

## La chimie d'aujourd'hui face à ses nouvelles missions Conséquences pour les formations supérieures

par Jacques Bénard, (*Membre de l'Institut, Professeur à l'Université Pierre-et-Marie Curie et à l'École Nationale Supérieure de Chimie de Paris.*)



### Repenser la finalité de l'enseignement

La tâche essentielle à laquelle se trouvent confrontés aujourd'hui, plus que jamais, les responsables des institutions d'enseignement scientifique est d'adapter la formation des étudiants aux missions que ceux-ci se verront confier plus tard dans la vie professionnelle. Ceci est vrai aussi bien pour les Universités que pour les Écoles d'ingénieurs. Cette situation étant reconnue, l'urgence et les modalités de cette adaptation font cependant l'objet de nombreuses discussions. Trois ordres de difficultés doivent en effet être surmontés.

Ce sont tout d'abord les difficultés que l'on éprouve lorsqu'on cherche à imaginer ce que seront, dans un monde en rapide évolution, les activités professionnelles confiées aux cadres scientifiques, techniques et économiques de la Nation. On sait combien toute extrapolation vers l'avenir de ce qui s'est produit dans un passé récent est hasardeuse.

Des difficultés d'un autre ordre résultent de la diversité des voies que peuvent suivre plus tard des étudiants engagés initialement dans un même cursus. Faut-il mieux dispenser une formation relativement générale, ce qui facilite les reconversions ultérieures éventuelles, ou au contraire adapter plus étroitement la formation à l'accomplissement de tâches précises ce qui accroît l'efficacité immédiate ? C'est la discussion jamais close entre les mérites du généraliste et ceux du spécialiste.

Restent enfin, et ce ne sont pas les moindres, les difficultés qui résultent de la pesanteur des habitudes acquises. Ceux d'entre nous qui vivent dans les milieux de l'enseignement en connaissent bien les symptômes. Quant aux causes, elles tiennent dans une large mesure au gigantisme et à la structure exagérément centralisée des institutions universitaires. Aussi ne faut-il pas s'étonner que ce soit dans des centres de formation de volume restreint et doués d'une large autonomie, que l'adaptation de l'enseignement ait été souvent la plus efficace.

Je me propose d'examiner, dans ce qui suit, ce qu'est la situation en chimie à cet égard. Il convient tout d'abord de rappeler l'effort de réflexion qui a été réalisé depuis quelques années par un certain nombre de nos collègues en vue d'améliorer l'enseignement de la chimie. Cet effort a porté en particulier sur le contenu des programmes, sur le contrôle des connaissances, sur le développement des activités au laboratoire. Nous devons être reconnaissants à ces collègues de s'être éloignés, pour un temps, de leurs chères études afin de se consacrer à ces problèmes pédagogiques parfois au détriment de leur carrière. Grâce à eux notre pays joue un rôle plus qu'honorable au sein des instances internationales qui s'en préoccupent et cet effort doit bien entendu être poursuivi.

Mais il ne semble pas que le même effort ait été accompli en vue de procéder à un réexamen des missions que les futurs chimistes, dont nous avons la charge, auront à accomplir dans leur vie professionnelle. En chimie, comme d'ailleurs dans d'autres disciplines, les réformes des cycles universitaires se ramènent trop souvent, sinon dans les déclarations d'intention du moins dans les faits, à une simple redistribution des matières enseignées précédemment suivant des grilles nouvelles, sans qu'une réponse ait été donnée au préalable à la question pourtant essentielle : quel type d'homme, ou de femme, voulons-nous former et pour quoi faire ?

Il faut reconnaître que l'évolution du contexte technique et économique a été si rapide au cours des dernières décennies que l'élaboration d'une doctrine éducative appropriée est particulièrement délicate. En effet, si les membres du corps enseignant sont parfois mal informés de la nature des activités qui seront confiées plus tard à leurs élèves dans la vie professionnelle (reproche fréquemment formulé) les industriels sont

pour leur part extrêmement divisés au sujet des profils qu'ils souhaitent pour leurs futurs cadres. Ces divergences se manifestent jusqu'au sein d'une même société que l'on s'adresse au responsable de tel ou tel service.

Pour essayer de voir clair dans cette situa-

tion complexe et évolutive, il paraît nécessaire de raisonner par récurrence en se posant successivement les trois questions suivantes :

1. Quel rôle sera dévolu à la chimie dans l'ensemble des activités industrielles au cours des prochaines décennies ?

2. Ce rôle étant connu, quelles seront les missions qui incomberont aux chimistes dans leur vie professionnelle ?

3. Ces missions étant connues, quel type de formation est-il souhaitable non seulement pour les chimistes mais encore pour les non chimistes ?

## La chimie dans l'industrie hier et aujourd'hui

La place occupée par la chimie dans le monde industriel était jadis clairement définie. Il existait une industrie chimique consacrée essentiellement à la préparation d'un nombre limité de produits de base : engrais, solvants organiques, acides, bases et sels minéraux. Des entreprises spécialisées se consacraient en outre à l'élaboration de produits plus sophistiqués : pigments minéraux, colorants organiques, produits pharmaceutiques, encres, colles, peintures et vernis. L'ensemble de ces industries constituait un monde très particulier, peut ouvert vers l'extérieur et dont les membres, jaloux de leur savoir-faire, étaient peu soucieux de justifier l'utilité de leurs activités. Les étudiants, qui s'engageaient dans cette voie, devaient acquérir une formation, en général très spécialisée, dans une École de chimie ou dans une Université. Hors ce cadre strict, le chimiste n'avait que peu de possibilités d'exercer son art dans des conditions telles que sa compétence soit véritablement utilisée. Ceci explique, soit dit en passant, son extrême vulnérabilité sur le marché de l'emploi toutes les fois que l'économie entrait en récession.

Bien différente est maintenant la situation à laquelle sont confrontés les jeunes chimistes diplômés des Écoles d'ingénieurs ou des Universités à leur arrivée dans l'industrie. Au cours des dernières décennies, un certain nombre d'industries, qui étaient considérées jadis comme totalement étrangères à la chimie, ont vu leur activité évoluer dans un sens qui fait jouer à celle-ci un rôle de plus en plus important. Cette situation est souvent méconnue, y compris de certains chimistes, ce qui explique la trop lente adaptation de l'enseignement de notre discipline et la désaffection dont elle continue de pâtir dans l'esprit de beaucoup de membres du corps enseignant. Quant à l'opinion publique, dont les chimistes n'ont commencé à se préoccuper que lorsqu'elle a commencé à les mettre en accusation sur le thème de la pollution, elle n'a aucune idée de ce nouvel état de choses. Je n'en veux pour témoignage qu'un souvenir récent qu'on me permettra d'évoquer.

Au cours d'un colloque qui réunissait l'an dernier à Mulhouse, sous les auspices du CNRS, des personnalités venues des horizons les plus variés sur le thème de *l'Image de la Chimie*, un journaliste scientifique voulant illustrer le peu d'intérêt que ses lecteurs manifestaient pour la chimie disait que par-

mi toutes les lettres qu'il recevait, il n'y avait jamais de question posée à son sujet, mais qu'en contrepartie il était assiégré de questions sur les médicaments, la pollution, le nucléaire, l'énergie, les matériaux. Cette remarque illustre simplement l'ignorance dans laquelle l'opinion publique se trouve en ce qui concerne le rôle décisif que joue maintenant la chimie dans tous ces thèmes d'actualité.

En ce qui concerne le rôle de la chimie dans la thérapeutique, tout développement serait superflu. Il est bon cependant de souligner que le regain d'intérêt accordé aux substances naturelles, bien loin de restreindre le rôle du chimiste, a ouvert au contraire à celui-ci un nouveau champ d'action encore à peine exploré. Non moins évident est le rôle croissant joué par la chimie dans l'industrie des matières odorantes et dans tout le secteur des industries agro-alimentaires.

Mais il nous faut maintenant évoquer des exemples moins connus, tels ceux de l'industrie électronique et de l'industrie nucléaire. L'élaboration des matériaux utilisés en électronique met aujourd'hui en jeu les techniques les plus fines de la chimie moderne : purification ultime du silicium et du germanium, préparation de monocristaux, dopage par des traces d'éléments d'addition soigneusement dosées, fixation rigoureuse d'écarts à la stoechiométrie. La réalisation des circuits intégrés exige en outre une maîtrise de la science des surfaces et des interfaces qui relève autant de l'art du chimiste que de celui du physicien. L'histoire des progrès réalisés dans l'élaboration des nouveaux matériaux magnétiques : oxyde de chrome, ferrites, grenats, montre que ceux-ci n'ont pu être réalisés que grâce à une collaboration étroite de physiciens et de chimistes de haut niveau au sein d'équipes industrielles ou universitaires. La situation est identique dans le cas des matériaux ferro-électriques, photo-conducteurs et luminescents.

Venons en à l'industrie nucléaire. On est rarement conscient du fait que la mise en œuvre des réacteurs pose des problèmes qui relèvent dans une large mesure de la compétence des chimistes : corrosion des cuves et des installations annexes, élaboration des combustibles sous une forme appropriée, retraitement de ces combustibles en vue de la séparation de leurs constituants, purification des effluents. La chimie minérale des solutions aussi bien que celle de l'état solide ont

été appelées à résoudre dans ce domaine une multitude de problèmes nouveaux, rendus particulièrement complexes en raison de l'influence des radiations sur la réactivité des matériaux.

L'évolution actuelle de la métallurgie fine tend, elle aussi, à accorder un rôle accru à la chimie dans la mesure où les exigences des utilisateurs en matière de qualité des matériaux deviennent de plus en plus sévères et où la composition d'alliages réservés à des usages spéciaux devient de plus en plus complexe. On prend maintenant conscience du fait que les opérations d'élaboration des métaux et la maîtrise des traitements thermiques auxquels on les soumet ne peuvent échapper à l'empirisme que grâce à une meilleure connaissance des processus physico-chimiques dont ils sont le siège.

De façon plus générale, l'emprise de la chimie sur toutes les industries qui gravitent autour de l'habillement, du logement, des transports va croissant. Qu'on s'en réjouisse ou qu'on le déplore, l'homme vit aujourd'hui dans un univers où la nécessité de substituer aux matériaux et aux substances naturelles des produits élaborés par l'industrie est imposée par la croissance démographique et l'urbanisation. Or à l'origine de la chaîne d'innovations qui conduit de la manifestation d'un besoin à la découverte et à la production du produit qui permet de la satisfaire, il est bien rare que le chimiste ne soit pas appelé à jouer un rôle souvent décisif.

Ces exemples montrent que contrairement à ce que nous avons connu dans le passé, la chimie ne peut plus être considérée de nos jours comme une spécialité qui ne trouve son épanouissement que dans le cadre des seules industries chimiques traditionnelles. Elle est appelée maintenant à jouer un rôle décisif dans les secteurs les plus variés. Cette évolution se concrétise actuellement sous nos yeux dans la restructuration de nombreux groupes industriels dont la vocation était à l'origine purement chimique, qui prennent maintenant des participations et vont même jusqu'à absorber des entreprises vouées à l'utilisation des matériaux qu'ils produisent. A l'inverse d'autres groupes, dont la vocation initiale était entièrement étrangère à la chimie, développent en leur sein d'importantes unités de recherche et de production destinées à alimenter en matériaux appropriés à leurs besoins, leurs propres chaînes de montage.

## La chimie devant les grands défis du monde actuel

La place croissante occupée par la chimie dans les secteurs industriels les plus variés ne

reflète qu'imparfaitement le rôle qu'elle est désormais appelée à jouer dans l'avenir. On

constate en effet que les trois grands défis techniques auxquels sont contraintes de faire

face les nations industrielles : énergie, matières premières, pollution, sont tributaires, dans une large mesure, de l'intervention des chimistes.

Considéré sous sa forme traditionnelle qui est l'exploitation rationnelle ou la transformation des combustibles fossiles, le problème de l'énergie constitue évidemment un domaine privilégié pour les chimistes. Mais ceux-ci sont également appelés à intervenir dans l'alternative nucléaire comme nous l'avons rappelé il y a un instant, et même dans l'alternative solaire. Qu'il s'agisse de produire, de transformer ou de stocker l'énergie sous quelques formes que ce soit, le recours aux chimistes est inévitable.

L'approvisionnement de l'industrie en matières premières, autres que celles utilisées comme sources d'énergie, bien que moins

critique que celui des combustibles fossiles, prendra peu à peu et prend déjà dans certains cas particuliers un caractère inquiétant. La nécessité de recourir à des minerais de plus en plus pauvres et celle de procéder, en particulier pour les métaux rares, à une récupération de ces éléments remettront bien souvent en cause des méthodes pratiquées de longue date et impliqueront la mise au point de procédés nouveaux. Là encore de nombreuses industries vont se trouver confrontées à des difficultés nécessitant un recours à des spécialistes avertis de la chimie des métaux.

Quant au défi de la pollution, il n'est pas besoin d'une longue réflexion pour se rendre compte que si dans certains cas les chimistes en portent la responsabilité, ils sont les seuls à savoir y porter remède sur le plan technique. Encore faut-il ensuite faire appliquer les

solutions qu'ils préconisent par des dispositions réglementaires appropriées et surtout faire accepter aux intéressés, c'est-à-dire à nous tous, les charges financières parfois très lourdes qu'elles entraînent.

Les trois défis qui viennent d'être évoqués concernent surtout les nations fortement industrialisées. Mais d'autres défis, auxquels la chimie n'est pas étrangère, s'imposent d'une manière dramatique aux nations en voie de développement : celui de la faim, celui de la santé, celui de la surnatalité. Face à ces grands problèmes c'est seulement par un travail en équipe que des solutions peuvent être trouvées. Dans ces équipes le chimiste est appelé à travailler en liaison étroite avec des physiciens, des biologistes, des géologues, des agronomes et, ne l'oublions pas, des économistes.

## Pour une évolution nécessaire de la formation des chimistes

La situation actuelle de l'industrie et les grands défis technologiques auxquels doivent faire face les Sociétés modernes, que nous venons d'évoquer, semblent remettre en question, d'une manière inéluctable, le type de formation traditionnelle des chimistes qui était jadis adopté dans les Universités et dans la plupart des Écoles supérieures consacrées à cette discipline. Cette formation hautement spécialisée était sans doute excellente pour préparer les futurs cadres d'une industrie dont le champ d'action était strictement défini et l'évolution relativement lente. Elle prépare mal en revanche les étudiants à affronter les tâches variées auxquelles ceux-ci auront à faire face désormais dans la vie professionnelle et à surmonter les reconversions auxquelles ils auront toutes chances de se voir confrontés plus tard.

Cette remise en question nécessaire de l'enseignement dispensé aux futurs chimistes a-t-elle été réellement opérée dans notre enseignement supérieur ? Je crois pouvoir répondre objectivement par l'affirmative pour un petit nombre de cas particuliers et malheureusement par la négative dans la plupart des autres cas. Reprenant la remarque que nous avions faite au début, c'est surtout dans des unités de formation de volume limité et surtout douées d'une certaine autonomie telles que certaines Écoles d'ingénieurs, que la nécessité de cette adaptation a été ressentie le plus tôt et que les conséquences en ont été tirées depuis plusieurs années sur le plan pédagogique. Beaucoup plus rares sont les exemples que l'on puisse citer d'une telle évolution dans les Universités. Dans celles-ci en effet le corps enseignant, fidèle à une tradition respectable, mais semble-t-il dépassée, tend à privilégier à l'excès la finalité purement scientifique et spécialisée de son enseignement de second cycle au détriment de l'insertion de celui-ci dans un cadre plus large. Les étudiants ne s'y trompent pas, qui

cherchent de plus en plus à s'intégrer de préférence dans certains établissements dont ils pensent qu'ils leur assureront une formation orientée plus directement vers les réalités professionnelles.

Cette situation étant reconnue, quelles sont les recommandations précises qui devraient inspirer toute tentative d'adaptation de l'enseignement de la chimie à la situation nouvelle que nous avons décrite, aussi bien dans les Universités que dans les Écoles d'ingénieurs qui se réclament de cette discipline ?

### 1. Il faut ouvrir plus largement aux sciences et aux techniques voisines de la chimie l'enseignement destiné aux futurs chimistes.

Parmi celles-ci, une sélection peut être faite suivant les situations locales entre la physique, la biologie, le génie chimique, la science des matériaux. Les étudiants qui désirent acquérir des connaissances approfondies dans un domaine particulier conservent la possibilité de le faire en préparant un Diplôme d'études approfondies et une thèse de Doctorat qui feront d'eux des experts recherchés par certains employeurs et de futurs chercheurs. Cette pratique déjà éprouvée évite d'imposer à tous une formation spécialisée dont la plupart n'ont que faire par la suite et qui les rend plus difficilement reconvertis en cas de nécessité.

En ce qui concerne plus particulièrement la physique, il est profondément regrettable que cette discipline soit devenue totalement absente de la licence et des maîtrises de chimie des Universités. On peut, de ce fait, voir des Docteurs ès sciences appelés à professer la chimie dans des établissements d'enseignement supérieur qui ne possèdent pour toute formation dans cette discipline que le léger bagage qu'ils avaient acquis en propédeutique. La suppression de la seconde

thèse sur un sujet de physique qui était de règle jadis n'a fait que confirmer cette orientation déplorable.

Dans le même ordre d'idées, la dualité des maîtrises de chimie et de chimie-physique, qui se perpétue dans certaines universités, provoque un compartimentage des enseignements et une ségrégation prématurée des étudiants qui va à l'encontre de l'évolution de notre discipline aussi bien sur le plan strictement scientifique que sur celui des applications.

### 2. Il faut entraîner de bonne heure les futurs chimistes à travailler au cours de leurs études avec des étudiants relevant d'autres disciplines.

Ceci peut être aisément réalisé au sein de petits groupes opérationnels constitués en vue de la préparation de projets, rapports ou microthèses de nature multidisciplinaire. De telles méthodes, qui sont rarement adoptées, préfigureraient les conditions de travail dans lesquelles se trouveront placés le plus souvent les jeunes diplômés dans la vie professionnelle.

### 3. En marge des activités de types scientifique et technique, les étudiants devraient acquérir la pratique courante d'une langue étrangère et être sensibilisés aux problèmes économiques.

Cette exigence est maintenant satisfaite dans la majorité des écoles d'ingénieurs mais est ignorée dans la quasi-totalité des filières de second cycle purement universitaires. C'est là l'une des raisons parmi d'autres du peu d'intérêt que les milieux industriels manifestent devant les candidatures des étudiants de ces formations. Le temps consacré à ces activités doit cependant rester très limité, contrairement à ce qu'on a pu recommander parfois.

contrepartie indispensable que les étudiants qui se consacrent à ces disciplines possèdent un minimum de connaissances en chimie.

L'ostracisme, qui sévit à l'encontre de la chimie dans certains milieux et en particulier dans les sections mathématiques des classes

## De la chimie pour les non chimistes

De même que nous souhaitons une ouverture de l'enseignement dispensé aux chimistes vers les disciplines extérieures, il paraît en

préparatoires aux grandes Écoles, procède d'une vision rétrograde de ce qu'est le métier d'ingénieur. L'ignorance des diplômés, qui sortent de certaines Ecoles parmi les plus prestigieuses, en matières de chimie même élémentaire ne leur permet que très difficilement d'établir une collaboration constructive avec leurs collègues chimistes en vue de résoudre les problèmes inter-disciplinaires qu'ils auront à résoudre par la suite où qu'ils se trouvent.

Les professeurs qui enseignent la chimie dans ces établissements ou filières de formation universitaires doivent faire l'effort de concevoir leur enseignement sous une forme adaptée aux besoins de ces étudiants. Cette forme sera en général très différente

(approfondissement mis à part) de celle qui s'adresse à de futurs chimistes. L'insuccès de certains de ces enseignements et le discrédit qui en rejaillit sur la chimie sont dus le plus souvent à la méconnaissance de cette règle de bon sens.

Enfin, il est nécessaire d'insister sur la nécessité d'obliger les étudiants, qu'ils soient ou non chimistes, à acquérir deux qualités essentielles qui sont :

- le sens de l'observation et celui de l'expérimentation
- le souci d'orienter l'activité intellectuelle en fonction des objectifs à atteindre bien qu'en fonction de la beauté des raisonnements mis en œuvre dans ce but.

Si j'ai cru devoir insister sur ces aspects généraux de l'enseignement, au risque de paraître trop pragmatiste, c'est parce que nous assistons à une évolution que je juge dangereuse de notre enseignement scientifique supérieur vers une sous-estimation de ces deux qualités qui seront indispensables à la grande majorité de la population étudiante qui vient chercher à l'Université et dans les Écoles un passeport pour la vie active. En suivant cette voie l'Enseignement supérieur remplirait mieux sa mission à l'égard de cette population, sans pour autant faillir à la mission traditionnelle qui est la sienne de former une élite scientifique dans les formations préparant aux divers Doctorats.

Vient de paraître :

## **FIRMENHANDBUCH CHEMISCHE INDUSTRIE 1979-1981**

**TOUTE L'INDUSTRIE CHIMIQUE ALLEMANDE**

11 000 Produits avec noms et adresses de leurs fabricants et distributeurs

1 volume, 448 pages, 21,5 × 30 cm, couverture plastique - Frs 400.-

---

**Diffusion Exclusive « TECHNISIENCES »**