

# La chimie à l'École polytechnique

Georges Bram\* professeur, Nguyễn Trong Anh\*\* professeur

Depuis sa création en 1794, l'École Polytechnique est considérée comme le type même de la grande école généraliste et il paraît intéressant d'examiner la place qu'elle accorde à la chimie.

## La chimie au concours d'entrée

Son rôle a toujours été modeste. Au début, la sélection était faite exclusivement par les mathématiques, la première épreuve de physique apparaissant seulement en 1846. Trois ans plus tard, la chimie entra au concours par la petite porte : *Les candidats feront par écrit une composition sur un sujet de physique et de chimie*<sup>1</sup>. Le programme des connaissances exigées tenait en une ligne : *Propriétés des corps simples non métalliques ; leur préparation*<sup>1</sup>. Il s'agissait essentiellement d'étudier leurs composés avec H, O, S et N. Pendant un siècle, le programme restera centré sur les métalloïdes, enrichi d'un peu de chimie générale. La chimie organique ne sera introduite qu'après 1950, pas toujours de manière cohérente d'ailleurs. Ainsi, les

composés carbonylés (et leur réduction par  $\text{LiAlH}_4$ ), les alcènes (et leur hydratation) sont au programme M' actuel, mais les alcools en sont exclus.

La nature des épreuves confortait les taupins dans l'idée que la chimie demande de la mémoire mais peu d'intelligence. Les instructions de 1949 précisaient : *L'épreuve écrite de physique ne comportera que des problèmes. L'épreuve écrite de chimie ne comportera que des questions de cours*. Cette restriction a été levée par la suite mais, jusque vers 1980, trop souvent les problèmes faisaient appel à des calculs de routine (grandeurs thermodynamiques standard, oxydo-réduction, pH, équations différentielles élémentaires de la cinétique...). Depuis une quinzaine d'années, les problèmes posés sont nettement plus chimiques, mais les incohérences du programme signalées plus haut ne facilitent pas leur composition.

L'X est l'une des rares Grandes Écoles à imposer un écrit, un oral et des TP de chimie<sup>2</sup>. Cependant, si l'on fait le total des coefficients de toutes les épreuves, on trouve, dans le *tableau I*, le pourcentage des coefficients par disciplines. L'étude de la chimie, peu «payante», est donc sacrifiée par nombre

de taupins débordés. Environ 20 % des élèves ne sont pas du niveau, certains ne connaissent pas les formules de Lewis et se révèlent incapables de retrouver la formule brute de l'hydrocarbure représenté par un hexagone. A leur arrivée à l'École, 42 % des élèves abandonneraient la chimie, si on leur en donnait la possibilité<sup>3</sup>. Ce pourcentage tombe à 34 % à la fin de la première année mais, d'après les élèves délégués, environ 30 % resteraient irréductibles. A peine 10 % arrivent avec une idée non négative de la chimie, la plupart du temps grâce à d'excellents professeurs qui leur ont montré que la chimie peut être intéressante<sup>4</sup>.

## L'enseignement de la chimie à l'X (1794-1987)

### Sa qualité

Elle reflète assez fidèlement le niveau moyen de la chimie française. La période la plus brillante a suivi la fondation de l'École. Les premiers professeurs furent Guyton de Morveau, Fourcroy et Berthollet. Gay-Lussac et Thenard leur succédèrent au début du XIXe siècle. Apparaissent ensuite d'autres noms connus : Regnault, Dumas, Frémy... Cahours, Grimaux<sup>5</sup> et Darzens sont les figures dominantes de la période 1850-1950 qui a connu quelques professeurs assez médiocres. Le déclin est net après 1936 (retraite de Darzens et de Charpy) et atteint les profondeurs vers 1950<sup>6</sup>. Le redressement s'est amorcé avec Jacqué qui présente la chimie de nouveau de manière logique, alors qu'avec son prédécesseur, la classification périodique arrivait après les monographies.

Tableau I - Pourcentage du total des coefficients par disciplines (le chiffre entre parenthèses inclut les TP).

Discipline	Voie M'	Voie P'
Mathématiques	43,5 %	30,5 %
Physique	15,5 (19,5)	22 (26)
Français	10,5	10,5
Langue vivante	10,5	10,5
Chimie	8 (12)	10,5 (14,5)
Autres disciplines	8	12

\* Institut de Chimie Moléculaire (ICMO) et Groupe d'Histoire et de Didactique des Sciences d'Orsay (GHDSO), bât. 307, université de Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex. Tél. : (1) 69.41.72.66. Fax : (1) 69.85.54.93.

\*\* Membre du conseil d'enseignement de l'École Polytechnique, Laboratoire des mécanismes réactionnels (DCMR), 91128 Palaiseau Cedex. Tél. : (1) 69.33.41.77. Fax : (1) 69.33.30.10.

De son laboratoire, animé par Guiochon, comme plus tard de celui de Fétizon sortent des recherches de qualité. Avec Grison<sup>7</sup> et Fétizon, la chimie physique devient prépondérante, et les Petites Classes<sup>8</sup> comme les contrôles donnent lieu à des exercices de réflexion et non plus de mémoire. Il est regrettable que les réformes de 1970 et de 1976 soient venues alors réduire la chimie à la portion congrue et entraver son enseignement pendant près de 20 ans (*vide infra*).

### **Le poids de la chimie dans l'enseignement scientifique**

Exception faite d'une période récente (1968-1987), on ne peut dire que la chimie ait été vraiment maltraitée à l'X, du moins en ce qui concerne le volume horaire. Les fondateurs prévoyaient pour son enseignement deux journées entières par décade. La leçon durait de 8 h à 9 h, le reste du temps, les élèves faisaient par petits groupes des TP, qui pouvaient au besoin déborder sur le lendemain «*qui se trouve en tout ou en partie jour de repos*»[1]. Très vite, malheureusement, des problèmes budgétaires ont conduit à remplacer les travaux au laboratoire par des cours magistraux ! Le nombre total des séances de TP tomba à 36 au début du XIXe siècle et à une vingtaine de séances de 2 h cinquante ans après. Celui des leçons décroît lentement jusque vers le milieu des années 1960. De 72 leçons en 1806, il descend à 60 en 1854 puis demeure à peu près constant pendant un siècle [2]. Une nouvelle réduction d'une vingtaine de leçons eut lieu dans les années 50. Il faut noter cependant qu'en 1957, avec une quarantaine de leçons réparties sur deux ans, la chimie était encore presque à égalité avec la mécanique et la physique. Trente ans plus tard, avec seulement 13 leçons, elle ne représentait plus que la moitié (le tiers) de la mécanique (de la physique). En effet, à partir de 1968, l'accroissement du nombre de Petites Classes<sup>9</sup>, le développement de certaines disciplines existantes (mathématiques appliquées, langues, humanités et sciences sociales, économie) et l'introduction de nouvelles (informatique, biologie moléculaire) l'ont été essentiellement aux dépens de la chimie. La réforme de 1987 (*vide infra*) réduit à 10 le nombre de leçons

obligatoires pour tous les élèves, mais permet en revanche aux volontaires d'avoir jusqu'à 45 ou 80 leçons.

Jusqu'en 1968, le poids de la chimie (environ 13 %) dans le classement de sortie est faible sans être négligeable [2]. Pourquoi la chimie est-elle donc si souvent considérée par les élèves comme une discipline mineure, même quand son poids était égal à celui de la physique ? Une raison possible est que le programme enseigné est intrinsèquement moins attrayant. La chimie moderne, née avec Priestley et Lavoisier, accuse un retard de deux siècles par rapport à la physique moderne qu'on pourrait dater de Galilée. La distinction entre atomes et molécules, les concepts de valence et de liaison n'ont été vraiment clarifiés que vers 1850-1870. La classification périodique et la chimie structurale organique<sup>10</sup> ont marqué la seconde moitié du XIXe siècle. Les acides et bases de Brønsted et de Lewis, la nature de la liaison covalente et la chimie quantique en général, les mécanismes de réaction, l'analyse conformationnelle, la microanalyse, les chromatographies, les spectroscopies appliquées à la détermination de structures, la chimie de coordination, la biochimie, la chimie radicalaire, la chimie nucléaire, la photochimie... sont des conquêtes du XXe siècle.

Pendant que la science chimique se construisait, l'enseignement portait plutôt sur les «arts chimiques» et comprenait pour l'essentiel des monographies<sup>11</sup>. Ces dernières sont certes de mieux en mieux structurées, mais pendant longtemps la chimie n'apparaissait pas encore comme une science constituée, à l'instar de la physique. Hassenfratz avait beau être, d'après Arago, aussi mauvais physicien que professeur, le contenu de son cours, qui faisait une large place à la gravitation, à la chaleur, à l'acoustique, à l'optique, à l'électricité et au magnétisme était plus attrayant que celui de Fourcroy («*de l'oxygène, de l'azote, du carbone, du soufre...*») ou celui de Guyton de Morveau, qui faisait défiler 44 genres de substances siliceuses et 22 genres de substances alumineuses... Malgré quelques accidents de parcours[3], le programme de physique semble se moderniser assez régulièrement, avec l'introduction de la thermodynamique,

des équations de Maxwell, de la mécanique quantique, de la relativité... L'évolution de la chimie paraît plus lente, due à la querelle entre atomistes et équivalentistes autant qu'au choix constant pendant 150 ans d'un enseignement encyclopédique (toute la chimie, sauf les métalloïdes) et de caractère volontiers appliqué<sup>11</sup>. A côté des professeurs résolument modernes comme Grimaux [4], qui le premier introduisit la classification périodique (1882) et la notation atomique (H<sub>2</sub>O au lieu de HO), ou Darzens qui dès 1919 présentait en détail l'atome de Bohr[5], il en est d'autres nettement plus conservateurs. Des deux professeurs, équivalentistes, exerçant en 1900, l'un accompagnait la classification de Mendeleev de celle de Thenard et continuait à exposer la théorie des types ; l'autre plaçait la thermodynamique chimique tout à fait à la fin du cours, complètement déconnectée de la chimie préparative.

L'absence des Petites Classes de 1942 à 1955 indique que la chimie, tout en gardant un nombre de leçons respectable, commençait déjà à être légèrement mais officiellement marginalisée. Les modalités de contrôle des connaissances n'arrangeaient pas les choses. Des six matières scientifiques enseignées dans les années 50, l'analyse, la géométrie, la mécanique et la physique donnaient lieu à 3 exercices écrits (durée 1 h 30 à 2 h), 3 compositions notées (durée: 3 h 30) ainsi qu'à un oral également noté. En mathématiques appliquées, il y avait 2 exercices écrits, 2 compositions mais pas d'oral, tandis qu'en chimie, il n'y avait qu'un oral portant sur des questions de cours. Il était presque inévitable qu'aux yeux des élèves, ces deux disciplines apparaissent comme moins sérieuses que les 4 autres ; particulièrement la chimie, où il suffisait d'apprendre par cœur pour s'en tirer honorablement.

### **Les réformes entre 1968 et 1987**

Les expériences pédagogiques se sont multipliées à l'X depuis 1968 et, presque chaque année, des aménagements sont apportés à l'emploi du temps ou au contenu de tel ou tel enseignement. Une première réforme (1970) a introduit d'une part la parité entre Petites Classes et leçons magistrales, d'autre part les enseignements optionnels. La première

année est consacrée au tronc commun avec 15 leçons de chimie contre 20 en mécanique et économie et 30 en mathématiques et physique. En deuxième année, après un tronc commun de mathématiques appliquées (25 leçons de probabilités et d'analyse numérique), les élèves choisissent entre sept «voies» de 18 leçons chacune : trois de mathématiques (analyse fonctionnelle, géométrie différentielle et équations aux dérivées partielles), une de physique, une de mécanique, une de chimie et une d'économie. Cette réforme a avorté au bout de quelques années, du fait de la part du lion que s'est taillé l'économie dans les choix des élèves en deuxième année. Le déménagement à Palaiseau (1976) s'est accompagné d'une nouvelle réforme qui a ramené les enseignements optionnels à un semestre, introduit l'informatique et réduit encore la part de la chimie dans le tronc commun : un seul module contre 3 de mathématiques pures, 2 de mathématiques appliquées, 3 de physique, 2 de mécanique, 2 d'économie... Quelques années plus tard, les «enseignements de synthèse (ES)» ont été créés pour essayer de remédier aux inconvénients des cours morcelés du tronc commun. Il s'agissait d'apprendre aux élèves à combiner les connaissances acquises dans des cours à première vue très éloignés les uns des autres. Ainsi, l'ES intitulé «théorie des groupes et spectroscopie» montre comment la théorie des groupes et la mécanique quantique permettent de comprendre les spectres de vibration qui fournissent aux chimistes de précieux renseignements structuraux. Ces ES étaient très appréciés des élèves et des enseignants, d'une part par leur forme peu scolaire, d'autre part par leur esprit qui les apparentait à des cours de 3e cycle.

## L'enseignement de la chimie depuis 1987

La réforme de 1987 avait deux principaux objectifs :

- rééquilibrer les différentes disciplines,
- promouvoir les enseignements optionnels, plus motivants pour les élèves, tout en y maintenant une certaine pluridisciplinarité.

En gros, chaque année comprend un

tronc commun au premier semestre et des enseignements optionnels au semestre suivant. Ces derniers sont de deux types : (1) les «majeures» pluridisciplinaires, dans lesquelles un enseignement principal est accompagné de 2 «mineures» dont l'une au moins doit appartenir à une autre discipline ; (2) les «options», initiations à la recherche, se terminant par une microthèse. En principe, les départements sont libres d'organiser les majeures comme ils l'entendent. En pratique, c'est le système du tronc commun (cours écrit + amphi + PC) qui est repris.

Le régime actuel est le suivant. En première année, les élèves suivent entre septembre et mars un enseignement de tronc commun, comportant pour les matières scientifiques un cours d'analyse (14 leçons, 18 PC), un d'informatique (1 leçon, 10 PC ; 10 travaux dirigés et un projet), un de mécanique quantique et de physique statistique (22 leçons, 22 PC), un de mécanique des milieux continus (18 leçons, 21 PC), un de probabilités (10 leçons, 12 PC) et un de chimie organique théorique (10 leçons, 12 PC). A partir du mois d'avril, ils choisissent entre 5 majeures de poids équivalents (même volume horaire, mêmes coefficients) : algèbre et informatique, chimie, mathématiques, physique et mécanique. La majeure de chimie comprend 12 leçons (14 PC) de chimie organique, 9 de biologie moléculaire et 6 de spectroscopie, essentiellement de la RMN avec quelques notions de masse et d'IR. A côté de ces cours obligatoires, les élèves suivent un enseignement d'approfondissement, choisi dans une liste régulièrement actualisée. En 1994, six approfondissements sont proposés : art et élégance en synthèse organique ; synthèse et chiralité : défis pour le XXIe siècle ; principes et concepts fondamentaux de la réactivité organique ; chimie organique industrielle ; chimie bio-organique ; biologie et modèles mathématiques. Les approfondissements font une large part au travail personnel (exposé, étude d'articles, recherche bibliographique...).

En deuxième année, le tronc commun scientifique comprend un cours de calcul variationnel (11 leçons, 11 PC), un d'analyse numérique (11 leçons, 11 PC), un d'économie (14 leçons, 14 PC) et un de biologie moléculaire (10 leçons, 12

PC). Huit majeures sont proposées : informatique fondamentale et applications ; sciences de l'ingénieur et calcul scientifique ; mathématiques ; physique ; chimie ; biologie ; économie ; statistique et contrôle des systèmes. La majeure de chimie comprend 18 leçons portant sur la chimie organométallique et la catalyse homogène, une mineure de physique des solides (8 leçons), une mineure de chimie bio-inorganique (8 leçons) et une initiation à la modélisation moléculaire. A partir de l'année prochaine, l'enseignement sera diversifié. Après quelques leçons d'introduction, les élèves choisiront entre un cours de chimie organométallique et un cours de chimie des matériaux. L'option, qui occupe les 3 derniers mois, est choisie indépendamment de la majeure. Le travail de recherche s'effectue dans un laboratoire n'appartenant pas nécessairement à l'école.

Les élèves intéressés par la chimie peuvent<sup>12</sup> effectuer 3 cycles (5 fois 4 h) de travaux expérimentaux, à l'occasion du tronc commun et des majeures. Un thème unique, généralement une synthèse (arôme, parfum, insecticide écologique, synthèse utilisant des complexes de transition ou la catalyse, etc.) est abordé par cycle et un rapport écrit demandé. Ces travaux peuvent dans certains cas être faits dans les laboratoires de recherche. Ceux qui choisissent ensuite une formation par ou pour la recherche peuvent suivre le DEA de chimie organique, cohabilité par Polytechnique et l'université de Paris-Sud. Des bourses de thèse sont attribuées par l'École sur dossier. Ces dernières années, le nombre de demandeurs, toutes disciplines confondues, dépasse le nombre des allocations.

Le nombre total des leçons (tronc commun + 2 majeures) peut paraître faible. Il ne faut pas oublier cependant que les élèves disposent de photocopies pour chaque cours, qu'ils ont une bonne capacité de travail et que chaque leçon est accompagnée d'au moins 2 h de petite classe avec des maîtres de conférences de très haut niveau. L'un des auteurs se souvient d'avoir vu des élèves, ayant pour tout bagage 6 leçons de chimie organique, arriver au contrôle en ayant lu le March ! Ces élèves ont tous choisi un corps d'ingénieurs généralement sans grand rapport avec la chimie, mais cela est une autre histoire.

## L'avenir

Plusieurs raisons incitent à l'optimisme, la première étant la volonté constante manifestée par la direction de l'École depuis une quinzaine d'années de redonner à la chimie toute sa place. La réforme des majeures est une indication, la montée en puissance du recrutement P' en est une autre. En 1975, 9 polytechniciens sur 10 venaient de la filière M', ils ne sont plus que 3 sur 4 en 1994. L'X recrute à égalité entre les filières MP et PC.

Il a été dit quelquefois qu'un recrutement paritaire risque d'abaisser le niveau car «les P' sont moins brillants» : la proportion de 3/2 reçus au concours P' est plus faible et, à la sortie, les M' trident les premières places. Cette assertion est biaisée, l'effet étant pris pour la cause. Pour le classement, les P' sont largement défavorisés par les nombreux cours de maths et aussi par d'autres cours - physique, mécanique, économie - fortement mathématisés. En ce qui concerne le rapport entre 3/2 et 5/2 reçus, notons que dans les années qui ont suivi la création de la filière P' (1974), ce rapport était de 2 en P', de 1,5 en M'. La tendance ne s'est inversée que dans les années 80. Il est vraisemblable que le plus grand nombre de places offertes en M', couplé avec les avantages au classement à l'intérieur de l'école, ont détourné de la filière P' de brillants élèves intéressés par les sciences physiques. Un recrutement paritaire MP-PC (qui entraînera un enseignement différencié à l'école) devrait permettre à

ces élèves de choisir en fonction de leur goût sans crainte pour le classement.

La réforme de 1987 a été très positive. Avant, les X suivant le DEA d'Orsay se classaient après la 10<sup>e</sup> place. Depuis, ils se placent régulièrement dans les premiers. Ils connaissent certes toujours moins de chimie qu'un étudiant de maîtrise, mais, avec deux majeures, ont acquis une base leur permettant de lutter déjà à armes presque égales.

Tout n'est pas rose pour autant. Les majeures de chimie, après avoir été un franc succès, attirant en 1993 plus de 25% des élèves de 1<sup>re</sup> année, ont vu leurs effectifs chuter de manière sensible. Des problèmes existent aussi, en amont (la désaffection pour la chimie commence au lycée) et en aval. L'industrie chimique représentant environ 10 % du chiffre d'affaires de l'industrie française, il paraît souhaitable que 10 % des élèves de chaque promotion s'orientent vers la chimie à la sortie. Cet objectif est encore loin d'être atteint, particulièrement en ce qui concerne la formation par la recherche. Quand ils ont le choix, la plupart des élèves préfèrent la sécurité des grands corps. Beaucoup pensent en outre que les employeurs ne sont pas vraiment intéressés par une compétence en chimie, mais plutôt par leurs aptitudes mathématiques, d'où le fort attrait du génie chimique, qui relève plus de la mécanique que de la chimie.

### Remerciements

Nous remercions MM. P. Petiau, G. Pontier (concours d'admission), Mme F.

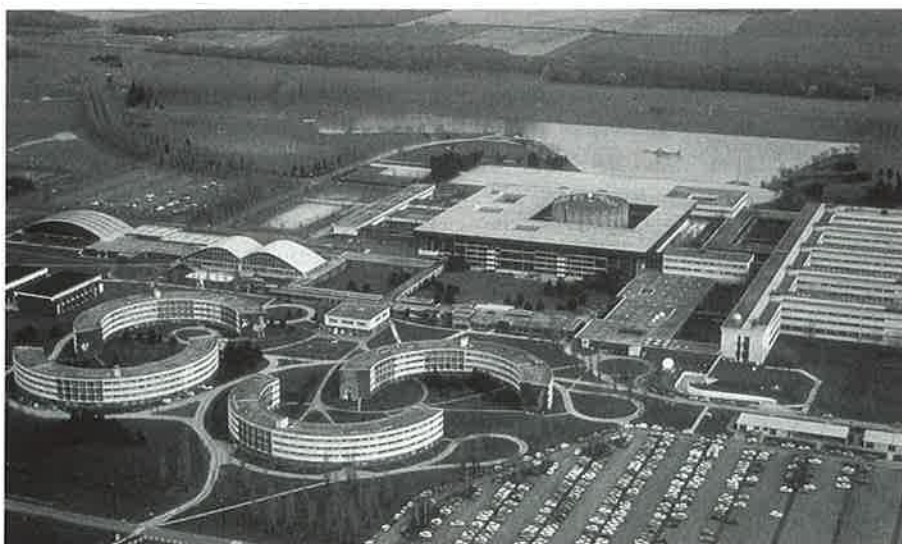
Masson, Mlle C. Billoux et toute l'équipe des archives de la Bibliothèque centrale de l'X pour leur aide précieuse. *Last but not least*, M. E. Grison nous a généreusement communiqué son dossier sur l'enseignement de la chimie à l'X (1794-1950), dossier contenant des études de Mmes et MM. D. Bayart, M. Blondel-Megrelis, M. Charpentier-Morizé, J. et P. Fournier, E. Grison, C. Kounelis, P. Laszlo, L. Nekoval-Chikhaoui, F. Pavé, E. Roth et H. Tron, auxquelles nous devons beaucoup. Sans ces travaux, pour la plupart inédits, la partie historique de cet article aurait nécessité bien plus de recherches.

### Références

- [1] Tron H., *L'enseignement de la chimie à l'École Polytechnique (1794-1880)*, Thèse pour le diplôme d'archiviste paléographe, p. 44.
- [2] Grison E., *L'enseignement de la chimie vu de la Direction des Études (1870-1950)*, texte inédit.
- [3] «...après avoir été introduite entre 1920 et 1925 par Jean Becquerel en physique, puis par Paul Painlevé en mécanique, (la relativité) disparaît des programmes de l'enseignement intérieur de l'école pour ne réapparaître qu'en 1936-1937 dans les cours de Léauté et Leprince-Ringuet» (A. Picon, *La formation polytechnicienne 1794-1994*, sous la direction de B. Belhoste, A. Dahan Dalmedico, A. Picon, Dunod, 1994, p. 172).
- [4] Kounelis C., Heurs et malheurs de la chimie. Les réformes des années 1880, *La formation polytechnicienne*, p. 245.
- [5] Charpentier-Morizé M., Nekoval-Chikhaoui L., Un enseignement en crise : la chimie dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle, *La formation polytechnicienne*, p. 369.

### Notes

- 1 Ministère de la Guerre, Instruction pour l'admission à l'École polytechnique, 1849.
- 2 Chaque candidat doit passer un examen de TP tiré au sort entre la physique (2/3) et la chimie (1/3).
- 3 Sondage effectué auprès des élèves de la promotion X 91 (75 % M' et 25 % P'). Des résultats analogues ont été obtenus avec la



L'École polytechnique à Palaiseau (photo École Polytechnique, Jean-Luc Daniel).



Cérémonie officielle de passation du drapeau, tenue le 10 mars 1994 dans le cadre de la célébration du bicentenaire de l'École Polytechnique (photo École Polytechnique, Jean-Luc Daniel).

Nobel de médecine 1929, dira que c'est «one of the highest achievements of the human mind». Pour Richard P. Feynman, prix Nobel de physique 1965, la chimie organique est «one of the most fantastic pieces of detective work that has ever been done». Ces éloges ne sont pas immérités, si l'on considère que les organiciens du siècle dernier, avec l'analyse centésimale comme unique outil, étaient arrivés à construire une théorie puissante, permettant entre autres de déterminer la structure spatiale des molécules.

11 L'examen des sommaires montre que pendant plus de 150 ans, la chimie physique représentait à peine 10 % des cours. Au siècle dernier, la chimie industrielle (métallurgie, poudres et explosifs, corps gras, colorants,

mortiers et ciments, céramiques et verres, sans oublier la fabrication du vin, de la bière et même l'industrie des os) tenait une place au moins aussi importante. E. Roth (La chimie à l'X de Thénard Gay-Lussac à Frémy Cahours, inédit), parlant du contenu des cours, souligne que «le caractère appliqué est dominant». P. Fournier (L'enseignement de la chimie à l'École polytechnique au début du XXe siècle (professorats de Lemoine et de Colson), inédit) fait la même remarque.

12 Les travaux expérimentaux sont obligatoires mais, à cause de l'engorgement de l'emploi du temps, les élèves doivent choisir entre plusieurs disciplines.

promotion X 90. A titre de comparaison, les pourcentages sont de 5 (5) pour la mécanique quantique; de 6 (10) pour la physique statistique, de 25 (20) pour la mécanique des solides, de 19 (23) pour l'analyse, de 32 (38) pour les maths appliquées, de 50 (47) pour l'informatique. Le premier chiffre correspond au choix qui serait fait à l'arrivée et le second à celui de la fin de la première année.

4 Saluons au passage le dévouement de ce groupe informel de professeurs de chimie, venant de tous les coins de France, qui se réunit régulièrement pour échanger leurs expériences, leurs documentations afin d'améliorer leur enseignement.

5 Mis à la retraite d'office pour avoir signé une pétition en faveur de Dreyfus.

6 La situation n'était pas bien meilleure à l'Université. Vers 1965, un professeur de chimie physique parlait de «l'OM du butadiène qui contient ses 4 électrons  $\pi$ ». Un livre de chimie minérale des années 50 classait les métaux d'après les propriétés physiques de leurs sels et mettait Na et K dans deux sous-groupes différents. En chimie organique, des professeurs ignoraient sereinement les mécanismes de réactions. Le premier livre sur le sujet parut en 1957, écrit par deux industriels, J. Mathieu et A. Allais. Enfin, Woodward a failli ne pas prendre Viehe comme postdoc, ce dernier ayant passé un an en France...

7 Sommaire du cours professé devant les X 66 : OA (énergies discrètes, approximation mono-électronique, structures spatiales) ; OM, Aufbau, Pauli, séparation  $\sigma$ - $\pi$ , diatomiques,

Hückel ; mésomérie ; complexes de Werner ; forces de van der Waals ; thermodynamique chimique ; spectroscopies rotationnelles, vibrationnelles et électroniques ; résonance magnétique ; fonctions de partition déduites des données spectrales ; applications à la chimie de la thermodynamique statistique ; cinétique ; mécanismes réactionnels ; stéréochimie.

8 A l'X, les PC désignent les séances de travaux dirigés (durée actuelle : 2 h), animées par des maîtres de conférences, généralement des DR au CNRS ou des professeurs d'université.

9 Introduites pour la première fois en 1942 en petit nombre (3 à 6 séances de 1 h 30 pour une trentaine de leçons magistrales) et uniquement dans 4 disciplines (analyse, géométrie, physique et mécanique), les PC étaient initialement des répétitions de cours. J. Mandel dont le cours de mécanique fut pendant des années le seul à contenir des exercices gradués avec solution - semble être le premier à saisir dès 1950 l'intérêt d'une plus grande proportion de PC. La parité entre PC et leçons n'a cependant été adoptée pour l'ensemble des disciplines scientifiques qu'en 1970 ; la chimie et les maths appliquées ayant obtenu entre temps (1955) des PC. Actuellement, le nombre de PC dépasse légèrement celui des leçons. L'accroissement des PC, très positif du point de vue pédagogique, a l'inconvénient d'alourdir l'emploi du temps en augmentant pratiquement de moitié le nombre d'heures d'enseignement programmé, bien qu'on ait sévèrement rogné sur les leçons.

10 dont Sir Frederick Gowland Hopkins, prix