aussi bien que des innovations techniques.

Notes

1. Kant, *Premiers Principes métaphysiques de la Science de la Nature*, 1786, trad. J. Gibelin, Paris, Vrin, 1971, p.9 : « Aproprement parler, on ne peut appeler science que celle dont la certitude est apodictique ; une connaissance qui n'offre qu'une certitude empirique, n'est appelée qu'improprement savoir. La totalité de la connaissance qui est systématique peut déjà, pour cette raison, être appelée science et même science rationnelle si la liaison de la connaissance dans ce système constitue un enchaînement de raisons et de conséquences. Mais si finalement ces raisons ou ces principes sont, comme dans la chimie par exemple, simplement empiriques et si les lois, en vertu desquelles on explique par raison les faits donnés, ne sont que des lois d'expérience, ils ne comportent pas dans ce cas la conscience de leur nécessité (et ne sont pas certains apodictiquement) et au sens strict la totalité ne mérite pas le nom de science ; c'est pourquoi la chimie devrait s'appeler art systématique plutôt que science. »

2. E. Kant, *Doctrine du Droit*, 1797, trad. A. Philonenko, Paris, Vrin, 1979, pp. 81 et 89.

3. A. Comte, *Cours de philosophie positive*, 1830-42, Leçon 2, Paris, Hermann, 1975, pp. 45 à 48. « L'intelligence humaine, réduite à ne s'occuper que de recherches d'une utilité pratique immédiate, se trouverait [...] tout à fait arrêtée dans ses progrès, même à l'égard de ces applications auxquelles on aurait imprudemment sacrifié les travaux purement spéculatifs ; car les applications les plus importantes dérivent constamment des théories formées dans une simple intention scientifique, et qui ont été cultivées pendant plusieurs siècles sans produire aucun résultat pratique », p.46.

4. C. Meinel, « Theory or Practice ? The Eighteenth-Century Debate on the scientific status of chemistry », *Ambix*, 1983, 121-132, note 36, page 131 ; voir aussi « Reine und angewandte Chemie, Die Entstehung einer neuen Wissenschaftskonzeption in der Chemie der Aufklärung », *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, 8, 1985, pp.25-45. Sur les concepts chimiques au début du XVIII^e siècle, voir Pierre Duhem, *le Mixte et la combinaison chimique*, Paris, 1902 ; réédition Fayard, 1985.

5. Johann Gottschalk Wallerius, *Bref om Chemiens rätta Beskaffenhet, Nyttan och Wärde*, Stockholm, Uppsala, 1751 ; cité par Meinel, *Ambix*, 1983, p.126.

6. C. Chaptal, *Chimie appliquée aux arts*, Paris, 1807, 4 vol. Meinel situe dans l'*Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain* de Condorcet la première occurrence en langue française de l'expression science appliquée, en s'appuyant sur le passage suivant de Condorcet : « Il s'agit d'appliquer ces vérités à la pratique, et de déduire de la science l'art qui en doit être le résultat utile. » Mais ce texte ne contient pas encore le couple d'adjectifs « pur » et « appliqué », *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, p. 35.

7. Voir Hélène Metzger, « Introduction à l'étude du rôle de Lavoisier dans l'histoire de la chimie », *Archeion*, 14, 1932, pp.21-50 ; B. Bensaude-Vincent, « A founder myth in the History of Science ? The Lavoisier case », in L. Graham, W. Lepenies, P. Weingart (eds), *Functions and Uses of Disciplinary History*, Reidel, Dordrecht, Boston, 1983, pp. 53-78 ; H.G. Schneider, « The Fatherland of chemistry : early nationalistic currents in late eighteenth century German Chemistry », *Ambix*, 36, 1989, pp.14-21.

8. Le procédé peut être schématisé en trois phases : 1) traitement du sel marin avec de l'acide sulfurique ; 2) calcination du mélange de sulfate de sodium finement broyé avec du charbon de bois et du calcaire dans des proportions de 1 ; 1 ; 1/2 pour obtenir une masse de « soude brute » ; 3) filtrage, lessivage, évaporation, cristallisation pour obtenir, suivant la nature de l'opération du sel de soude, du sel noir, des cristaux de soude, ou de la soude caustique.

9. Dumas propose une première interprétation en 1830 qui postule la formation d'un oxy-sulfure de calcium. Unger suggère en 1847 que la vapeur d'eau joue un rôle déterminant. Ce que conteste Scheurer-Kestner, tandis que Kynaston et Gossage critiquent aussi la théorie de l'oxy-sulfure.

10. Lavoisier finançait ses recherches grâce à ses revenus personnels de fermier général, et Leblanc grâce au patronage d'un aristocrate, le duc d'Orléans.

11. H. Metzger, *les Doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle*, Paris, 1923, réimprimé 1969, Blanchard ; *Newton, Stahl, Boerhave et la doctrine chimique*, Paris, Alcan, 1930, réimprimé Blanchard, 1974. *La Philosophie de la matière chez Lavoisier*, Paris, Hermann, 1935 ; J.B. Gough, *Lavoisier and the Fulfillment of the Stahlian Revolution*, Osiris, 2nd Series, 1988, 4, pp. 15-34.

12. A. Anastasi, *Nicolas Leblanc, sa vie*, Paris, Hachette, 1884 ; J.B. Dumas, « Éloge de Nicolas Leblanc », in R. Jagnaux, *Histoire de la chimie*, T.2, Paris, 1891, pp. 102-110. P. Baud, *l'Industrie chimique en France*, Paris, Masson, 1932.

13. T.M Porter, « The Promotion of mining and the advancement of science : The Chemical Revolution of mineralogy », *Annals of Science*, 38, 1981, pp. 543-570. Anders Lundgren, « The Changing role of numbers in eighteenth century chemistry », in T. Frangsmyr, J.L. Heilbron, Robin Rider (eds), *The Quantifying Spirit in the Eighteenth Century*, California University Press, 1990, pp. 245-266.

14. Henry Guerlac, « Some French Antecedents of the chemical revolution », *Chymia*, 5, 1959, pp. 73-113.

15. P.J. Macquer, *Elémens de chymie théorique*, Paris, 1749 ; *Elémens de Chymie pratique, contenant la description des opérations fondamentales de la Chymie*, Paris, 1751, 2 vol. ; voir aussi Meinel, *Ambix*, 1983, p. 122.

16. D. Todericiu, *Constitution de la chimie des colorants en France ; le rôle exemplaire de la Société industrielle de Mulhouse*, thèse de doctorat d'État, Paris, 1985.

17. P.J. Macquer, *Prospectus et plan d'une description générale de l'art de la teinture*, Paris, 1782, et *Dictionnaire de Chymie*, Paris, Lacombe, 1766, 2^e édition, 1778.

18. C.L. Berthollet, *éléments de l'art de la teinture*, Paris, 1791 ; 2^e édition, 1804 ; rapport de Lavoisier, in *Œuvres*, T. IV, p.545. Voir aussi, Michelle Sadoun-Goupil, *Le Chimiste Claude Louis Berthollet 1748-1822*, Paris, Vrin, 1977 ; pp. 139-143.

19. G. Venel, article « Chymie », *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, 1^{re} édition, T. 3, 1753 ; reprint Stuttgart, 1966, pp. 408-437. Voir aussi J.C. Guédon, *Chimie et matérialisme : la stratégie anti-newtonienne de Diderot, dix-huitième siècle*, 11, 1979, pp.185-200 ; Isabelle Stengers et Judith Schlanger, *Les Concepts scientifiques*, Paris, éd. la Découverte, 1989, pp.24-40.

20. A. F. de Fourcroy, *Système des connaissances chimiques*, Paris, 10 vol., 1800, T.1, p. xxj.

21. C.G. Gillispie, « The Encyclopédie and the Jacobin Philosophy of Science : A study in Ideas and Consequences », in Marshall Clagett (ed) *Critical Problems in the History of Science*, The University of Wisconsin Press, Madison, 1959.

22. Guyton de Morveau, Lavoisier, Berthollet, Fourcroy, *Méthode de nomenclature*, Paris, 1787, in Lavoisier, *Œuvres*, T.V, Paris, Imprimerie Nationale, 1892, p.350. Voir M.P. Crosland, *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Dover Public. New York, 1962, 2nd ed. 1978. F. Dagognet, *Tableaux et Langages de la chimie*, Paris, Vrin, 1969.

23. L.-B. Guyton de Morveau, *Mémoire sur les dénominations chimiques, la nécessité d'en perfectionner le système, les règles pour y parvenir, suivi d'un tableau d'une nomenclature chimique*, Dijon, 1782. Voir B. Bensaude-Vincent, « A propos de Méthode de nomenclature chimique », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, n°6, 1983, pp. 1-36.

24. Lavoisier, in « Méthode de nomenclature », p.6.

25. Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie*, 1789, in *Œuvres*, T.1,

1862, pp. 136-137.

26. Dossier Lavoisier, Carton 1259, Archives de l'Académie des sciences de Paris. Voir aussi M. Daumas, *Lavoisier théoricien et expérimentateur*, Paris, 1955 ; E. Mc Donald, « The Collaboration of Bucquet and Lavoisier », *Ambix*, 13, 1966, pp.74-83 ; C.E. Perrin, « The Lavoisier-Bucquet collaboration : a conjecture », *Ambix*, 36, 1989, pp. 5-13.

27. Deux projets manuscrits, datés de décembre 1792, se trouvent dans le dossier Lavoisier, Carton 1260, archives de l'Académie des sciences.

28. Lavoisier, *Réflexions sur l'instruction publique présentées à la Convention nationale par le Bureau de Consultation des arts et métiers, suivies d'un projet de décret*, Août 1793, in *Œuvres*, T.IV, pp.516-540.

29. Lavoisier, *Sur la manière d'enseigner la chimie*, manuscrit sans date, archives de l'Académie des sciences, Carton 1259 ; mémoire transcrit in B. Bensaude-Vincent, « A view of the Chemical Revolution through contemporary textbooks : Lavoisier, Fourcroy and Chaptal », in *British Journal for the History of Science*, décembre 1990.

30. Lavoisier, *Réflexions sur l'instruction publique présentées à la Convention nationale par le Bureau de Consultation des arts et métiers, suivies d'un projet de décret*, Août 1793, in *Œuvres*, T.IV, pp.516-540.

31. Lavoisier, *Observations sur l'Académie des sciences*, *Œuvres*, IV, p. 617.

32. C. Chaptal, *Chimie appliquée aux Arts*, Paris, 1807, 4 vol.

33. R.S Turner, « The Growth of Professorial research in Prussia, 1818 to 1848, Causes and Context », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3, 1971, pp.137-182. K. Hufbauer, *The formation of the German chemical Community*, Berkeley, 1982.

34. R.S Turner, « Justus Liebig versus Prussian Chemistry. Reflections on early Institute-building in Germany », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 13, 1982, pp. 129-162; J.B. Morrell, « The Chemist breeders : The Research Schools of Liebig and Thomas Thomson », *Ambix*, 19, 1972, pp. 1-46.

35. J. Liebig, *Lord Bacon*, Paris, sans date, p.119.

36. Meinel, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte*, 8, 1985, pp. 40-42.

37. D.S.L Cardwell, *The Organisation of Science in England*, London, Heineman Educational Book, 2nd ed. 1972 ; voir aussi Morell op. cit (31).

38. R.F. Bud, G.K. Roberts, *Science versus Practice, Chemistry in Victorian Britain*, Manchester University Press, 1984, p. 16.

39. R. Fox and G. Weisz, *The Organisation of Science and Technology in France, 1800-1914*, Cambridge University Press, 1980. Voir T. Shinn, « The French Science Faculty System, 1808-1914: Institutional Change and Research Potential in Mathematics and the Physical Sciences », *Historical Studies in the Physical Sciences*, 10, 1979, pp. 271-333.

40. Voir R. Christophe, *Guide des sources concernant la formation des ouvriers des métiers et industries chimiques (1750-1870)*, Chambre Syndicale des Industries chimiques d'Ile-de France et CRHST de la Cité des Sciences et de l'Industrie, 1989. Payen, *Cours de chimie élémentaire et industrielle destiné aux gens du monde*, Paris, 1832-33, 2 vol. En 1849 Payen publie également un *Précis de chimie industrielle*, Paris, Hachette, réédité jusqu'en 1877. Les *Leçons* de J. Girardin, publiées en 1835, sont aussi rééditées sept fois jusqu'en 1877, et, à partir de la troisième édition, le titre devient *Leçons élémentaires de chimie appliquée aux arts industriels*.

41. Voir Dorinda Outram « The language of power : the Eloges of Georges Cuvier and the public language of the nineteenth century science », *History of Science*, 14, 1976, pp. 153-187 ; C.B. Paul, *Science and Immortality : the Eloges of the Paris Academy of Science (1699-1791)*, California University Press.

42. M.P. Crosland, *Gay-Lussac, scientist and bourgeois*, Cambridge University Press, 1978 ; voir aussi *Actes du Colloque Gay-Lussac*, 11-13 décembre 1978, École polytechnique, Palaiseau, 1980.

43. A. Thépot, « Gay-Lussac et la compagnie de Saint-Gobain », *Actes*

du Colloque Gay-Lussac, pp. 241-253.

44. J.B. Morell, *Ambix*, 19, 1972, pp. 1-46 et R.S. Turner, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 13, 1982, pp. 129-162.

45. J. Liebig, *Chimie appliquée à la physiologie végétale et à l'agriculture*, trad. Charles Gerhardt, 1840 ; 2^e éd. 1844. L'édition allemande, *Die Organische Chemie und ihre Anwendung auf Agricultur und Physiologie*, Brunswick 1840, est rééditée neuf fois jusqu'en 1876. On compte en outre quatre éditions anglaises ; *Chimie appliquée à la physiologie animale et à la pathologie*, trad. Gerhardt, Paris 1842. Voir M. Rossiter, *The Emergence of agricultural Science : Justus Liebig and the Americans, 1840-1880*, Yale University Press, 1975.

46. J.B. Dumas, *Traité de chimie appliquée aux arts*, Paris, 8 vol. et atlas, 1828-1846 ; *Essai de statique chimique des êtres organisés*, Paris, 1842, reprint Bruxelles, Culture et civilisation, 1972.

47. « Lorsque l'agriculteur, sans se diriger par de véritables principes scientifiques, se livre à des expériences pour rendre ses terres propices à une plante qu'elle ne porte pas autrement, il n'a qu'une faible chance de succès. Des milliers d'agriculteurs font de semblables essais dans tous les sens ; ils finissent par un certain nombre d'expériences pratiques qui, réunies, forment une méthode de culture par laquelle, il est vrai, on atteint quelquefois, pour une seule localité, le but proposé ; mais cette méthode fait déjà défaut au plus proche voisin et ne présente aucun avantage pour d'autres contrées. Quelle quantité prodigieuse de temps et d'argent se perd ainsi, si l'on néglige de suivre la voie prescrite par la science ! » (p. 182). Malgré ses principes scientifiques, Liebig a essayé un échec cuisant dans ses essais d'agriculture expérimentale en Angleterre. Mais on peut toujours incriminer la pluie, le vent, la sécheresse. Les chimistes qui contrôlent les réactions dans l'univers aseptisé du laboratoire auront toujours raison, en rejetant la faute sur les mauvaises conditions atmosphériques. L'air, la terre, la nature sont des laboratoires chimiques à grande échelle que perturbent de temps en temps les météores. C'est à ce prix que l'on peut traiter l'agriculture comme simple application d'un savoir venu d'ailleurs.

48. Voir B. Latour, *les Microbes, guerre et paix*, Paris, A. Métailié 1984. Dans *la Chimie appliquée à la physiologie animale et à la pathologie*, Liebig soutient des positions radicales. Il traite la physiologie de science décadente qui ne trouvera son salut que par la chimie et ses laboratoires (T.1, p. lxxxij). Il reconnaît cependant qu'à l'heure actuelle la chimie n'a pas beaucoup d'applications directes et son pouvoir d'explication est encore limité.

49. T. Shinn, « Des corps de l'État au secteur industriel: genèse de la profession d'ingénieur, 1750-1920 », *Revue française de sociologie*, 19, 1979, pp. 39-71 ; « Des sciences industrielles aux sciences fondamentales, la mutation de l'École supérieure de physique et de chimie », *Revue Française de Sociologie*, 22, 1981, pp. 167-182. A. Grelon, « les Universités et la formation des ingénieurs en France (1870-1914) », *Formation-Emploi*, n° 27-28, pp. 65-88.

50. T. Shinn, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 10, 1979, p. 329.

51. René Sordes, *Histoire de l'enseignement de la chimie en France*, Paris, 1928 ; préface de Georges Urbain.

52. Rapport Marquis au congrès de L'Union nationale de chimie, 28 mai 1920, cité par R. Sordes, *Histoire de l'enseignement de la chimie en France*, pp. 169-170.