

Un pas important serait franchi dès lors que cette insécurité serait remplacée par un concept politique non pas fait de garanties de principe mais d'un projet clair de l'État sur les possibilités de formation et de formation continue où l'on tiendrait particulièrement compte de la recherche.

Parlons maintenant de l'industrie chimique : le "Fonds" s'est, à mon avis, toujours montré très flexible dès lors qu'il s'agissait d'apporter une aide rapide là où des problèmes sont apparus. Le "Fonds" peut faire des expériences permettant de tester l'efficacité d'une mesure. En général, l'État ne pourra pas avoir cette flexibilité. Jamais nous n'avons envisagé notre tâche comme allant à l'encontre des intérêts de l'État ; ce que nous voulons, c'est créer des incitations. Saisir du neuf, prendre des initiatives, développer des modèles. Notre travail doit être envisagé comme complémentaire et aussi, partiellement, comme un allègement du rôle de l'État. Ne pas formuler des interdictions mais créer des incitations aux efforts individuels ; voilà ce qui nous semble un chemin juste pour motiver des jeunes gens. On peut concrétiser ceci par des distinctions. Ainsi, il a été décidé d'augmenter de 50 % le nombre de bourses Liebig annuellement attribuables. Par ailleurs, il est envisagé de soutenir les candidats à l'habilitation, ainsi que les jeunes habilités, par des crédits d'équipements supplémentaires *. Nous pourrions ainsi, grâce à des propositions financières équivalentes, créer pour ceux préparant leur habilitation, des conditions comparables à celles de scientifiques habilités dans le domaine de la chimie. Ni l'industrie chimique, ni le "Fonds", ne souhaitent cependant apporter une totale garantie financière et professionnelle. Cela ne correspond pas à l'idée que nous nous faisons d'une économie libre. Pas

plus qu'à notre politique de soutien. cela n'exclut pas non plus que, ponctuellement, telle ou telle entreprise ne puisse, en raison d'intérêts particuliers, trouver un arrangement avec un "habilitant" et un habilité. Cela a toujours existé et continuera d'exister. La flexibilité des contacts, des accords, contrats, etc., est grande et a tendance à être étendue".

L'incertitude sur la réussite d'un travail d'habilitation, et donc sur l'objectif professionnel du professorat, subsistera ; elle ne devrait cependant pas nuire à un jeune chimiste qualifié. Même si l'industrie chimique ne peut ni ne désire apporter des garanties totales aux "habilitants", elle ne laissera pas tomber des scientifiques exceptionnellement qualifiés n'ayant pu réaliser leur objectif. "L'industrie chimique ne déconsidérera pas un tel candidat. Un retard d'une année ou deux pour l'entrée dans l'industrie ne constituera pas un gros handicap pour un scientifique ayant une telle qualification" (Erding).

Il est certain que les problèmes liés à la relève scientifique doivent être discutés aujourd'hui. Selon le Professeur Nöth, président de la GDCh : "Il faut montrer que l'habilitation reste encore liée à certains risques. En aucun cas nous ne voudrions que cette discussion donne l'impression que nous incitons tout le monde à fréquenter l'Université qui habilitera tout le monde. Par ailleurs, nous avons un besoin en professeurs hautement qualifiés en vue du renouvellement des postes ; ils auront, à mon avis, de très bonnes chances au cours des 10-15 années à venir. Et nous, professeurs d'université, avons tout intérêt à "gagner" cette relève".

* Entretiens, ces propositions ont été transformées par le "Fonds" en indemnités versées aux candidats à l'habilitation ainsi qu'aux jeunes habilités.

Vers un enseignement cohérent, attractif et actuel de la chimie inorganique au 1^{er} cycle de l'enseignement supérieur

Gérard Montel *

Si la chimie intéresse, actuellement, un nombre croissant d'étudiants, du fait, notamment, des différentes actions qui sont conduites dans ce but par l'industrie et par les milieux de l'enseignement, il faut reconnaître que la chimie inorganique ne constitue pas, tant s'en faut, pour les débutants, un secteur particulièrement attractif de notre discipline ; cette situation est regrettable, que l'on considère ses conséquences actuelles ou à venir.

On doit, en effet, noter que, même si les chercheurs qui s'y consacrent sont relativement peu nombreux, la recherche française en chimie inorganique occupe une très bonne place au plan international. Il est dommage que sa production ne soit pas plus

importante, faute de moyens humains, surtout à une époque où elle joue un rôle de plus en plus important dans l'élaboration des nouveaux produits et matériaux nécessaires au développement des technologies récentes en plein essor (électronique, informatique, énergétique, aérospatiale...) ainsi que dans la compréhension et l'exploitation de processus qui peuvent en paraître éloignés (catalyse homogène et hétérogène, processus biologiques...).

Il apparaît ainsi que l'organisation d'un séminaire consacré à l'enseignement de la chimie inorganique dans le cadre des 5^e Journées de l'innovation et de la recherche dans l'éducation en

Ce texte a été rédigé à partir des comptes rendus des travaux des quatre ateliers des V^e JIREC, animés par MM. Onillon (Chimie du solide), R. Poilblanc (Chimie de coordination), D. Grandjean (introduction de la symétrie), C. Mesnil et B. Liautard (Chimie inorganique descriptive).

* Président du comité de coordination des Olympiades nationales de la chimie.

chimie (V^e JIREC) était particulièrement bien venue : ce séminaire s'est tenu à Pau-Bielle, du 4 au 6 mai 1988, sous l'égide de la division Enseignement de la chimie de la Société Française de Chimie.

Quatre ateliers de réflexion : un même ensemble de préoccupations

Quatre ateliers parallèles ont rassemblé, pendant 1 jour et demi, dans le beau site du village de vacances "L'Arriu-Mage", une cinquantaine d'enseignants et enseignants-chercheurs en chimie intervenant les uns dans les lycées et les classes préparatoires, les autres dans les universités et les écoles d'ingénieurs.

L'objet des réflexions qui ont été conduites était essentiellement la recherche d'une présentation de la chimie inorganique susceptible de la faire apparaître aux étudiants-débutants sous une forme plus attrayante que l'illustration des lois fondamentales de la chimie, ou que la description des fabrications de quelques produits de la grande industrie dont l'actualité remonte souvent à un siècle. Certes, ces enseignements sont utiles, voire nécessaires : mais s'ils sont censés exprimer à eux seuls les préoccupations de la chimie inorganique, on conçoit aisément que celle-ci apparaisse à nos élèves comme un domaine du passé (et dépassé), disparate et incohérent, ce qui correspond à l'inverse de la réalité.

En se situant volontairement dans le cadre des enseignements de premier cycle (DEUG et classes préparatoires), et de leurs relations avec les connaissances acquises au lycée d'une part, avec les formations dispensées en deuxième et troisième cycles universitaires d'autre part, les quatre ateliers ont traité respectivement de :

- la chimie du solide,
- la chimie de coordination,
- la chimie descriptive,
- l'utilisation des symétries comme facteur de cohérence.

On peut dire que le *souci de cohérence* a dominé les réflexions : cohérence entre elles des approches de la chimie inorganique qui s'interpénètrent souvent, cohérence de ce secteur avec les autres domaines de la chimie (chimie théorique, chimie physique, chimie analytique, chimie organique, chimie biologique...), cohérence avec les autres disciplines (physique, biologie, géologie) ; cette cohérence exprime, d'ailleurs, la disparition rapide des frontières entre les différentes sciences.

1) La chimie du solide

L'enseignement de la chimie du solide se heurte à une difficulté de taille : le préjugé de son caractère étrange.

Tout concourt, en effet, dans les enseignements du second degré à présenter les solides comme des corps non réactifs : l'inertie du monde minéral, l'inertie des récipients vis-à-vis des réactifs qu'ils contiennent constituent encore souvent des évidences. Même si l'on décrit la dissolution des solides, leur attaque par un acide ou par une base, le solide est généralement présenté comme un constituant passif : c'est le solvant qui dissout le solide, l'acide ou la base qui attaque. A la question de savoir si un solide peut réagir avec un autre solide, si un solide peut dissoudre un autre solide (pour former une solution solide), si des réactions chimiques peuvent se produire au sein d'un cristal, la réponse est très généralement, a priori, négative.

Pourtant, la *thermodynamique* ne justifie en rien un "caractère étrange" de l'état solide : elle met au contraire en évidence la continuité de la courbe pression de vapeur-température à travers les trois états de la matière, et elle permet d'établir des conditions d'équilibre entre solutions solides et solutions liquides.

D'où vient le blocage ?

Assurément, une difficulté majeure surgit si l'on se réfère au *modèle du cristal parfait* toujours présenté aux débutants, du cristal où chaque atome ou ion est figé dans son site sans possibilité de se déplacer, où la composition chimique de chaque maille cristalline est, par conséquent, invariable dans le temps, où toute réaction chimique, qui implique nécessairement des déplacements et des regroupements d'atomes ou d'ions est ainsi inconcevable : tout déplacement d'atomes ou d'ions nécessite, en effet, un site pour le recevoir, qui n'apparaît pas dans le modèle du cristal parfait.

Or, la thermodynamique permet justement d'établir que l'état solide parfaitement ordonné ne peut exister qu'au zéro absolu. Au-dessus de cette température, *des défauts* apparaissent dans les cristaux grâce auxquels les constituants élémentaires peuvent se déplacer, et qui conditionnent, de fait, une grande part des propriétés des solides, chimiques, physiques ou mécaniques.

A partir de cette conception, deux questions demeurent : elles touchent, d'une part, aux facteurs qui suscitent le déplacement de ces constituants, d'autre part aux grandes distances qu'ils doivent parcourir pour permettre la constitution de nouvelles espèces chimiques à partir des espèces initiales, les dimensions d'un cristallite étant infiniment plus grandes que celles d'une molécule : ici s'introduisent la notion de *diffusion à l'état solide*, les lois de Fick qui la régissent, *l'influence de la température* sur les vitesses de diffusion qui fait qu'en règle générale, les réactions chimiques entre solides interviennent à des températures relativement élevées.

Ainsi, l'introduction de la cristallographie élémentaire, des défauts de réseau, des lois de la diffusion permet-elle, en se référant à la thermodynamique et à la cinétique, de décrire la dissolution d'un solide par un autre solide (conduisant à une *solution solide*, la formation d'un nouveau solide à partir de deux ou plusieurs solides initiaux, le déplacement d'ions dans un "électrolyte solide" sous l'action d'un champ électrique, la formation de *composés non stoechiométriques* de composition variable. Nombreux sont les solides ainsi obtenus qui, comme les supraconducteurs à "haute température" récemment découverts, jouent ou vont jouer un rôle déterminant dans l'évolution des nouvelles technologies.

2) La chimie de coordination

La chimie de coordination porte sur les édifices que constituent des molécules ou groupements ioniques, organiques ou inorganiques, liés à un ou plusieurs éléments centraux, atomes ou ions, pour constituer des ions complexes dont la charge est considérée de façon globale.

Elle est plus accessible que la chimie du solide à la démarche traditionnelle des chimistes, dans la mesure où les édifices qu'elle étudie ont la taille des molécules usuelles.

Dépassant de très loin les applications analytiques de la complexation, la chimie de coordination s'est considérablement développée à partir de concepts, de règles, de modèles qui en font, aujourd'hui, une chimie extrêmement riche, qui apporte des interprétations fécondes de processus chimiques et biologiques (tels que la catalyse), et qui offre de très intéressantes possibilités d'applications.

Son support théorique est relativement élaboré, et parfois difficilement accessible à des débutants : les réflexions conduites au cours des 5^e JIREC ont justement permis de concevoir l'approche décrite ci-dessous qui devrait faciliter sa présentation devant ce public.

En admettant que les notions essentielles sur la structure électronique des atomes, sur les liaisons ionique, covalente et métallique aient été traitées ou rappelées dès les premiers mois de l'année Bac + 1, il est apparu que la notion de complexe (complexe classique) doit être introduite à partir de considérations thermodynamiques : au plan des applications, une telle approche peut

faire référence à la complexation en chimie analytique. Certains complexes offrent en effet, de ce point de vue, une stabilité qui permet d'illustrer, de façon simple, les raisonnements de la théorie des ions.

Définis sur cette base, les complexes peuvent être ensuite décrits en précisant les types de ligands, la nature de l'effet chélate, les cas d'isomérisie, la stéréochimie, etc.

A partir de ces données, il serait possible, à Bac + 2, d'introduire des modèles de liaison plus élaborés, en faisant appel aux notions de symétrie que nous évoquerons plus loin, en particulier en cohérence avec les enseignements de physique.

Il peut être alors intéressant d'introduire la "règle des 18 électrons", extension de la règle de l'octet des organiciens, comme clé de la description des complexes organométalliques et, en particulier, des carbonyles. Ce domaine, riche en applications, amène naturellement à citer la catalyse homogène – et même hétérogène – en évitant de développer pour cela le long chapitre de la réactivité des espèces organométalliques.

Des exemples particuliers de complexes pourraient être présentés à ce niveau, tels que les composés de l'azote (dans un rapprochement rapide avec les carbonyles) et les métalloporphyrines, comme introduction à la chimie biorganique. Les antitumoraux (cis-platine) pourraient, de leur côté, offrir un exemple de relations étroites entre structure (isomère) et propriété (activité pharmacologique).

Divers travaux pratiques pourraient apporter une illustration des notions ainsi introduites : ils consisteraient à suivre la formation de complexes par spectroscopie, ou par la mesure des propriétés magnétiques, sans oublier le rôle formateur de manipulations sur l'analyse qualitative et quantitative des ions sous des formes modernisées en relation aussi intégrée que possible avec le cours.

L'articulation de ces différents chapitres est schématisée sur la figure 1.

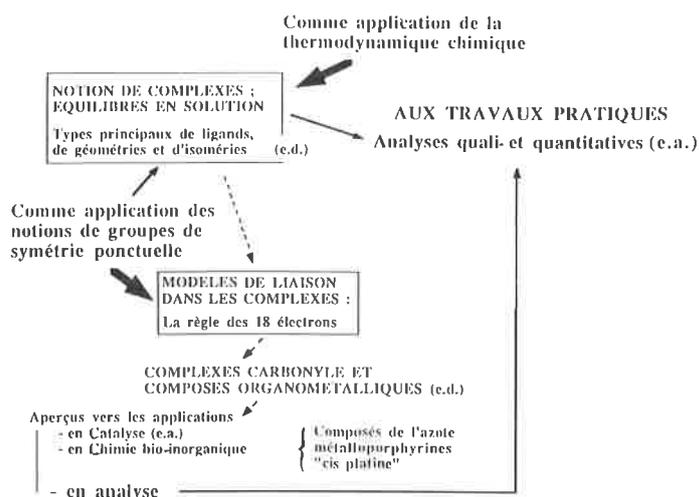


FIGURE 1. – Une sélection de quelques concepts, de quelques brèves études descriptives (e.d.) et exemples d'application (e.a.) de travaux pratiques d'analyse peut faire de la chimie des complexes métalliques, une "plaque tournante" de la chimie de premier cycle.

3) Introduction des éléments de la théorie des groupes ponctuels de symétrie

Les réflexions ont été conduites à partir de l'expérience acquise par D. Grandjean, qui a introduit cet enseignement en DEUG A2 (PC) à l'université de Rennes I, dans le souci d'apporter une méthodologie aisément accessible aux étudiants qui permette de

contribuer à la cohérence des différentes approches de la chimie inorganique.

Il est, tout d'abord, apparu qu'il fallait se limiter, en premier cycle, aux éléments de la théorie des groupes ponctuels de symétrie, et que cet enseignement ne pouvait être introduit, à titre facultatif, qu'en 2^e année de premier cycle, lorsque les conditions locales sont favorables.

Sous ces réserves, on peut présenter, tout d'abord, la notion fondamentale d'élément de symétrie dans une figure finie – ce qui exclut de nombreuses classes de symétrie propres aux cristaux qui constituent des figures infinies : il s'agit donc uniquement de présenter les axes de rotation, le plan de symétrie, le centre de symétrie de l'axe de rétroflexion. Ces éléments permettent l'identification (par sa notation de Schönflies) du groupe de symétrie d'une figure.

En s'appuyant alors sur la structure mathématique de groupe, qui doit être connue des étudiants, et en procédant par voie analogique, on peut définir la notion de représentation matricielle de groupe. La notion de caractère d'une opération de symétrie peut être alors dégagée en exploitant la propriété d'invariance d'une trace de matrice par une transformation de similitude.

On illustre la réduction des représentations sur un cas concret (C_{3v}) en retenant pour base les coordonnées x, y, z . D'autres bases peuvent être ensuite proposées (en particulier x^2-y^2, xy) pour définir la notion de dégénérescence. Les propriétés de transformation des orbitales atomiques courantes s'établissent aisément à partir de ces diverses bases.

Il est possible d'illustrer, de manière originale, des levées de dégénérescence successives, en considérant un cube reposant indifféremment sur une de ses faces, et que l'on étire d'abord suivant un axe C_4 , puis suivant un second axe C_4 .

Les étudiants peuvent être alors entraînés à exploiter les tables de caractères des groupes ponctuels de symétrie : ils peuvent ainsi, en particulier, déterminer qualitativement le diagramme énergétique des orbitales moléculaires de quelques édifices simples.

Il s'agit alors, à partir de ces premières données, d'établir une cohérence entre différentes démarches relevant par exemple du champ des coordinats ou des spectroscopies.

4) Présentation de la chimie inorganique descriptive

Les approches précédentes, très conceptuelles, ne sauraient assurément à elles seules rendre compte de l'ensemble de la chimie inorganique dans sa richesse et sa diversité : elles permettent d'en dégager la trame et l'étendue, de montrer qu'elle n'est pas, et de loin, constituée d'observations ponctuelles et disjointes, mais elles ne doivent, en aucun cas, écarter la dimension de science concrète et expérimentale, s'appuyant essentiellement sur la description des propriétés des espèces et sur les travaux au laboratoire. Une présentation de la chimie inorganique descriptive est donc indispensable en premier cycle de l'enseignement supérieur, dès l'instant qu'elle est suffisamment connectée aux acquisitions théoriques précédemment décrites.

Il convient de souligner, tout d'abord, un problème de sémantique : le terme "chimie descriptive" est, en effet, démobilisateur par lui-même ; on pourrait le remplacer par le titre : "structure et réactivité des espèces inorganiques".

Ceci étant, il faut admettre que si l'on peut, aujourd'hui, s'appuyer sur un corps de doctrine cohérent, il est indispensable d'introduire une part de mémorisation : compréhension et mémoire sont d'ailleurs indispensables à toute acquisition de nouvelles connaissances.

Une autre donnée, essentielle à la présentation de la chimie descriptive, doit aussi être soulignée : la précision du langage utilisé en cours.

Les règles générales étant ainsi définies, il faut reconnaître que cet enseignement occupe une place trop restreinte, tant avant le baccalauréat qu'au cours des deux années qui le suivent (classes préparatoires, STS, IUT, DEUG) : son support bibliographique est d'ailleurs absent en langue française, et trop limité d'une façon générale.

Parallèlement, un examen rapide des programmes actuellement proposés en seconde classique, en seconde et en première techniques (OSTL) et dans les classes postbaccalauréat (classes préparatoires, STS 2^e année, DEUG) souligne le caractère arbitraire, ponctuel, parfois répétitif de ces programmes, et leur totale déconnexion des démarches actuelles de la chimie inorganique.

Il est ainsi établi que cet enseignement doit être entièrement reconsidéré et amplifié.

Conclusions

Les 5^e JIREC, consacrées, dans le cadre de leur séminaire, à l'enseignement de la chimie inorganique au cours des deux années qui suivent le baccalauréat, ont permis de dresser un grave constat de carence : ce secteur de la chimie, d'une importance considérable aux plans scientifique, technique, économique, et où la recherche française se situe à un excellent niveau, est pratiquement délaissé dans les programmes et n'attire, de ce fait, qu'un nombre très insuffisant d'étudiants de valeur.

Une solution doit être rapidement trouvée à ce problème grave.

Des propositions ont été formulées par les professeurs relevant des enseignements secondaires et supérieurs : elles introduisent une *préoccupation essentielle de cohérence* entre les démarches propres aux différents secteurs de la chimie inorganique, celles de la chimie organique et celles des autres domaines scientifiques

A partir de ce constat, quelques propositions peuvent être formulées :

1) L'étude des espèces chimiques devrait fortement s'appuyer sur l'expérience ; un gros effort doit être consenti pour présenter des *expériences de cours*. Par ailleurs, il faut absolument renoncer à la réalisation, au laboratoire, des seuls travaux pratiques d'analyse et introduire des préparations de produits.

2) L'enseignement devrait être fait en gardant un lien étroit avec l'expérience quotidienne des élèves et être consacré le plus possible à des questions liées à l'environnement, l'industrie, l'économie, les prolongements biologiques, la sécurité.

3) Dans tous les cas, il faudra éviter le catalogue.

(mathématiques, physique, biologie, géologie...).

Parallèlement, le souci d'une relation constante entre les représentations conceptuelles, l'expérience et les applications a conduit à dégager l'importance d'une première approche s'appuyant sur des modèles et sur des règles, incluant, dans toute la mesure du possible, l'utilisation si féconde de la *notion de symétrie* introduite par ailleurs très tôt en mathématiques.

Enfin, il a paru nécessaire de souligner que la chimie du solide ne doit pas être présentée comme une chimie particulière.

Comme on le voit, il s'agit d'un problème de fond, qui nécessitera sans doute du temps, mais qui ne peut pas être éludé ; peut-être aurons-nous l'occasion d'y revenir quand les réflexions auront suffisamment progressé, à la faveur d'un futur séminaire des JIREC.

Stage de Pharmacochimie

Dans le cadre de la Formation Permanente de l'Université Pierre et Marie Curie de Paris, un stage de Pharmacochimie est organisé sous la responsabilité du Professeur Andrée Marquet.

Cet enseignement, qui s'adresse à des chimistes, docteurs, ingénieurs ou assimilés, se déroulera au cours du dernier semestre 1989 à partir du lundi 25 septembre, en six séances de deux jours consécutifs, espacées de deux semaines. Son but est d'initier les chimistes organiciens à un certain nombre de concepts modernes qui sous-tendent la conception de nouvelles molécules à activité pharmacologique.

Programme

- Principes de recherche du médicament.
- Bases biochimiques du mode d'action des drogues au niveau enzymatique (notions de base, réaction enzymatique, coenzymes, inhibiteurs...).
- Bases biochimiques du mode d'action des drogues au niveau récepteur (structures et propriétés des membranes cellulaires, récepteurs).
- Notions de pharmacocinétique et de ciblage.
- Les médicaments du système nerveux central.
- Inflammation - Antiinflammatoires.
- Pharmacologie du système cardiovasculaire.

Renseignements administratifs et inscriptions : Mme Anquez ou Mme Billier, Formation Permanente, Paris VI, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 46.33.10.32 et (1) 43.29.02.63.

Renseignements techniques et pédagogiques : S. Lavielle, Laboratoire de Chimie Organique Biologique, Université P. et M. Curie, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 43.36.25.25, poste 55.64.