

# Les XIV<sup>e</sup> JIREC : Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement de la chimie

Louvain-la-Neuve, 28-30 mai 1997

Anne-Marie Huynen\*, Marianne van de Wiel\*\*, Roland Lissillour\*\*\*

**Summary :** XIV<sup>e</sup> JIREC

*The paper is a short proceeding of XIV<sup>e</sup> JIREC (SFC Meeting on Innovation and Research in Chemical Education), held at Louvain-la-Neuve University (Belgium) on May 28-30, 1997.*

*« Chemistry, the cross-roads of scientific matters » was the central thema of three lectures. Three workshops were concerned with : 1) Integrated laboratory works for teaching organic chemistry and analytical chemistry ; 2) Use of basic concepts in coordination chemistry for teaching design of inorganic materials at University ; 3) Corrosion, a chapter of electrochemistry.*

**Mots clés :** Enseignement de la chimie, innovation.

**Key-words :** Chemical education, innovation.

Sous l'égide de la Société Française de Chimie et en co-organisation avec la Société Royale de Chimie de Belgique, les XIV<sup>e</sup> Journées de l'innovation et de la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC) se sont tenues à la faculté des sciences de l'université catholique de Louvain (UCL).

Le thème « La chimie à la croisée des disciplines » a réuni 110 participants tant français que belges. Une occasion pour les organisatrices Anne-Marie Huynen (Laboratoire de pédagogie des sciences, UCL) et Marianne van de Wiel (département de chimie, UCL) de permettre à leurs collègues belges de rencontrer des collègues français, préoccupés comme eux du « comment enseigner la chimie ».

Malgré l'éloignement, 52 Français s'étaient rendus à Louvain-la-Neuve et il est important de remarquer que la présence de jeunes collègues a renouvelé le public. D'autre

part, ce fut l'occasion de faire connaître les JIREC aux enseignants belges francophones.

## Les conférences

Chaque journée a débuté par une conférence plénière où le thème « la chimie à la croisée des disciplines » a été traité, du « big bang » à la chimie des nouveaux matériaux en passant par les extensions médicinales de la synthèse organique.

Trois conférences ont été présentées :

– *Chimie de synthèse et santé : les grands défis*, par le Prof. L. Ghosez (UCL),

– *Conception de nouveaux matériaux, une approche orbitale*, par le Prof. M. Verdaguer (université Pierre et Marie Curie, Paris),

– *De l'origine des éléments chimiques*, par le Prof. J.-M. Gérard (UCL).

La qualité intrinsèque des exposés a été sous-tendue par un souci de communication très pédagogique qui s'est exprimé par la présentation de quelques manipulations en séance plénière et par la projection sur écran d'images captées en direct du télescope porté par Hubble.

\* Université catholique de Louvain, Département de chimie, unité CICO, bâtiment Lavoisier, place L. Pasteur, 1, B - 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique. Tél. : +32 (10) 47.26.62/29.42.  
E-mail : huynen@bani.ucl.ac.be

\*\* Université catholique de Louvain, Tél. : +32 (10) 47 29 42. E-mail : vandewiel@cico.ucl.ac.be

\*\*\* Université de Rennes I, Ura 1495 CNRS, Laboratoire de chimie du solide inorganique moléculaire, av. du Général Leclerc, 35042 Rennes Cedex. Tél. : 02.99.28.62.69.  
Fax : 02.99.63.57.04.

## Chimie de synthèse et santé : les grands défis

L'objectif de cet exposé a été de montrer le rôle essentiel qu'a joué et que continuera à jouer la chimie de synthèse dans la conception, la mise au point et la préparation des médicaments de demain.

Il a débuté par un examen de l'évolution du processus de « découverte » de nouvelles substances actives sur des cibles définies par les biologistes et les médecins.

L'importance de la stratégie combinatoire a été décrite en détail et l'impact de cette stratégie sur les lignes de recherche en chimie de synthèse a été illustré.

Une discussion des nouvelles directions de la recherche dans le domaine des antibactériens a été présentée, en soulignant le rôle essentiel de la chimie de synthèse dans la conception de nouveaux antibiotiques.

## Conception de nouveaux matériaux : une approche orbitale

L'objet de la présentation a été :

1 - de montrer comment il est possible à un chimiste de répondre, dans une très large mesure, aux besoins de la société en matière de nouveaux matériaux ;

2 - de montrer comment il est possible à un enseignant, dans une certaine mesure, d'illustrer la démarche du chimiste pour des étudiants du premier ou du deuxième cycle, à partir de notions élémentaires.

Partant de la définition du matériau (objet qui remplit une fonction dans un produit, pouvant être constitué de dispositifs ou de composants, parce qu'il possède des propriétés qui résultent de sa structure électronique et de sa structure), la démarche a été illustrée à partir de deux exemples, pris en chimie moléculaire des éléments de transition :

- l'obtention de matériaux conducteurs et/ou supraconducteurs,

- l'obtention de matériaux magnétiques à température de Curie variable.

Dans l'un et l'autre cas,

(i) on est parti d'un « cahier des charges » concernant les propriétés,

(ii) on a identifié au niveau de la structure et de la structure électronique ce qui permet de remplir ces conditions,

(iii) on est ensuite passé à l'acte en montrant comment on choisit les précurseurs, la méthode de synthèse et comment on étudie des propriétés dans les cas :

- du tétracyanoplatinate de potassium (conducteur unidimensionnel) et des trisoxalatoferates (III) de potassium et de tétrathiafulvalénium (supraconducteurs) ;

- des hexacyanochromates (III) bimétalliques, dérivés du bleu de Prusse, aimants à température de Curie variable de Tc: 5,5 K jusqu'à la température ambiante ;

(iv) et comment, à partir des résultats obtenus, on peut repartir vers de nouvelles aventures.

Il s'agissait d'une démarche très en amont de l'élaboration et de la mise en forme du matériau, qui sont souvent décisives pour ses propriétés comme pour ses applications. Mais c'est une étape indispensable dans l'obtention de la propriété recherchée.

L'ensemble de l'exposé n'a fait appel qu'à des notions élémentaires relatives à la liaison chimique et au champ des ligands.

Il a été illustré d'expériences de cours.

Une démonstration de la « faisabilité » d'un tel enseignement peut être trouvée dans les articles de vulgarisation et dans les corrigés des épreuves A de l'agrégation de chimie (Interaction métal-ligand, 1988 ; Matériaux conducteurs, 1989).

## De l'origine des éléments chimiques

Quelle est l'origine des éléments du tableau proposé par Mendeleev ?

Ces éléments peuvent s'être, en principe, formés progressivement au cœur des étoiles chaudes, par fusions nucléaires successives, pour se disséminer ensuite dans le cosmos. Si la masse de l'étoile mourante est suffisamment grande, l'éjection finale de la matière stellaire est littéralement explosive (supernova). Des éléments vitaux tels que le carbone, l'azote ou l'oxygène résultent de cette nucléosynthèse stellaire et sont observés dans des proportions conformes à la théorie.

Cependant, les étoiles ne rejettent pas assez d'hélium. En fait, l'abondance extrêmement élevée d'éléments légers dans les galaxies ne peut s'expliquer que dans le cadre de la théorie cosmologique du big bang selon laquelle l'univers en expansion se refroidit. En effet, durant ses premières secondes d'existence, l'univers était environ mille fois plus chaud que le centre du soleil. Il pouvait donc déclencher une nucléosynthèse primordiale de l'hydrogène en hélium grâce à la grande quantité de neutrons encore disponibles alors. Mais, contrairement à ce qui se produit dans le cœur d'une étoile en lutte continue contre la pression gravitationnelle, la température de l'univers en expansion chute rapidement. Par conséquent, la fusion de l'hélium en éléments plus lourds n'a pas le temps de se produire. Pratiquement, tous les neutrons sont dès lors piégés dans l'hélium, à l'exception d'une fraction infime abandonnée essentiellement sous la forme de deutérium. L'univers primordial constitue donc clairement un milieu beaucoup plus propice à la formation des éléments légers que celui des étoiles.

Les mesures actuelles de l'abondance relative en hélium ainsi qu'en deutérium très fragile sont de plus en plus précises. Confrontées à la théorie, elles nous informent sur la nature même de la matière sombre présente au voisinage des galaxies et, en particulier, de notre voie lactée. De plus, ces mesures impliquent une limite très sévère sur le nombre de « familles » pour les constituants ultimes de la matière. Paradoxalement, l'électron apparaît aujourd'hui comme le premier mais aussi le plus mystérieux de ces éléments d'un nouveau tableau magique complété en 1994. Le fait que l'électron de Thomson soit si important dans la vie ordinaire et en chimie n'est finalement que le reflet de sa très petite masse qui le rend stable.

## Les ateliers

Trois ateliers en parallèle ont permis une discussion sur les sujets suivants : « Travaux pratiques intégrés en synthèse organique et en chimie analytique », « Utilisation de

concepts de base en chimie de coordination pour la conception de matériaux inorganiques, dans un enseignement de premier et de second cycle » et « La corrosion : physique, chimie, métallurgie ? Non, électrochimie ».

L'animation des ateliers a été assurée par Jacqueline Marchand et Jean-Yves Tilquin (UCL) pour le premier tandis que deux duos franco-belges, Michel Verdagner (Paris) et Michel Devillers (UCL) ainsi que André Tallec (Rennes) et Luc Lamberts (Namur) menaient les deux autres.

Il avait été proposé aux participants de présenter une expérience personnelle se greffant sur le thème de l'atelier. Celle-ci avait été transmise au comité scientifique qui en avait évalué la pertinence.

La préoccupation pédagogique de ces ateliers était soulignée.

La participation fut maximale. En effet les trois ateliers se répétèrent deux fois et virent, chacun, des groupes de 40 personnes. Le niveau des contenus abordés était élevé. Il en est résulté d'excellents échanges de compétences sur chaque question mais il est peut-être à regretter qu'il soit toujours assez difficile de déboucher sur des questions concrètes d'enseignement.

La technique de l'atelier reste à améliorer. Concrètement, une période de deux heures d'atelier s'est révélée fort courte. D'aucuns ont qualifié la forme des ateliers de « mini-conférences » auxquelles les participants assistaient comme à une représentation de haut niveau.

Les rapporteurs ont présenté les compte rendus suivants de chaque atelier à l'ensemble des participants.

### Atelier A : Travaux pratiques intégrés en synthèse organique et en chimie analytique

*Animateurs : Jacqueline Marchand et Jean-Yves Tilquin*

L'atelier A a montré en quoi l'enseignement des travaux pratiques pouvait jouer un rôle majeur dans la formation des jeunes chimistes et était un outil de choix pour lutter contre le cloisonnement de l'information reçue par les étudiants.

La première partie a consisté en la présentation par les animateurs d'une séduisante expérience pédagogique de travaux pratiques intégrés de chimie organique et de chimie analytique. La pluridisciplinarité de la démarche donne à l'étudiant l'occasion de vivre une véritable démarche de recherche d'un chimiste organicien de synthèse tant au niveau du contenu du travail que de la présentation des résultats.

A cette démarche est associée la notion d'équipe tant au niveau de l'encadrement pédagogique que de celui du travail des étudiants eux mêmes : un tel projet se réalise en groupe et ne peut fonctionner que grâce à une excellente synergie entre un travail de groupe bien organisé et un travail personnel de l'étudiant.

Cette expérience d'équipe a pu fonctionner grâce à une intégration totale des différents paramètres.

- Le temps : réalisation du projet en une semaine.
- L'espace : un seul et même laboratoire pour réaliser la synthèse organique et les analyses physico-chimiques.

Notons que le contenu proposé aux étudiants est d'un excellent niveau scientifique et répond à des préoccupations scientifiques du moment.

En chimie organique, il s'agit de la synthèse de molécules chirales possédant ou non une activité optique. Ce type d'objet moléculaire concerne au plus près le chimiste organicien de synthèse qui recherche des molécules ayant une activité biologique (agrochimie, santé...). De plus en plus la chimie organique moderne a besoin de molécules possédant une information chirale. Au niveau de la synthèse proprement dite, l'étudiant vit au plus près la démarche classique de la synthèse multi-étapes telle qu'elle se pratique dans un laboratoire de recherche et on a noté que les transformations chimiques réalisées soulèvent beaucoup de réflexion et de problèmes mécanistiques.

En chimie analytique, un large « panel » de techniques analytiques est à la disposition des étudiants. Les moins sophistiquées sont utilisées en routine, les plus sophistiquées sont utilisées à bon escient en fonction des informations qu'elles peuvent apporter. L'appel à la CLHP sur colonnes chirales destinées seulement à l'analyse des énantiomères est exploité non seulement comme outil analytique, mais aussi comme première approche de la notion de reconnaissance moléculaire. Pour un développement de molécules utiles pour l'agrochimie ou la santé la démarche paraît majeure !

La présentation des résultats par les étudiants à une sorte de journée de congrès poursuit cette formation non seulement d'étudiants mais de chercheurs...

A l'occasion de cet enseignement, l'étudiant vit en grandeur nature une expérience de recherche tant au niveau des préoccupations de la chimie de demain que de la démarche à mettre en œuvre pour résoudre les problèmes qu'elle pose.

Trois témoignages de participants se sont greffés sur l'expérience des animateurs.

- R. Barlet (Grenoble) a développé un objectif d'autonomie de l'étudiant face à l'activité de TP en chimie organique, en l'invitant à faire preuve d'une attitude critique et d'esprit d'initiative.

- C. Sirlin (Strasbourg) a proposé aux étudiants de maîtrise en biochimie de réaliser les manipulations avec un esprit de recherche. Très peu d'indications sont données sur une synthèse originale à réaliser. Il faut consulter la littérature, adapter au cas précis. L'obtention d'une base de Schiff organominérale leur permet, par ailleurs, d'appréhender un peu de chimie des métaux de transition.

- B. Monfort (Besançon) prend la CCM, outil expérimental quotidien du chimiste organicien pour développer chez l'étudiant (bac + 2) un savoir-faire pratique et rigoureux qui lui ouvre la voie ensuite à des analyses plus complexes (CLHP) et l'introduit aux concepts de pureté, de détection.

Le « nez » des étudiants est mis à l'épreuve pour leur apprendre la rigueur des gestes et les initier aux conditions de sécurité.

### Atelier B : Utilisation de concepts de base en chimie de coordination pour la conception de matériaux inorganiques, dans un enseignement de premier et second cycle

*Animateurs : Michel Devillers et Michel Verdagner*

Les objectifs visés dans cet atelier ont été les suivants :

- la compréhension des propriétés magnétiques des oxydes de métaux de transition (ferrites, grenats) ;
- l'étude de l'effet « template » dans la synthèse de ligands macrocycliques de types sarcophagine et sépulcrate ;
- l'évolution dans la conception de nouveaux médicaments inorganiques anti-tumoraux à base de platine.

Le témoignage apporté par C. Chaumont a montré comment il est possible d'appliquer les notions de chimie inorganique en travaux pratiques en procédant à la synthèse de composés divers tels que les spinelles, les supraconducteurs, les céramiques ou encore les verres.

Diverses techniques de préparation ont été présentées. Les composés synthétisés sont soumis à l'analyse structurale et aux mesures physiques adéquates.

Les discussions qui suivirent peuvent se répartir en quatre thèmes :

1 - **Types d'interactions** entre les sites tétraédriques et octaédriques qui sont responsables des propriétés ferrimagnétiques dans les ferrites à structure spinelle :

- délocalisation des électrons des métaux de transition sur les atomes d'oxygène adjacents,
- angle des liaisons métal-oxygène-métal.

2 - **Utilité de ces molécules** :

- sensibilisation des étudiants au fait qu'elles existent déjà dans les nouvelles technologies (par exemple, les ferrites sont les matériaux de base des bandes vidéo),
- comprendre ce qui existe,
- préparer de nouveaux matériaux plurifonctionnels (propriétés ferromagnétique et optique).

3 - **Caractère appliqué des recherches** :

- caractère appliqué modéré : l'obstacle étant de convaincre les industriels de l'intérêt que peut susciter cette chimie (exemple : l'intérêt des supraconducteurs a été lent à s'affirmer),

- la planification d'une recherche est difficile à prévoir, à suivre (exemple : on mentionne ici le hasard dans la découverte de propriétés anti-tumorales des complexes du platine par le physicien Rosenberg).

4 - **Enseignement** :

- 1<sup>er</sup> cycle ou 2<sup>e</sup> cycle ?,
- prérequis : théorie des groupes dans le cadre d'un cours de cristallographie (par exemple : utilisation ou construction par les étudiants eux-mêmes des tables de caractères), spectroscopie moléculaire,
- adaptation au public (auditoire),
- jusqu'où peut aller la vulgarisation dans le but de sensibiliser le « grand » public à la chimie ?

## Atelier C : La corrosion : physique, chimie, métallurgie ? Non, électrochimie

*Animateurs : Luc Lamberts et André Tallec*

Le but de l'atelier était de présenter les différents aspects de la corrosion ; ce phénomène, auquel chacun est confronté dans sa vie quotidienne, intéresse particulièrement les élèves. A partir de leurs observations, il est possible de les motiver et de les amener « à vouloir en savoir plus ».

Des faits d'observation courante peuvent servir d'introduction :

- possibilité de corrosion de pièces en fer au contact de cuivre,
  - corrosion de rails de tramway par des courants vagabonds,
  - protection d'ouvrages en fer par revêtement de peinture.
- « En corrosion, la thermodynamique propose et la cinétique dispose » :

La thermodynamique, par la formation de piles, permet de rendre compte de la corrosion localisée (anode et cathode séparées) ou généralisée.

La cinétique fait intervenir les phénomènes de surtension qui peuvent ralentir les oxydations de métaux. En corrosion, ce sont surtout les surtensions anodiques qui sont à prendre en compte :

- élevées quel que soit le métal pour la réduction de l'oxygène,
- concernant la réduction du proton, faible sur Pt ou Pd, moyenne sur les métaux usuels (Fe, Cu, Ni...), élevée sur les métaux mous (Zn, Cd, Sn, Hg).

L'utilisation des courbes de polarisation : intensité = f(potentiel), permet alors, même au plan qualitatif d'expliquer pourquoi un métal se corrode plus ou moins rapidement, quel rôle jouent les impuretés, quels procédés (galvanique ou électrolytique) peuvent être mis en œuvre pour protéger un métal comme le fer.

La discussion a permis de répondre à quelques questions d'intervenants confrontés à des demandes d'élèves : utilisation d'amalgames, corrosion de canalisations...

Des descriptions de manipulations, illustrant la corrosion ou les méthodes de protection, ont été présentées.

L'atelier s'est terminé par deux témoignages :

- le premier, provenant du Palais de la Découverte, cherche à mettre au point des expériences rapides et démonstratives,

- le second, émanant de l'IUT de Besançon, présentait les résultats d'une étude, menée en collaboration avec le milieu industriel, sur le comportement de différents aciers, en milieu corrodant, en fonction de leur composition mais aussi de leur passé métallurgique.

Quelques fascicules des résumés des conférences et communications de ces XIVE JIREC sont encore disponibles. Il est possible aux personnes qui n'ont pas participé à la rencontre de se les procurer auprès de Anne-Marie Huynen, Marianne van de Wiel.