

# Les maîtrises de chimie physique : passé, présent et futur\*

La Société de Chimie physique a créé il y a bientôt deux ans une Division Enseignement, dont l'animation a été confiée à J.L. Rivail (Chimie théorique, Nancy). Le groupe de travail réuni dans cette Division s'est donné pour première tâche, avec l'accord du Conseil de la société, d'examiner les problèmes de l'enseignement de la chimie physique. Cet examen apparaissait important et relativement urgent puisque l'on constatait à travers toute la France une diminution du nombre des étudiants en chimie et que les maîtrises d'un niveau élevé (cas de celles de chimie physique) figurent naturellement parmi les plus touchées. Il a donc paru important d'évaluer la situation, les problèmes et certains remèdes qui peuvent être envisagés. On trouvera ci-dessous les premières conclusions de ce groupe de travail.

Il est des disciplines carrefour. Ainsi la chimie biologique applique les méthodes de la chimie à l'élucidation des mécanismes fondamentaux de la vie. D'une manière un peu comparable, l'utilisation des méthodes expérimentales, ainsi que des théories, de la physique dans la recherche d'une compréhension plus détaillée des atomes, ions, molécules, cristaux, de leurs interactions et de leurs réactions définit un large champ d'activité que l'on regroupe sous le vocable de chimie physique.

C'est à la fin du siècle dernier et au début de ce siècle que cette discipline a commencé à se développer. Point n'est besoin de rappeler le rôle capital qu'ont joué les travaux de Faraday dans le développement de l'électrochimie et, partant, de nos connaissances sur la matière condensée, ni d'insister sur les développements industriels auxquels ils ont conduit.

La chimie physique a rapidement acquis droit de cité en France avec la création des premiers enseignements universitaires de ce nom à Nancy dès 1894 (P. Th. Muller), à Paris avec Jean Perrin considéré à plus d'un titre comme le fondateur de la chimie physique française et la création de la Société de Chimie-physique (1908). L'enseignement se développe rapidement et des certificats spécialisés sont institués dans la plupart des Facultés des Sciences. Enfin, la réforme des études supérieures scientifiques de 1967 crée dans de nombreuses universités une Maîtrise de chimie physique.

Au moment où les universités s'interrogent sur leurs filières de formation, la Société de Chimie physique a jugé opportun d'étudier quel a été l'apport de cette formation spécialisée, de s'interroger sur son avenir et a confié cette tâche à sa Division "Enseignement" nouvellement créée. Les propos développés ci-dessous reprennent les points principaux de cette étude.

## Caractéristiques de la Maîtrise de chimie physique

L'enseignement propre à la maîtrise commence après les deux années de premier cycle. Sa durée normale est de deux ans et il comporte quatre certificats dont trois dotés d'un programme national, le quatrième pouvant être choisi sur une liste propre à chaque université.

Les programmes et horaires hebdomadaires de la partie non optionnelle peuvent se résumer comme suit :

### C<sub>1</sub> "Liaisons chimiques et spectroscopie,"

Mécanique quantique ; Liaisons chimiques ; Spectroscopie ; Cours magistral : 3 h. Travaux dirigés : 3 h. Travaux pratiques : 4 h.

### C<sub>2</sub> "Thermodynamique et cinétique chimique,"

Thermodynamique chimique ; Electrochimie ; Cinétique et Cristallographie Cours magistral : 4 h. Travaux dirigés : 2 h. Travaux pratiques : 4 h.

### C<sub>3</sub> "Chimie systématique"

Chimie minérale et chimie organique Cours magistral : 3 h. Travaux dirigés : 2 h. Travaux pratiques : 5 h.

Leur détail révèle la volonté d'instituer un enseignement de haut niveau voué essentiellement à la formation de chercheurs destinés aux laboratoires tant universitaires qu'industriels.

## Bilan de huit années

13 établissements universitaires (sur 73) ont été habilités à délivrer une Maîtrise de chimie physique, et lors de sa création, cette filière de formation a connu un succès réel quant au nombre d'étudiants inscrits. La diminution ultérieure du nombre d'étudiants en sciences s'est évidemment répercutée sur ces effectifs et à la rentrée 1975, plusieurs universités se sont retrouvées dans l'obligation d'abandonner cette filière. Néanmoins, les universités ayant un nombre important d'étudiants, ou celles où la chimie physique bénéficie d'une longue tradition de qualité (Paris VI, Paris VII, Orsay, Lyon, Marseille-Provence, Grenoble, Nancy, Montpellier), ont pu maintenir cet enseignement, en réalisant parfois un découpage des certificats en unités de valeur pouvant intervenir simultanément dans d'autres filières. Enfin, tout ou partie du programme de la maîtrise ayant été souvent adopté pour la formation chimique de base dans des écoles d'ingénieurs, d'autres universités (Bordeaux, Strasbourg, Toulouse) ont pu continuer à offrir à leurs étudiants la possibilité de préparer ce titre. Il convient d'ajouter à ces remarques le fait que la Maîtrise de chimie physique s'est rapidement révélée comme la mieux adaptée à la préparation à l'agrégation de chimie, et

attire de ce fait un public plus large que celui pour lequel elle semblait avoir été conçue. C'est ainsi que les Ecoles Normales Supérieures la recommandent vivement à leurs élèves chimistes.

Mis à part ceux qui exercent dans l'enseignement du second degré, les Maîtres en chimie physique se retrouvent nombreux dans les laboratoires de recherche universitaire ou dans l'industrie. Dans ce dernier cas, leur entrée dans la vie active s'est faite presque toujours après un complément de formation d'environ deux années qui a consisté soit en la préparation d'un doctorat de troisième cycle (plus rarement d'Etat), soit en la préparation d'un diplôme d'ingénieur après admission sur titre dans une école. Il convient d'ailleurs de souligner que plusieurs E.N.S.I. de chimie, et en particulier celles dont le niveau physico-mathématique est le plus élevé, n'admettent sur titres que des titulaires de la Maîtrise de chimie physique.

A l'expérience, la Maîtrise de chimie physique apparaît donc comme une filière quelque peu élitiste, s'adressant à un nombre restreint d'étudiants. Ses débouchés sont variés et son niveau élevé n'est contesté par personne, ni à l'intérieur, ni à l'extérieur de l'Université.

## Perspectives d'avenir

En période de crises (économique, sociale et universitaire), la tentation est grande de donner la priorité à des formations à caractère utilitaire, qui se feront forcément au détriment de formations plus fondamentales par suite de la stagnation du nombre des étudiants et de la nécessité de ne pas surcharger abusivement les programmes. La disparition généralisée des maîtrises fondamentales, et en particulier de la Maîtrise de chimie physique, risque d'être lourde de conséquences à long terme. En effet, les développements de la chimie expérimentale et de ses applications dépendent en grande partie du progrès et de la diffusion de connaissances situées en amont, qu'il s'agisse de la structure de la matière ou des techniques physiques d'étude de celle-ci. Il suffit pour s'en convaincre de regarder la révolution qu'a apporté à la chimie organique l'introduction de concepts nouveaux tirés de la mécanique quantique ou des puissantes techniques spectroscopiques modernes.

D'autre part, les bouleversements économiques auxquels nous assistons, dont les conséquences ne sont pas toutes prévisibles, conduiront sans aucun doute à revoir entièrement certains procédés, soit de production d'énergie, soit de fabrications industrielles qui feront appel, dans de nombreux cas, à des phénomènes physiques ou physico-chimiques non encore exploités. Par exemple, on pense actuellement qu'une meilleure utilisation de l'énergie solaire sera

possible au moyen de piles photogalvaniques dont la mise au point fera appel à des spécialistes suffisamment avertis de la nature même des phénomènes physico-chimiques mis en jeu pour les maîtriser et imaginer des solutions techniques nouvelles. Cet exemple, comme beaucoup d'autres, se situe exactement au point de rencontre de la physique et de la chimie qui a été défini comme le domaine exact de la chimie physique.

De même, si la pollution et la protection de l'environnement figurent parmi les soucis majeurs de notre époque, il ne faut pas oublier que les solutions à trouver sont d'une grande complexité et que la recherche de la solution à apporter à chaque problème posé par un écologiste fait appel à de très nombreux chimistes et physico-chimistes et parmi les plus imaginatifs. A ce propos, il semble utile de rappeler que les tendances à la mode dans le grand public et les offres d'emploi ne coïncident pas nécessairement.

On peut penser par ailleurs qu'une solide formation de base, sur laquelle peuvent s'appuyer les applications les plus diverses, offre le plus de garantie à un employeur qui préfère souvent que l'aspect technologique de l'activité d'un de ses cadres soit acquis sur place par quelqu'un qui a été bien préparé à cette acquisition, par une culture fondamentale suffisamment solide et, bien sûr, une ouverture d'esprit vers les problèmes pratiques qui sont deux aspects nullement incompatibles d'une formation équilibrée.

Cette opinion est en tous cas clairement celle d'un responsable du personnel d'une grande société chimique américaine qui déclarait récemment\* : *"We are much more interested in a sound, basic, scientific education than we are in so-called industrial oriented courses"*.

Ce point de vue se trouve confirmé en France par les résultats d'une enquête effectuée par la Société de Chimie physique auprès de responsables industriels. Parmi les 19 réponses analysées, il apparaît que les matières jugées importantes pour la formation de physico-chimistes destinés à l'industrie sont (dans l'ordre) : Méthodes physiques d'analyses; Cinétique chimique; Chimie organique; Thermodynamique; Chimie physique du solide (15 réponses ou plus).

Chimie minérale; Chimie analytique; Physico-chimie des surfaces; Spectroscopie; Physico-chimie macromoléculaire; Génie chimique; Electrochimie et solvants non aqueux; Chimie industrielle; Informatique; Anglais; Chimie quantique; Interfaces; Electronique appliquée (14 à 10 réponses).

Le contenu du programme actuel de la Maîtrise de chimie physique apparaît

donc tout à fait adapté à la formation de cadres industriels, surtout si l'on se souvient que le quart de l'enseignement est optionnel et peut être consacré à une ouverture vers la vie pratique. Il semble également utile de rappeler qu'un enseignement apparemment très théorique peut déjà réaliser cette ouverture, tout comme un enseignement appliqué qui serait fait d'une énumération de recettes sans justification peut avoir l'effet opposé.

Enfin, il peut être illusoire de viser une insertion professionnelle dès la fin du second cycle. Les diplômés d'études supérieures spécialisés (DESS) n'ont-ils pas été créés en 1975 pour assurer une préparation des Maîtres ès sciences à la vie active ? Il ressort en tous cas clairement de l'enquête citée précédemment que les employeurs éventuels estiment que le niveau optimal est atteint après un complément de formation sous la forme :

- soit d'un doctorat de spécialité (3<sup>e</sup> cycle) : 14 réponses
- soit par deux années d'application (vraisemblablement en école d'ingénieur) : 9 réponses

La maîtrise seule n'est envisagée par aucune réponse et une spécialisation en un an ne recueille qu'un suffrage. Ce dernier point provient peut-être d'un manque d'information sur les D.E.S.S.

### Propositions

Les membres de la Division Enseignement de la Société de Chimie physique qui se sont chargés de cette étude ont donc été amenés à constater que le programme actuel de la Maîtrise de chimie-physique était tout à fait compatible avec les objectifs qui doivent être ceux d'une formation de 2<sup>e</sup> Cycle universitaire, et à souhaiter que cet enseignement continue à être dispensé, au moins dans quelques universités.

En revanche, ils ont été amenés à formuler des propositions, essentiellement d'ordre pédagogique, pour développer davantage chez les étudiants la rigueur, la créativité, l'aptitude à communiquer et l'ouverture pluridisciplinaire.

Le sujet qui a été abordé avec le plus de détail par la Commission concerne l'amélioration des travaux dirigés et des travaux pratiques. Toutefois, la répartition des matières entre les deux années peut être remise en question. En particulier, les principales disciplines peuvent être enseignées sur deux années au lieu d'une seule. Cette formule permet un programme annuel plus diversifié et sans doute une meilleure assimilation par l'étudiant par suite des indispensables redites. Elle peut en revanche présenter l'inconvénient d'allonger encore le temps d'enseignement.

Il semble souhaitable d'insister très fortement auprès des étudiants sur le lien qui unit les divers enseignements entre eux et pour cela rechercher des solutions pédagogiques qui traduisent cet état de fait

(participation de l'enseignant magistral à certaines séances de TD et TP, etc...)

On pourrait aussi insister sur le développement de l'autonomie intellectuelle des étudiants et les inciter à abandonner le comportement scolaire qu'ils conservent à leur entrée en 2<sup>e</sup> cycle. Des modes de contrôle originaux et une révision de la pédagogie des travaux pratiques donnant à l'étudiant un rôle moins passif peuvent aider à atteindre cet objectif.

Au niveau des travaux dirigés, il faudrait concevoir plusieurs étapes : l'exercice simple d'application du cours, le problème centré sur une question vaste grâce auquel il est possible de montrer aux étudiants une discussion de résultats expérimentaux, enfin un travail bibliographique comportant lecture et analyse d'un ou plusieurs articles.

Les travaux pratiques devraient également comporter plusieurs étapes : les étudiants doivent acquérir suffisamment d'autonomie pour être capables de réaliser seuls et complètement des expériences extrêmement simples et classiques, dans une seconde étape, ils doivent s'initier aux méthodes expérimentales de la physico-chimie, cette initiation les amenant à la réalisation sinon à la conception d'expériences plus élaborées.

Une revalorisation des travaux pratiques, en créant par exemple une unité pratique à côté des unités de valeur théoriques, a été souhaitée.

Il a été beaucoup insisté par ailleurs sur l'utilité d'un stage pratique de longue durée (6 semaines au moins). Le stage industriel bien préparé serait sans aucun doute la formule la plus enrichissante pour l'étudiant car elle lui permet d'entrer en contact avec un milieu de travail différent de celui qu'il connaît et de prendre conscience de ses possibilités d'insertion dans ce milieu. Cette formule se heurte cependant à des difficultés. Sa généralisation dans toutes sortes de filières de formation (Écoles d'ingénieurs, Maîtrises de sciences et techniques, IUT) coïncide avec une conjoncture particulièrement défavorable pour des raisons économiques. Le stage dans un laboratoire de recherche universitaire peut être une solution satisfaisante dans la mesure où l'étudiant se voit confier un problème à sa mesure avec les moyens matériels et l'encadrement suffisants pour permettre sa résolution. Ce stage pourrait constituer une autre unité de valeur obligatoire (en 2<sup>e</sup> année).

Enfin, un enseignement de langue anglaise s'impose car les efforts faits au 1<sup>er</sup> cycle apparaissent insuffisants. Il semble en particulier que l'inefficacité, souvent constatée, de l'enseignement des langues, provienne d'un horaire trop limité. Il est donc souhaitable de prévoir une place importante pour l'anglais dans les programmes. Les objectifs de cette formation (limitée ou non au langage scientifique, lu, écrit ou parlé) ainsi que l'horaire correspondant, seraient à examiner avec des spécialistes.

\* Conférence prononcée le 17 octobre 1975 par B.W. Rossiter (Eastman Kodak Cy.) devant la Chambre de commerce de Rochester (N.Y.U.S.A.)

Il s'agit donc bien de repenser l'esprit et les méthodes de l'enseignement plus que la science elle-même. Cette remise en cause était jusqu'ici souvent gênée par le cadre rigide du programme national et de son déroulement sur les deux années. L'abandon de ce cadre et le découpage du programme en unités de valeurs apporteraient plus de latitude pour un renouvellement de pédagogie auquel aspire la grande majorité des universitaires.

Ce découpage en unités permettrait en

outre d'éviter la multiplication des enseignements par la création d'unités communes à plusieurs maîtrises. Ainsi la filière chimie physique n'apparaîtrait pas comme concurrente de celles de physique ou de chimie, comme cela a été parfois ressenti, mais comme leur complément naturel et le lien entre deux disciplines très étendues et souvent si complémentaires.

Un tel dispositif garantirait en France un certain nombre de centres où la chimie physique serait enseignée à un niveau

comparable à celui où elle l'est dans les pays étrangers, afin d'assurer aux employeurs la possibilité de recruter les physico-chimistes dont ils pourraient avoir besoin.

Simultanément, un potentiel de recherche de qualité pourrait continuer à fournir aux utilisateurs des méthodes de la chimie physique essentiellement chimistes et biochimistes, les services et les spécialistes indispensables aux progrès de leur propre discipline.

## Le matériel didactique pour l'enseignement de la chimie en Europe

### Observations faites à DIDACTA 77\*

par Maurice Gomel

#### Didacta

Cette manifestation permet aux professionnels intéressés par les techniques modernes d'enseignement et concernés par leur emploi et leur expérimentation ou leur commercialisation, d'accéder à un panorama des matériels disponibles dans divers pays européens (Europe de l'Est et de l'Ouest).

Toutes les disciplines sont représentées à Didacta et, en principe, à tous les niveaux d'enseignement.

#### Observations générales

De nombreux pays européens ont déjà développé une "industrie didactique" (nationalisée ou privée) prouvant l'existence (au moins dans ces pays) d'un marché, et donc d'un équipement didactique renouvelé des établissements d'enseignement. Cette situation peut être opposée à la pauvreté de l'équipement didactique en France, au petit nombre des entreprises\*\* qui exercent une activité "pionnière" dans le domaine de cet équipement et à l'unique établissement national permanent, le C.N.D.P., chargé en France de créer et produire dans ce domaine et pratiquement à un seul niveau, celui de l'enseignement du second degré.

Dans tous les cas, l'ensemble des prix des équipements proposés à Didacta paraissent élevés pour les budgets français actuels.

La nécessité s'impose à chaque pays de disposer d'équipements didactiques confor-

mes à ses propres programmes, et dotés de textes en langue nationale. Mais on peut noter pour un même pays, dans de nombreux cas, le caractère discutable de la "concurrence" commerciale, conduisant en fait à produire des matériels voisins entre eux, mais rarement compatibles, conduisant souvent à des créations d'originalité douteuse.

N.B. L'Angleterre, dont on connaît par ailleurs les multiples innovations productions en didactiques de la chimie réalisées au cours des dix dernières années, paraissait insuffisamment représentée à Didacta 77.

#### La place de la chimie

La "place" faite à la chimie en France (un strapontin, suspendu à la chaise de la physique, à côté du fauteuil mathématique) paraît particulière en Europe, si l'on en juge d'après la multiplicité des matériels (de laboratoire de travaux pratiques surtout) proposés par tous les autres pays. La place plus sérieuse réservée à la chimie hors de France paraît confirmée par le niveau même des productions présentées : un grand nombre des productions (livres, transparents, etc...) concernant dans ces pays l'enseignement en classes terminales (ou même d'autres classes de notre second cycle du second degré) ne seraient guère déplacées dans le 1<sup>er</sup> cycle de l'enseignement universitaire en France.

#### Caractères communs aux productions en chimie

Les équipements normalisés (par marque) pour les laboratoires de travaux pratiques de chimie, dominant.

Pour les aspects autres que les travaux pratiques, le "livre de chimie" continue de régner en maître, mais on note :

● l'élaboration de "systèmes" complets d'enseignement intégrant : livre "cours", livret "élève", fascicule "tests" etc... (systèmes inspirés peut-être du projet anglais Nuffield, dont on pouvait regretter qu'il n'ait pas été présenté intégralement).

● la production (en R.F.A. surtout) de transparents de très bonne qualité technique se développe (voir ci-dessous).

● les séquences de diapositives nécessaires à l'enseignement de la chimie ne sont pas encore disponibles.

L'enseignement programmé ne jouit pas d'une grande faveur en chimie (ce qui peut paraître assez normal, compte tenu de la nature des contenus généralement en cause). Les modèles moléculaires (très variés) continuent de fleurir avec redondance, et souvent à des prix prohibitifs injustifiés.

On notera en conclusion que tout collègue au courant de l'état actuel de la didactique de la chimie, et informé des productions majeures dans ce domaine, ne pouvait pas trouver à Didacta 77 d'"inspiration" originale, mais simplement la confirmation du développement, hors de France, du courant de rénovation didactique de la chimie, dont les preuves au USA, et, plus récemment, en Angleterre, commencent à être connues.

#### Quelques informations complémentaires sur les "teaching aids" examinés

La liste précise des documents cités ci-dessous, avec indication des références nécessaires, peut-être obtenue auprès du Secrétariat des Recherches Coopératives en Didactique de la Chimie, 40, avenue du Recteur-Pineau, 86022 Poitiers Cedex.

Des "transparents" destinés à l'enseignement secondaire en RFA, seraient très utilisables en France (1<sup>er</sup> cycle universitaire) :

● on pouvait en dénombrier 350 disponibles, le plus souvent consacrés aux réactions nucléaires, à l'atomistique, la classification périodique, la liaison chimique, plus exceptionnellement à la chimie organique, éventuellement à la métallurgie.

● à elle seule, une firme propose 233 transparents dont plusieurs sont organisés en "séquences" par thème et sont accompagnés de fiches (en allemand). Les thèmes relevés : atomes, réactions nucléaires, classi-

\* 15<sup>e</sup> Foire Européenne du Matériel Didactique, 7 - 3 - 1977 au 11 - 3 - 1977, Hanovre (RFA). Didacta 78 aura lieu à Bruxelles.

\*\* "Enquête nationale sur les besoins des organismes intervenant dans le domaine de la formation". Application à l'élaboration d'une nouvelle filière : "Méthodes et techniques de formation", 1973, I.P.E.S. Sciences, Université de Poitiers, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers.