

L'enseignement de la chimie à l'École polytechnique de 1836 à 1880

par J. FOURNIER*

Professeur à l'Université d'Angers

Centre Régional d'Étude des Produits Agropharmaceutiques
8, rue Becquerel - 49070 Beaucouzé

RÉSUMÉ

Plusieurs manifestations ont marqué cette année le bicentenaire de l'École polytechnique. A l'occasion de cet anniversaire nous nous sommes interrogés : de Gay-Lussac et Thénard, à Lemoine et Colson qui étaient professeurs de chimie à l'École polytechnique, respectivement en 1830, et au début du siècle suivant, l'enseignement de la chimie a-t-il décliné ? Si l'épanouissement de l'industrie des colorants de synthèse, par exemple, est dû, comme on le répète, aux avancées théoriques dans le domaine de la chimie organique, à quel moment les savants et les maîtres français ont-ils manqué d'idées organisatrices, et échoué dans leurs tâches de formation ? N'est-ce pas pour des raisons qui ne sont pas d'abord scientifiques que l'industrie chimique se développe mieux hors de France dans la deuxième moitié du XIX^e siècle ?

INTRODUCTION

Qu'est-ce qui a justifié, en France, la création d'écoles d'ingénieurs spécialisées en chimie, à côté des écoles et universités existantes, pour répondre aux besoins de cette industrie, à la fin du XIX^e siècle ? Qu'est-ce qui, dans l'enseignement de la chimie donné à l'École polytechnique, était de nature à éloigner les élèves des métiers de la chimie ? Un examen de l'évolution de l'enseignement et de la qualité scientifique des professeurs de chimie à l'École polytechnique pouvait fournir quelques éléments de réponse à ces interrogations. Pour cela nous avons cherché comment et sur quels points les travaux scientifiques des professeurs de chimie de l'École polytechnique ont contribué

* Les noms des chimistes qui ont eu des fonctions à l'École polytechnique sont signalés en italique.

aux avancées scientifiques, technologiques, et culturelles de ce demi-siècle, nous nous sommes intéressés aux débats idéologiques auxquels ils ont participé et qui ont influencé leurs objectifs d'éducateurs.

L'examen d'un tableau chronologique [1] montre qu'entre 1830 et 1880, les savants français tiennent une place honorable dans la **construction des théories scientifiques en chimie organique**, mais l'électrochimie, l'analyse par voie physique, et la thermodynamique chimique se développent surtout hors de France.

Dans le même temps **des avancées technologiques** [2] changent les modes de pensée et de production de la chimie. Les savants conseillent les producteurs, rédigent des livres de cours, fondent des écoles ; les chimistes inorganiciens participent à l'aventure industrielle [3], tandis que les chimistes organiciens l'accompagnent plutôt de l'extérieur, depuis les manufactures de l'État et dans les sociétés industrielles ; les premiers augmentent leurs revenus par des ressources venues discrètement de l'industrie, les seconds cumulent en toute honorabilité les postes académiques.

Les industriels ont à résoudre des problèmes nouveaux [4]. La chimie devient industrielle et internationale.

Les marchés de masse (agriculture, textile) ne correspondent pas au goût de la société française [5 à 9], et les matières premières [10] font défaut (les aromatiques sont produits par les cookeries, et le premier four à coke français n'a été installé qu'en 1854). Hors de France, au contraire, des laboratoires de recherche industriels s'organisent, l'industrie se préoccupe des marchés, et s'associe à des banques pour investir, la mécanisation se développe en vue de la production de gros tonnages, on perfectionne des dispositifs de chauffage, et de pressurisation, on diversifie les matériaux. Le contrôle par l'observation (couleurs, fumées) est remplacé par un contrôle à base de mesures physiques. Majoritairement les universitaires français, se désintéressent de ces développements.

L'enseignement scientifique et technologique est évidemment conditionné par **les grands courants de pensée** de la période, qui influencent les intellectuels, inspirent la politique, et divisent les scientifiques [11]. Ainsi le 18 mars 1848, Cahours écrit à Gerhardt : «J'espère, mon bon ami, qu'il s'est passé de grands événements depuis trois semaines ; que de figures allongées, que de coeurs maudissent la

République, alors que les lèvres grimacent le sourire de la satisfaction et s'ouvrent pour faire de beaux discours en faveur du nouvel ordre de choses... Ici tous les gros bonnets songent, plus que jamais, à garder leurs places... la République, il faut l'espérer, va se trouver bientôt consolidée... La politique doit absorber trop les esprits pour qu'on puisse s'occuper de sciences d'une manière sérieuse,... vous portez-vous comme candidat ?»

Les élèves de l'École polytechnique avaient pris part aux journées des 27, 28 et 29 juillet 1830 (mort de l'élève Vanneau). Les dix premières années du règne de Louis-Philippe furent marquées par des émeutes nombreuses, l'agitation du dehors gagna souvent les élèves. En 1848, ils acclamèrent majoritairement la république. En 1870, ils participèrent à la défense de Paris et du territoire.

Auguste Comte (1798-1857), polytechnicien, fut secrétaire de Saint-Simon et devint son disciple avant d'élaborer son propre système dans un «Cours de philosophie positive» en six volumes qu'il professa à l'École de 1831 à 1842. Dans le «Système de Politique positive» (1854), il prétend instituer une «religion de l'Humanité». Sa doctrine a eu une grande influence sur les scientifiques, elle a conduit quelques chimistes officiels, à interdire à la communauté scientifique, l'élaboration et l'usage de systèmes de représentation de la matière qui ont été des moteurs de la pensée scientifique (système atomique).

Tout au long de la période, l'histoire est à la mode et devient scientifique. Sous la monarchie de Juillet, des instruments de travail sont mis au service des chercheurs. La mode gagne les chimistes qui contribuent à la conservation du patrimoine et écrivent l'histoire de leur discipline (*Dumas, Chevreul, Grimaux...*).

Les chimistes de l'École polytechnique sont plutôt républicains et libéraux ; individualistes, ils ont des convictions religieuses sans prosélytisme ; ils sont dotés d'une solide culture classique, et dans l'exercice même de leur profession ils fréquentent ou sont eux-mêmes des artistes (*Regnault*).

LA CHIMIE À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE 1836 À 1880

Les hommes, le cadre : un examinateur de sortie note les élèves et évalue l'enseignement ; trois examinateurs de chimie seulement se succèdent entre 1821 et 1884 ; c'est d'abord *Eugène Chevreul* (1786-

1889) qui de 1821 à 1851 tient cet emploi trente ans, *Auguste Cahours* lui succède jusqu'en 1871, il y reste vingt ans, il avait été répétiteur dix ans de 1841 à 1851. *François Cloëz* (1849-1872) remplace *Cahours*, de 1872 à 1884 (douze ans), il était répétiteur depuis vingt-trois ans. Ce sont des hommes de prestige, indépendants, dans l'orbite de *Chevreul*, la tradition remontait donc aux origines de l'École, depuis les fondateurs, *Fourcroy* et *Vauquelin*, ses prédécesseurs au *Muséum*.

La fonction de répétiteur est une position d'attente pour des protégés qui espèrent un poste plus important ; jusqu'en 1836 il n'y a que deux répétiteurs de chimie, apparaissent ensuite des répétiteurs adjoints, sans salaire.

Les professeurs sont toujours deux. On voit se maintenir des relations privilégiées entre les professeurs de chimie du *Muséum* d'Histoire naturelle et ceux de l'École polytechnique pendant un demi-siècle. Jusqu'à *Grimaux*, tous sont académiciens ; à l'exception de *Frémy* cette distinction est intervenue avant leur nomination comme professeur à l'École polytechnique. *Gay-Lussac*, *Thénard*, *Dumas*, et *Pelouze*, ont aussi exercé des fonctions politiques.

La chimie occupe un semestre dans chacune des deux années. Jusqu'en 1851, le cours de chimie générale en première année, et le cours de chimie appliquée en seconde année, sont donnés par deux professeurs différents. Après 1851, le professeur suit une promotion. A partir de 1846, les manipulations font l'objet d'une évaluation. La part de la chimie pour le classement de sortie oscille entre treize et quatorze pour-cent. L'examen de sortie est oral. *Thénard* travaillait dans les laboratoires du Collège de France où il avait remplacé *Vauquelin* en 1804. *Dumas* a eu un laboratoire à l'École polytechnique de 1824 à 1839, *Pelouze* avait ouvert un laboratoire privé, et *Regnault* effectuait ses recherches au Collège de France. *Cahours* avait un laboratoire à l'École Centrale, il semble qu'il se soit installé à l'École polytechnique vers 1865 ou après sa nomination comme professeur. En 1825 on avait construit de nouveaux laboratoires pour les élèves, puis en 1841-1842 un nouvel amphithéâtre de chimie. En 1880, les laboratoires des professeurs «sont dans un état d'infériorité très marqué à l'égard des laboratoires des divers établissements scientifiques à l'étranger».

Les programmes de chimie sont marqués par un développement continu de la chimie organique. Divers rapports soulignent que le volume et la complexité des connaissances s'accroissent, ils regrettent

que les élèves montrent plus de facilités et de goût pour la théorie que pour la pratique, ils répètent que le temps donné à la chimie est insuffisant, parce que ses progrès récents n'intéressent pas les délégués des écoles d'application. En 1880, *Cahours* appuie son cours sur le classement des corps organiques en familles ou séries, ce qui permet, dit-il, à «un élève n'ayant qu'une mémoire assez médiocre» de «retenir les traits les plus saillants de leur histoire».

Jusqu'en 1847, la chimie n'est pas au programme du concours d'admission. Le 1er juin, on décide qu'une question de la composition de physique sera remplacée par une question portant sur les propriétés des corps simples non métalliques, puis en 1855, tous les non-métaux passent au programme. Par suite, en 1860, le programme de deuxième division s'allège d'un quart des leçons, on y transporte les chaux (oxydes métalliques), mortiers, poteries et poudres. De juin 1850 à 1852, une Commission mixte est chargée de préparer de nouveaux programmes pour l'École, ils seront approuvés par un décret du 1er novembre 1852. Déjà en 1848, on avait réduit le cours sur les métaux, et abandonné les «procédés primitifs» d'analyse de *Gay-Lussac* et *Thénard*. La Commission est présidée par *Thénard*, mais c'est Le Verrier qui y joue un rôle déterminant. La chimie est reconnue pour une science «essentiellement expérimentale». On décide de remplacer le cours de chimie générale et celui de chimie appliquée aux arts, donnés par des professeurs différents, par un seul cours dans lequel les applications suivent immédiatement la théorie. On renvoie les bases de l'électrochimie (pile, série d'oxydation des métaux), de la thermodynamique et de l'analyse spectrale dans le cours de physique, avec l'étude de l'électricité, de la chaleur et de la lumière. *Regnault* assure qu'on va perdre en cohérence et qu'on ne répondra plus qu'aux besoins des militaires, Le Verrier répond : «Monsieur *Regnault* a raison comme chimiste, mais encore une fois, le temps manque».

Des échanges existaient entre les professeurs de chimie des divers établissements d'enseignement supérieur. La faculté des sciences avait été créée en 1808. Les relations avec l'École polytechnique sont nombreuses, *Thénard* et *Gay-Lussac* y enseignaient. *Gay-Lussac* et *Frémy* étaient professeurs au Muséum, *Thénard* et *Pelouze* au Collège de France, où *Regnault* enseignait la physique. En 1829, *Dumas* avait contribué à la création de l'École centrale de Paris pour former des ingénieurs civils, chefs de manufactures et constructeurs, professeurs de sciences appliquées et négociants, en mettant l'accent sur les aspects

industriels de la chimie. L'Institut agronomique fut ouvert en 1876, Grimaux obtint au concours la chaire de chimie générale.

A *Louis-Jacques Thénard* (1777-1857), avait succédé en 1836 *Jean-Baptiste Dumas* (1800-1884). *Théophile-Jules Pelouze* (1807-1867), élève de *Gay-Lussac*, avait remplacé *Dumas*, démissionnaire après deux ans, puis il avait laissé la place à *Edmond Frémy* (1814-1894) en 1846. *Frémy* est resté à ce poste jusqu'en 1884. *Henri-Victor Regnault* (1810-1878) avait remplacé *Gay-Lussac* en 1840, c'est *André Thomas Auguste Cahours* (1813-1891) qui prend sa succession de 1871 à 1881.

Dumas a été un chef d'école, accueillant dans son laboratoire de nombreux chercheurs français et étrangers. En 1826, il avait mis au point une méthode de mesure des densités gazeuses en vue d'appliquer au calcul des masses atomiques l'hypothèse d'Avogadro-Ampère (1811-1814). La classification des corps simples non métalliques, fondée sur des analogies de propriétés et sur leurs combinaisons avec l'hydrogène, qu'il avait proposée en 1827, a servi de principe organisateur dans l'enseignement pendant plus d'un demi-siècle jusqu'à ce qu'elle soit englobée dans la classification périodique de Mendeleïev. On doit à *Dumas* et à ses élèves les notions de radical, de fonction chimique, de série homologue, et les théories des substitutions et des types en chimie organique. Il a contribué à répandre l'usage des symboles et des équations chimiques. A l'Université, il a mené avec *Thénard* une politique active pour institutionnaliser la soutenance de thèses. Très critique envers les idées de *Liebig*, il ne reconnut pas les besoins des plantes en phosphore, c'est à son influence qu'on attribue le retard de la France à produire des superphosphates pour l'agriculture.

Pelouze avait un laboratoire privé, ses travaux sur les nitrations de polyols, cellulose et glycérol, ont ouvert le champ des explosifs.

Regnault fut le premier président de la Société française de photographie, il a su y rassembler une collection d'épreuves qui constituent aujourd'hui un fonds d'archives irremplaçable sur la photographie naissante. Ses recherches sont un relais important dans l'étude des gaz. Ses mesures de densités gazeuses ont été utilisées par *Gerhardt* [12] pour établir les formules en notation atomique. Il a accueilli dans son laboratoire *Cannizzaro* qui s'est servi des mesures de capacités calorifiques de *Regnault*, associées à la loi de *Dulong* et *Petit*, pour tenter de faire adopter à Karlsruhe en 1860 la loi d'Avogadro-Am-

père. William Thomson (futur Lord Kelvin) était aussi passé par le laboratoire de *Regnault*. Adhérant aux idées positivistes, et ne sachant interpréter les anomalies qu'il observait, *Regnault* témoignait d'un scepticisme envers les théories qui transparait dans son cours.

En 1844, *Cahours* avait fait paraître un gros mémoire, publié dans le Recueil des Savants étrangers, sur l'extrait de fleurs d'une plante de la famille des bruyères (*Gaultheria procumbens*), il en avait isolé un produit dont il avait fait la synthèse, et il avait prouvé son identité avec le «salicylate de méthylène» (salicylate de méthyle). En 1845 il avait soutenu une thèse de doctorat sur les densités de vapeur, il soupçonnait que les anomalies rencontrées par *Dumas* dans le cas de l'acide acétique pourraient provenir d'une «action condensante» qui devait «s'affaiblir à mesure qu'on élèverait la température», et il obtint en effet des nombres conformes à la théorie à partir de «cent vingt degrés au-dessus du point d'ébullition». Il étendit l'explication aux «acides formique (méthanoïque), butyrique (butanoïque), valérique (pentanoïque), d'anis et de rue». On sait que les acides s'associent en dimères par liaison hydrogène, conduisant à des valeurs trop grandes de la densité de vapeur au voisinage de la température d'ébullition, et variables avec la température. Il interpréta les anomalies de densité de vapeur du pentachlorure de phosphore par sa dissociation en trichlorure de phosphore et dichlore. Ce sont les premières études quantitatives de l'influence de la température sur les équilibres chimiques. En outre, ces travaux restituaient à la loi d'Avogadro-Ampère toute sa crédibilité. Armand Gautier dira que les travaux de *Cahours* sur les densités de vapeur anormales ont été «l'un des plus solides arguments en faveur de la théorie d'Avogadro». Il a mis au point des méthodes de synthèse, sulfonation et perchloration, qui sont passées dans la pratique courante des chimistes. Après le toluène, *Cahours* découvrit le xylène en 1850, dans les huiles légères issues de la distillation du bois, et en 1864 avec *Pelouze*, un grand nombre d'alcane nouveaux dans les pétroles d'Amérique. En 1852-1853, il inventa avec Riche les organostanniques et en 1860, il étendit ces recherches à des organométalliques dérivés du magnésium, de l'aluminium et de l'étain. Par l'intermédiaire de Frankland [13] chez lequel il avait rencontré Hofmann, et par l'école anglaise de Williamson, ses travaux ont contribué à inspirer à Kekulé sa théorie de la valence. *Etard* attribue à *Cahours*, l'écriture, dès 1844, de «la première formule de constitution fonctionnelle» à propos du salicylate de méthyle, dans laquelle il fait apparaître les différents groupes, $C^{12}H^4$ pour le noyau, HO^2 pour l'hydroxyle, $C^2O^4(C^2H^3)$ pour la chaîne, en notation équivalente (C = 6 et O = 8). Après le décès

de *Cahours*, *Grimaux* estime que «ce sont ses recherches... qui ont permis d'établir la théorie de la série aromatique...» ; par l'étude des densités de vapeur «...Il fit disparaître la contradiction...» ; parlant de ses recherches sur les organométalliques, «c'est l'une des premières formes définies de la doctrine de la valence des éléments... <qui> devait permettre d'établir des formules de constitution... si *Cahours* n'a pas été le créateur de la théorie de la valence des atomes, il a largement contribué à son établissement par ses travaux... marqués au coin d'un esprit philosophique et généralisateur». *Grimaux* explique par sa modestie, et par la nature de ses recherches, que *Cahours* n'ait pas été un grand réformateur : «...d'une grande timidité», «d'une rare modestie», «il n'aimait pas se mettre en avant, il n'avait pas l'art de faire valoir ses travaux, de montrer lui-même quelle en était l'importance ; il était heureux de découvrir des vérités nouvelles... il laissait le soin d'apprécier son oeuvre à ceux qui travaillaient dans la même branche de la science chimique. De plus il n'attachait pas son nom à la découverte d'un de ces faits que tout le monde, chimiste ou non, peut comprendre et qui par suite sont estimés au delà de leur importance». Rares sont les étudiants en chimie qui n'ont pas eu à faire un exercice portant sur l'équilibre de dissociation du pentachlorure de phosphore. La chloration par ce réactif, et la sulfonation font partie des connaissances méthodologiques de base des chimistes ; même si l'on ignore aujourd'hui qu'on les doit à *Cahours*, ses travaux ne sont donc pas restés stériles. *Cahours* est cité dans plusieurs ouvrages français et étrangers jusqu'à la seconde guerre mondiale. Les renommées découlent aussi de l'amplification que la communauté scientifique accorde aux auteurs : après la disparition de ses «protecteurs» (*Chevreul* 1889, *Dumas* 1884), cet homme «modeste» a été «oublié», tandis que ses travaux passaient dans le «bagage» commun des chimistes. Enfin *Grimaux* ignorait le développement qu'allait connaître avec l'aspirine (1899) la série de l'acide salicylique dont *Cahours*, le premier, avait vu le caractère bifonctionnel.

Les cours de chimie : lorsqu'il cherche à *définir la chimie*, *Thénard*, sous l'influence de *Berthollet*, porte l'accent sur les facteurs de la réaction chimique. *Dumas* exprime le besoin de lois générales, et vise la formation de chercheurs. *Pelouze* et *Frémy* distinguent les phénomènes physiques des phénomènes chimiques : les seconds «...sont caractérisés par des altérations profondes dans la constitution des corps... Le physicien, au contraire, porte son attention sur la chaleur, la lumière et l'électricité...». *Regnault* sépare les phénomènes «au contact des corps» qui sont l'objet de la chimie des «actions à distance»

qui sont celui de la physique ; la chimie reste une science descriptive, elle analyse et elle fait l'inventaire de la matière. *Cahours* définit la chimie par la constitution de la matière, les réactions chimiques ne sont qu'un moyen méthodologique de parvenir à cette connaissance, il insiste sur la complémentarité de la physique et de la chimie. Il distingue la chimie des «sciences descriptives qui constituent l'histoire naturelle».

Jusqu'à *Pelouze*, la chimie organique, divisée en chimie végétale et chimie animale, est une série de monographies. *Frémy* et *Cahours* **organisent le cours** autour de la théorie des types énoncée par Gerhardt. A l'époque de *Thénard* (1817), «le nombre des corps pondérables simples est de quarante-huit», à celle de *Cahours* (1860) «Les corps simples sont au nombre de soixante-deux». A partir de *Dumas*, les métalloïdes sont classés en quatre familles, ces regroupements reposent sur la nature de leurs combinaisons avec l'hydrogène, notons que c'est déjà une première approche de la notion de valence. *Cahours* (1860) ajoute à ce classement une observation intéressante sur l'évolution des propriétés dont il attribue l'idée à *Chevreul* : «En marchant du chlore vers le potassium, corps qui présentent les dissemblances les plus tranchées, nous passons par une série non interrompue...».

Suivre l'évolution de la formation polytechnicienne, en matière de **théorie moléculaire** et de **notation atomique**, est d'autant plus nécessaire pour notre propos, que l'on prête à Hofmann l'idée suivante, presque unanimement acceptée aujourd'hui dans les milieux scientifiques :

«C'est aux doctrines atomiques sans conteste, et à elles seules, que sont dûs les surprenants progrès de la chimie, durant ces cinquante dernières années ; et, si le développement de la chimie organique en France a été moins rapide qu'en Allemagne, cela est dû, certainement en grande partie à l'opposition acharnée qu'ont faite, à l'introduction des théories nouvelles dans l'enseignement, certains savants influents» [14]. Tous les cours, de *Dumas* jusqu'à *Grimaux*, sont rédigés dans le système des équivalents. Pourtant le prédécesseur de *Dumas*, *Thénard*, présentait avec des détails la théorie atomique. Il distinguait les molécules intégrantes, et les molécules constituantes. Pour comprendre la querelle qui va opposer les atomistes aux équivalentistes pendant plus d'un demi-siècle, il faut se garder d'assimiler les molécules constituantes à nos atomes. Les molécules d'oxyde de calcium (CaO) et de trioxyde de soufre (SO_3), qui s'unissent pour donner le sulfate de calcium (CaSO_4) (corps composé) sont des molécules constituantes de celui-ci,

de même les molécules de chlore et d'hydrogène sont les molécules constituantes du chlorure d'hydrogène (corps composé). Des molécules de chlore (corps simple), on ne peut extraire que du chlore, dans ce cas molécules intégrantes et constituantes sont donc confondues. Cependant, Ampère avait introduit dès 1814 une distinction correcte : «Une particule de l'eau sera composée d'une particule entière d'hydrogène et de la moitié d'une particule d'oxygène. Une particule de gaz ammoniac contiendra la moitié d'une particule d'azote et une particule et demie d'hydrogène». En 1836 Dumas expose comment les lois des gaz (combinaisons, dilatation) militent en faveur de l'hypothèse d'Avogadro [15] (p. 223) ; les lois de Gay-Lussac, Dulong et Petit, et Mitscherlich rendent «sensibles mille notions pleines d'intérêt» (p. 243) ; mais en 1839, il bute sur les densités de vapeur anormales du phosphore et du soufre (polyatomiques) : «les atomes chimiques semblent s'être groupés,... les particules gazeuses du soufre renferment trois fois autant d'atomes chimiques qu'il y en a dans les particules du gaz oxygène». On connaît sa conclusion : «Si j'en étais le maître, j'effacerais le mot atome de la science, persuadé qu'il va plus loin que l'expérience», ce qui n'empêche pas ce passionné d'utiliser l'atome, les molécules intégrantes et les molécules constituantes dans la leçon suivante, pour, entre autres utilités, définir l'isométrie : «Voulez-vous... avoir des corps isomères ; agissez sur les atomes élémentaires eux-mêmes, et groupez-les diversement, de manière à former des corps dans chacun desquels les molécules composées soient le résultat d'un arrangement différent de ces atomes élémentaires» (p. 269). *Dumas* utilisait un système de représentation inspiré de Berzelius, et il modélisait les réactions par des équations. *Pelouze*, *Frémy*, *Regnault* et surtout *Cahours* vont développer cet usage. *Frémy* explique en une ou deux leçons comment sont établies des formules dans le système des équivalents. *Regnault* est engagé dans le débat, ayant procédé à de nombreuses mesures pour vérifier les lois de Gay-Lussac et de Dulong et Petit, mais leurs résultats ne concordent pas. Il considère la question sans passion, comme de l'extérieur : «les chimistes admettent que les corps sont formés... de particules... indivisibles par les moyens mécaniques ; ils donnent à ces particules le nom de molécules ou d'atomes. Les molécules des corps simples sont nécessairement simples elles-mêmes. Les molécules des corps composés sont, au contraire, complexes ; mais toutes ces molécules complexes sont semblables entre elles et constituées de la même manière». L'énoncé, dogmatique, est définitif ; la confusion entre atome et molécule est totale. Son cours s'appuie sur des travaux personnels, pour définir des équivalents chimiques ou thermiques (satisfaisant à la loi de Dulong et Petit), qui se confondent avec nos formules actuelles : «D'après la loi des chaleurs

spécifiques,... les formules de l'eau et du bioxyde d'hydrogène s'écriront H^2O et H^2O^2 ...». Mais il conclut : «La théorie des équivalents sera toujours exacte quelle que soit l'idée que l'on adopte sur la constitution moléculaire des corps». En 1873, il écrit exactement la même chose, il est probable que les ouvrages de cet homme, diminué par le deuil de son fils mort en 1871 à la bataille de Buzenval, n'ont plus beaucoup d'impact. Néanmoins, les déterminations expérimentales soigneuses de Regnault ont alimenté le débat théorique entre chimistes.

Dans son traité de 1860, après avoir distingué les corps simples des corps composés, concernant les premiers *Cahours* ajoute : «... il faut bien nous garder de confondre ces sortes de radicaux inaltérables de la part des agents dont nous disposons, et qui marquent les limites de l'expérience, avec les éléments vrais... êtres d'une nature nouvelle, dont notre esprit par aucune analogie ne saurait se faire la moindre idée». On peut voir dans cette remarque un rappel des questions philosophiques dont *Chevreul* entretenait longuement ses visiteurs au Muséum, et une ébauche de la notion moderne d'élément. Dès 1860 *Cahours* écrit : «La matière est-elle divisible à l'infini... Cette division a-t-elle une limite... Les phénomènes chimiques les mieux étudiés viennent tous donner gain de cause à cette dernière hypothèse», mais il s'en tient à la notation par les équivalents. Néanmoins, dans le laboratoire de recherche, il recommande la notation atomique. *M.-A. Etard*, qui a été son élève, a confié [16] : «... écrivant ses formules en équivalents, il conseillait vivement à ses nouveaux amis d'adopter la théorie atomique pour leurs travaux et dans les notes qu'il leur présentait à l'Académie...». La correspondance qu'il a échangée avec Gerhardt [12] avant même la lecture devant l'Académie des sciences (5 septembre 1842), par ce dernier, de son mémoire sur la réforme des équivalents, montre que *Cahours* lisait dans les deux systèmes. En 1880, dans le cours de deuxième division, il donne à la fois l'équivalent et le poids atomique. Dans le cours de première division (1879-1880), *Cahours*, qui avait découvert un grand nombre d'hydrocarbures dans les produits de distillation de pétroles avec Pelouze, les classe en séries par leur «formule générale», par exemple « $C^{2m}H^{2m+2}$ » pour les hydrocarbures aliphatiques saturés ; il écrit pour le méthane une formule développée plane, de même pour le benzène : «Il est facile de se rendre compte de la formation des produits de substitution de la benzine quand on les rapporte à une hypothèse qu'a faite M. Kekulé (1865) sur la constitution moléculaire de $C^{12}H^6$ hypothèse que n'est venue démentir aucune expérience. Imaginons six atomes de carbone

formant une chaîne fermée. Chaque atome cède une atomicité à un atome de carbone, deux à un autre, et une à un atome d'hydrogène, de sorte que l'atomicité est satisfaite, puisque le carbone C^2 est tétratomique, et l'hydrogène H est monoatomique». Par conséquent *Cahours* distingue parfaitement l'équivalent $C = 6$ de l'atome C^2 , en 1879 le système des équivalents n'est donc plus qu'un mode d'écriture. Il donne une formule semi-développée du «toluène $C^{12}H^5C^2H^3$ dont la formule brute est $C^{14}H^8$ ». Il ajoute : «Et ce n'est pas seulement un jeu de formules (de séparer dans l'écriture les deux groupes $C^{12}H^5$ et C^2H^3), car en réalité ce corps mange à deux rateliers, tenant à la fois de la série grasse et de la série aromatique», «Maintenant encore on ne connaît pas la manière dont les atomes sont groupés dans ces produits... Mais on peut imaginer des groupements particuliers de molécules (*Cahours* qui distingue parfaitement l'atome de la molécule, laisse encore passer ce lapsus), et chercher à vérifier ces hypothèses. Ce sont des béquilles qui permettent d'aller plus avant». Il ne prend pas le risque de rendre son auditoire sceptique sur la valeur des théories ; bien qu'elles restent à perfectionner, ce sont des outils de progrès. Il utilise les théories comme des instruments de prévision, et il les éprouve par voie expérimentale. L'écriture en équivalents n'est donc pas un obstacle à la compréhension, ni à l'usage de formules générales, formules brutes, formules semi-développées et développées. Dans le supplément à l'Histoire de la chimie de Ladenburg (1911), *Colson* reconnaissait déjà : «...bien longtemps avant d'employer les poids atomiques de Gerhardt, $C = 12$ et $O = 16$, les chimistes appliquaient exactement les principes usités aujourd'hui. *Cahours* les exposait en faisant usage des équivalents (en 1860)».

Tous les cours de cette période intègrent les travaux de laboratoires, les plus récents, français et étrangers, au point que les traités de *Pelouze* et *Frémy* tiennent de l'encyclopédie. Ceux de *Regnault*, précieux par la quantité des données numériques qu'on y trouve, sont trop fournis pour des manuels d'enseignement. Adhérant aux idées d'A. Comte, il choisit de faire une présentation «dogmatique» plutôt «qu'historique» de la chimie. Avec *Cahours*, le souci de s'adresser à des élèves est plus évident. Parfois les choix sont très modernes, ainsi dans son cours de 1880, sa présentation de l'alkylation de Friedel et Crafts (qui avait été publiée en 1877) va jusqu'au mécanisme réactionnel, et donne une interprétation très en avance du rôle des catalyseurs.

Pasteur dit de *Dumas* : «Il n'était pas homme de discussion, mais homme de persuasion. Sa sérénité dominatrice s'étendait sur toute une

assemblée». «M. Frémy de l'Académie des Sciences... était large et miséricordieux». *Grimaux, Etard, Gautier* et Adam ont décrit Cahours comme un homme «doux» et «bienveillant», un «professeur clair et convaincu», «très préoccupé de son enseignement», «généreux» et «affectueux», «poète», «libéral», «simple et abordable», «facile et simple de relations», «chef de laboratoire aimable, paternel, généreux d'idées, passionné pour ses élèves».

CONCLUSIONS

Au cours du XIX^e siècle, on est passé de l'artisanat à la grande industrie chimique grâce au machinisme et à la banque. On assiste à une séparation des fonctions d'élaboration des connaissances et de formation, et des fonctions de production.

L'École polytechnique offre trois modèles, avec *Gay-Lussac*, savant engagé dans l'industrie (Saint-Gobain), *Chevreul*, savant qui accompagne la production depuis une vitrine de l'État (Manufacture des Gobelins), et *Dumas*, dont les cumuls se cantonnent aux postes académiques et de conseil politique. Au premier se rattachent *Pelouze* et *Frémy*, au second *Regnault*, directeur de la Manufacture de Sèvres et président de la Société française de Photographie, au troisième *Cahours*. L'objectif visé par le professeur de chimie à l'École polytechnique, c'est d'entrer à l'Académie à laquelle il parvient de plus en plus tard, A. Gautier rapporte ces mots de *Cahours*, élu à cinquante-cinq ans à l'Académie des Sciences : «Que saurait désirer de plus, le savant qui, avec une fortune modeste, arrive à s'asseoir enfin à l'Académie à côté de ses maîtres ou de ses pairs ?». L'objectif de l'École n'est pas de fournir l'industrie en ingénieurs chimistes, il est de faire des savants et de pourvoir les services de l'État. Or, la concurrence de l'École Normale Supérieure pour les postes académiques d'enseignement et d'administration est devenue vive, les thèses sont délivrées par l'Université, et les postes offerts en chimie par les services publics sont en nombre limité (Manufactures de Sèvres, des Gobelins, le Tabac, la Monnaie). Peut-être pour ne pas entrer en concurrence avec le Muséum dont sont issus les professeurs de l'École polytechnique, on ne développe à l'École polytechnique aucun enseignement de Biologie qui aurait pu susciter des vocations de biochimistes à l'exemple de Pasteur. C'est l'époque des papautés scientifiques : les «leaders» créent un mouvement favorable à la science, mais ils stérilisent ce qui naît à côté d'eux, c'est le cas de *Dumas* bridant Gerhardt et Laurent.

La chimie académique française est matérialiste et structurale ; elle s'intéresse à la constitution de la matière, elle abandonne ses propriétés physiques et organoleptiques aux physiciens et aux physiologistes, elle laisse les procédés aux empiristes. Or, aujourd'hui encore, ce qu'on demande à l'industrie chimique, ce ne sont pas des structures chimiques, ce sont des qualités : la détergence, la transparence, l'élasticité, la couleur, la biodégradabilité...

Les freins du côté de l'électrochimie sont nationalistes et dûs aux querelles de pouvoir entre scientifiques (*Gay-Lussac* contre *Davy*, *Dumas* contre *Liebig* et *Berzélius*). Du côté de la métallurgie, les mines étaient allemandes, et le charbon était anglais, les innovations devaient naturellement venir de ces pays. Du côté de la chimie organique, le principal centre français de la teinture, à Mulhouse, est passé à l'Allemagne en 1871 [4], tandis que les autres industriels français [8] (Lyon) s'épuisent en querelles de territoire, ou évaluent mal les tendances du marché intérieur. Les erreurs sont politiques : les honneurs vont à un certain type de savant, les organes d'information scientifique ne s'intéressent pas aux procédés, la législation sur les brevets ne favorise pas les inventeurs de méthodes. On protège l'industrie extractive des colorants naturels (garance) contre les colorants de synthèse. Les grandes firmes font le choix de la polyvalence et de l'autofinancement au lieu de se spécialiser et d'avoir recours au crédit. Le cumul, rendu nécessaire par l'état des locaux de recherche et le niveau des salaires (en 1892, celui d'un professeur d'Université Française s'étale entre six mille et quinze mille francs, tandis que le salaire d'un professeur Allemand va de deux mille à quatre-vingt-dix mille francs, selon *Haller*), transforme les écoles en chasses gardées. La chimie académique et l'industrie chimique vont suivre des chemins parallèles jusqu'à une période récente. Vers 1880, les chimistes, qui ne trouvent pas dans les institutions existantes la formation exigée par les développements de leur profession, fondent des écoles nouvelles.

Jusqu'en 1880, les savants chimistes de l'École polytechnique n'ont donc pas démerité :

Gay-Lussac et *Regnault* ont fait progresser l'instrumentation scientifique ; *Gay-Lussac*, *Dumas*, *Regnault*, et *Cahours* ont joué des rôles de premier plan dans les avancées méthodologiques (méthodes d'analyse, mesures de densités de vapeur, méthodes de synthèse) ; leurs travaux ont contribué à la construction des modèles (la molécule, la valence). Par contre, les laboratoires, tant ceux des élèves destinés à l'enseignement que ceux des professeurs destinés à la recherche, n'ont pas été

rénovés depuis quarante ans. Ce sont donc des raisons politiques puis, après la guerre de 1870, économiques qu'il faut examiner. L'idée qu'il y aurait un retard français avant 1880 dans l'élaboration des théories chimiques relatives à la constitution moléculaire semble une idée reçue, l'idée que la notation équivalente en serait la cause est aussi peu fondée.

Lorsqu'il attribuait à l'adoption de la théorie atomique les succès de l'industrie allemande, on peut faire l'hypothèse qu'Hofmann entrait dans le jeu d'une certaine propagande en faveur de son pays. En 1900, Haller [17] reconnaissait d'ailleurs : «Il semblera peut-être excessif d'attribuer à une question de pure doctrine une influence aussi prépondérante sur l'évolution de l'industrie». Il nous faut remarquer que l'industrie chimique allemande progresse surtout après 1893 [18], c'est-à-dire après d'autres industries allemandes. En effet, l'Allemagne a dépassé la France pour la production de houille, la puissance des machines à vapeur, et le chemin de fer vers 1850, pour la production de fonte et d'acier vers 1875, et pour l'industrie chimique seulement après 1892.

Pour étudier les métaux, les oxydes et autres minerais qui sont ioniques, l'école de Sainte-Claire Deville se passait fort bien du concept de molécule. Nous avons vu aussi que le système d'écriture équivalente qu'il utilisait n'empêchait pas Cahours de reconnaître l'existence des molécules organiques en tant qu'assemblage ordonné d'atomes. C'est précisément dans le domaine de l'atome que des savants français vont, avec H. Becquerel, les Curie, et Jean Perrin, retrouver une place éminente sur la scène scientifique.

Bien que l'électrochimie, comme science, se soit développée hors de France, la faiblesse théorique de nos savants et professeurs chimistes dans ce domaine n'a pas affecté son développement industriel ultérieur en France parce que nous avons disposé de matières premières (minerais coloniaux, sel), d'énergie (houille blanche des Alpes et des Pyrénées), et de savoir-faire technologique en électricité (four électrique). C'est parce que la chimie fine organique, où nous avons de bons scientifiques, s'épanouit en Allemagne et en Suisse plutôt qu'en France, que nous croyons qu'il faut chercher des causes du dépassement de la France qui ne sont pas académiques [19].

Jusqu'en 1880, nous n'observons pas de déclin, mais au contraire une formidable expansion des connaissances, à laquelle les chimistes

de l'École polytechnique ont contribué, et une égale expansion des techniques chimiques qui appelle la spécialisation. Or, il n'y a pas eu, comme en électricité, d'école d'application en chimie organique. Un seul type de formation ne suffit plus à couvrir les besoins de scientifiques et d'ingénieurs chimistes. La formation généraliste donnée à l'École polytechnique a produit, dans le domaine de la chimie inorganique, bien qu'on ne leur ait enseigné en chimie à l'École, ni la thermodynamique, ni l'électrochimie, des innovateurs comme *Le Chatelier*, et *Gall*. Ensuite, c'est le développement d'autres pays, plutôt que le déclin de la chimie française, qui a conduit la France, dans le concert des nations industrialisées, à une place mieux en rapport avec l'importance relative et la croissance réduite de sa population et avec ses ressources.

Mmes Blondel, Tron et Kounelis, et M. Grison, Roth, Golfier, Fournier ont contribué à l'information de cet article qui a fait l'objet d'une communication préliminaire au Colloque international sur la formation polytechnicienne en février 1993.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] C-A. REICHEN - Histoire de la chimie, éd. Rencontres, Lausanne, s.d.
C. LÉCAILLE - Le monde de la chimie, éd. Messidor/La Farandole, Paris, 1991.
- [2] A. BELTRAN et P. GRISET - Histoire des techniques aux XIX^e et XX^e siècles, éd. A. Colin, Paris, 1990.
E. DRYE - Histoire des techniques, édition Hatier, Paris, 1992.
R. CAMERON - La France et le développement économique de l'europe 1800-1914, éd. du Seuil, Paris, 1971.
Histoire générale des sciences, sous la direction de R. TATON, tome 3, volume 1, éd. P.U.F., Paris, 1961.
- [3] F. AFTALION - Histoire de la chimie, éd. Masson, Paris, 1988.
J-P. DAVIET - Un destin international la compagnie de Saint-Go-bain de 1830 à 1939, éd. des archives contemporaines, Paris, 1988.
M. CROSLAND - Gay-Lussac savant et bourgeois, éd. Belin, Paris, 1991.
- [4] J. LAMBERT-DANSETTE, La vie des chefs d'entreprise 1830-1880, éd. Hachette, Paris, 1992.
- [5] Y. LEQUIN - Histoire des français XIX^e-XX^e siècles, éd. A. Colin, Paris, 1984.

- [6] A.-W. HOFMANN - rapport de l'exposition 1867.
- [7] Cl. FOHLEN - L'industrie textile au temps du second empire, éd. Plon, Paris, 1956.
- [8] P. CAYEZ - Rhône-Poulenc 1895-1975, éd. A. Colin et Masson, Paris, 1988.
- [9] Académie d'Agriculture de France, Deux siècles de progrès pour l'agriculture et l'alimentation 1789-1989, éd. Tec & Doc, Paris, 1990.
- [10] J. MEYER, J. TARRADE, A. REY-GOLDZEIGUER et J. THOBIE, Histoire de la France coloniale, éd. A. Colin, 1991.
- [11] A. PROST, Histoire de l'enseignement en France 1800-1967, éd. A. Colin, Paris, 1968.
- [12] Correspondance de Charles Gerhardt, tome 2, publiée par M. TIF-FENEAU, éd. Masson, 1925 (lettres de Gerhardt à Cahours du 8 mai 1842, et du 1^{er} janvier 1843).
- [13] J.-H. WOTIZ - The Kekulé Riddle, Cache River Press, 1993.
- [14] NOLTING et GERBER, dans le Moniteur scientifique, 1897, p. 94.
- [15] J.-B. DUMAS - Leçons sur la philosophie chimique», 1839.
- [16] M.-A. ETARD, Notice sur la vie et les travaux d'Auguste Cahours, Soc. chim., 3^e sér., tome 7, 1892, p. 1.
- [17] A. HALLER, Exposition universelle de 1900 à Paris - Rapports du Jury international, Imprimerie nationale, 1901.
- [18] A. HALLER - L'industrie chimique, J.-B. Baillière & Fils, 1895.
J.-P. RIOUX - La révolution industrielle 1780-1880, éd. Le Seuil, 1989.
- [19] F. CARON, Le résistantible déclin des sociétés industrielles», Librairie académique Perrin, 1985.