

# l'actualité chimique

N°6

DÉCEMBRE

1993

ISSN 0151 9093

R.B. WOODWARD

$H_2SO_4$



ÉDITÉE PAR LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE ET LA SOCIÉTÉ DE CHIMIE INDUSTRIELLE



SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE

# La Maison de la Chimie

*Une Maison qui vit au rythme de la chimie*



La Maison de la Chimie est l'un des principaux centres de congrès de la région parisienne. Son implantation au cœur du quartier des Invalides, le charme et l'élégance de ses locaux, ses équipements modernes lui confèrent un prestige particulier et attirent dans ses murs des groupes et organismes très divers. Ceux qui la pratiquent en apprécient la qualité de l'accueil et des services, la beauté du cadre et, aussi, les coûts très compétitifs par rapport aux autres centres de congrès offrant des prestations similaires.

Mais cette Maison est encore méconnue de nombreux chimistes et ceux-ci ne savent pas toujours qu'elle est avant tout "leur maison". Sans vouloir énumérer toutes les réunions tenues rue Saint-Dominique par les associations, groupements, sociétés industrielles travaillant dans le domaine de la chimie, nous rappellerons brièvement quelques événements majeurs qui marquent cette année 1993. Ils témoignent, en effet, de la vitalité de la chimie comme discipline scientifique et technologique et du rôle joué par la Maison de la Chimie comme carrefour de rencontre et d'échange pour tous ceux et toutes celles qui, de près ou de loin, s'intéressent à la chimie et à ses applications.

En mai 1993, le 3<sup>e</sup> Forum mondial de l'industrie chimique, organisé par la Société de Chimie Industrielle (SCI) en coopération avec sa section américaine et la revue *Informations Chimie*, rassemblait à la Maison de la Chimie quelque centaines de responsables de sociétés chimiques du monde entier. Tous les continents étaient représentés. Ce fut une occasion privilégiée pour les industriels d'exposer les problèmes qui se posent à eux aujourd'hui et d'en débattre ouvertement. Les différentes personnalités qui sont intervenues ont proclamé leur confiance dans la capacité de leurs entreprises à relever les défis actuels, trouver de nouvelles règles du jeu et chercher ensemble à réconcilier chimie et société.

Deux autres manifestations importantes marquent le 4<sup>e</sup> trimestre de l'année 1993. Le 24 novembre, le colloque "Chimie et cerveau", organisé par la Fondation de la Maison de la Chimie en coopération avec les sociétés savantes et l'Union des Industries Chimiques (UIC), s'inscrit dans la série de colloques programmés par la Fondation. Ceux-ci sont destinés à montrer la place occupée par la chimie au sein des différentes sciences et techniques et à mettre en évidence son impact positif dans notre vie quotidienne. Au cours de ce colloque, des scientifiques de niveau international ont présenté les travaux les plus récents sur le rôle des messagers chimiques dans le fonctionnement cérébral, les nouvelles méthodes d'exploration de ce fonctionnement et de diagnostic des anomalies, l'apport de la chimie et de la biochimie dans le traitement des affections du système nerveux central.

Quittant le domaine de la recherche pour celui de la formation, universitaires, enseignants du secondaire et industriels se sont rassemblés le 8 décembre pour un colloque sur la formation des ingénieurs : "Demain, la chimie, des formations d'ingénieurs diversifiées pour des métiers d'avenir". Ce colloque aura été l'occasion, pour tous ceux qui dans l'entreprise, dans les universités et les écoles d'ingénieurs, dans le second cycle de l'enseignement secondaire s'intéressent à l'orientation des

jeunes et à la formation des futurs ingénieurs et chercheurs, de confronter leurs points de vue, d'exposer les évolutions en cours et de manifester leur volonté de travailler ensemble à une meilleure appréhension des besoins réels et à l'adéquation entre ces besoins et les formations offertes.

C'est également la Maison de la Chimie qui a été choisie par l'Association Française des Entreprises pour l'Environnement pour y tenir son assemblée générale. Présidée par Jean-René Fourtou, président de Rhône-Poulenc, cette association rassemble les présidents de grands groupes industriels parmi lesquels Lafarge, Solvay, la Lyonnaise des Eaux et bien d'autres. Elle témoigne des efforts faits par l'industrie chimique pour protéger l'environnement.

Anciens élèves et élèves des écoles de chimie apprécient également les facilités offertes par la Maison de la Chimie pour y tenir leurs réunions et se retrouver ensuite dans l'ambiance conviviale et accueillante du Club de la Chimie. Chaque année, les locaux de la rue Saint-Dominique sont aussi le lieu du Forum Horizon Chimie, une opportunité pour les futurs ingénieurs de rencontrer de nombreux industriels de la profession à une époque où les recrutements se font plus rares et les carrières moins faciles à prévoir.

Mais la Maison de la Chimie se réjouit d'accueillir par ailleurs dans ses murs les représentants de professions différentes. Ainsi en est-il des médecins et des professions de santé en général qui utilisent souvent nos locaux pour y tenir réunions et congrès. Depuis plusieurs années, les Entretiens de Bichat ont élu domicile rue Saint-Dominique.

Nombreux seraient les exemples que l'on pourrait citer pour montrer combien cette Maison vit au rythme de la chimie et de ses applications, combien elle est un creuset de discussions et d'échanges scientifiques et technologiques de haut niveau.

En 1994, les différentes manifestations qui marqueront le bicentenaire de la mort de Lavoisier, et dont certaines auront pour cadre la Maison de la Chimie, seront une nouvelle occasion de mettre en évidence la place fondamentale de la chimie au cœur de la connaissance scientifique et de ses applications technologiques. La chimie est un langage universel pour la description de la matière et de ses transformations et pour l'explication des mécanismes biologiques. Les pères fondateurs de la Maison de la Chimie ont souhaité que cet édifice en soit le symbole. Nous souhaitons que les chimistes et tous ceux qui utilisent la chimie renforcent ce symbole en faisant de la rue Saint-Dominique un lieu familier pour leurs rencontres et leurs réunions.

**Jacques Hui**  
Secrétaire de la Fondation de  
la Maison de la Chimie.



**Notre couverture :** Cygne de nickel sur un lac d'aluminium.

Cette cartographie X obtenue par informatique permet de visualiser la répartition spatiale des espèces atomiques, ici un grain de Ni entouré principalement de Al (Gilbert Thollet, GEMPPM, INSA, Lyon).

**Directeur de la publication :**  
Jean-Baptiste Donnet

**Rédacteur en chef :**  
Raymond Hamelin

**Rédactrice, chef des informations :**  
Thérèse Chaudron

**Rédactrice :**  
Miren Helou

**Secrétaire de rédaction-maquette :**  
Evelyne Girard

**Relations extérieures, promotion :**  
Gérard Perreau

**Comité de rédaction :**

G. Balavoine (Orsay), G. Bram (Orsay), J. Buendia (Roussel-Uclaf), P. Caro (Cité des sciences), D. Decroq (IFP), J.C. Depezay (Paris V), J.B. Donnet (SFC), J.P. Foulon (Lycée Henri IV), J.P. Guetté (CNAM), R. Hamelin (SFC), J.H. Lefour (Ecole polytechnique), P. Leprince (IFP), J.C. Mendelsohn (Elf Atochem), G. Montel (INP, Toulouse), A. Navarro (INSA - Lyon), R. Ouliac (Rhône-Poulenc), G. Ourisson (ULP - Strasbourg), A. Picot (ICSN, Gif-sur-Yvette), D. Reymond (SFC - SCI), R. Rosset (ESPCI), L. Sajus (Technip Ingénierie)

**L'ACTUALITÉ CHIMIQUE**  
250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris  
Tél. : (1) 43.25.20.78  
Télécopie : (1) 43.25.87.63

Publication analysée par  
Chemical Abstracts Service



# SOMMAIRE

## COURRIER DES LECTEURS 4

## ÉDITORIAL

- ▲ Chimie : spécialité ou profession ?, par R. Hamelin 5

## INDUSTRIE

- ▲ Interview de P. Desmarescaux (Rhône-Poulenc) :  
Être l'entreprise la plus innovante. 7
- ▲ La sécurité dans l'industrie chimique. Bilan de trois ans  
d'engagement de progrès, par M. H. 10
- ▲ En bref 12

## ENSEIGNEMENT

- ▲ Olympiades nationales de la chimie : questions à P.G. de Gennes 15
- ▲ Glossaires des mots utilisés dans l'enseignement de la chimie :  
glossaire de cinétique chimique, par R. Ben-Aïm, G. Scacchi 20
- ▲ Documentation pédagogique n°1 : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 25
- ▲ La politique contractuelle de l'État vis-à-vis des universités 29
- ▲ Informations et documents didactiques pour  
les enseignements supérieurs de chimie en langue française 34

## RECHERCHE

- ▲ Matériaux supraconducteurs. Mécanismes structuraux  
et nanostructures de quelques oxydes à charpentes mixtes,  
par M. Hervieu 37
- ▲ Spectroscopie électronique et chimie de coordination :  
principes généraux et exemples d'utilisation, par G. Bouet  
et M. Khan 44
- ▲ Chronique chimiophile : la Germandrée petit-chêne 49
- ▲ En bref 50
- ▲ Fiche logiciel n° 5 : A-MCI 51

## ENVIRONNEMENT

- ▲ Évaluation de banques de données relatives aux substances  
toxiques 53
- ▲ En bref 59

## HISTOIRE DE LA CHIMIE

- ▲ Le rôle du plaisir esthétique ou l'art dans la chimie organique  
dans l'œuvre de Robert Burns Woodward, par C. Woodward 63
- ▲ Il y a cent ans 71

## LIVRES 73

## NOUVEAUTÉS 77

## NÉCROLOGIE 86

# COURRIER DES LECTEURS

## A propos de L'Actualité Chimique

Lors d'une conversation, je vous avais dit combien je trouvais nécessaire et indispensable de repenser le contenu et la présentation de *L'Actualité Chimique* qui, à mon avis, ne correspondait pas aux attentes des chimistes aujourd'hui, tout au moins de la jeune génération. J'ai sous les yeux le numéro 3, daté mai-juin 1993, selon la nouvelle formule. Permettez moi de le commenter.

La lettre de Gérard Montel, définit assez bien ma position. *L'Actualité Chimique* doit assurer une liaison entre tous les chimistes, ceux de l'industrie, les enseignants des universités, des écoles, de l'enseignement secondaire et des classes préparatoires ainsi que les chercheurs des grands établissements (CNRS, INRA, etc.). C'est à ce prix qu'elle trouvera une large audience. Sinon, elle restera confidentielle et n'arrivera sur la table que de quelques vieux chimistes comme moi, par fidélité.

L'éditorial de Gilbert Balavoine, sur les perspectives européennes, résume bien les travaux de la session plénière du Comité National de la Recherche Scientifique à Strasbourg. Peut-être aurait-il pu se poser la question du coût d'une telle opération au moment où le CNRS a été obligé de réduire les crédits de recherche des laboratoires, déjà bien maigres. Mais, c'est vrai, la conférence de Wolf Lepenies valait le déplacement et on a pu faire connaissance avec notre nouveau ministre. Sans forcément être polémique, mais sereinement, un peu à la mode anglo-saxonne, ne peut-on pas dans ce genre de présentation faire apparaître le pour et le contre ?

J'ai beaucoup apprécié la présentation d'Alain Lablache-Combié concernant les IUP. Voilà le genre de mise au point engagée qui doit intéresser beaucoup de lecteurs. C'est vivant, clair, bien sûr vu d'un point de vue d'un directeur d'école qui s'est senti agressé par le boulimisme et l'autoritarisme de Claude Allègre. Peut-être aurait-il pu faire référence au très intéressant livre que vient de publier ce dernier - "L'âge des savoirs" chez Gallimard - qui retrace, entre autre, avec

beaucoup de vigueur, de finesse et d'intelligence, la politique qu'il a menée comme conseiller spécial de Lionel Jospin.

*NDLR : comme indiqué au terme de l'article d'Alain Lablache-Combié, celui-ci a été rédigé en janvier 1993, bien avant la sortie du livre de Claude Allègre.*

Quant à la version idyllique de l'IUP de Nantes, très peu pour moi ! Avec une classe de 70 élèves, je sais faire. Je craque quand j'ai devant moi 250 nouveaux bacheliers en première année de Deug B, qui, pour un bon nombre, lorsqu'on leur demande ce qu'ils comptent faire à l'université, vous répondent : "Vous avez une autre solution, à mon problème de formation professionnelle ?" La présentation de Robert Chiron aurait pu être tempérée par une analyse plus fine du problème. Mais qui, au comité de lecture, connaît ces problèmes ?

*NDLR : bon nombre de collègues, mais nous touchons ici aux limites de la liberté d'expression que L'Actualité Chimique veut respecter.*

J'ai calé sur les articles de Samir Zard et de Michel Leconte. Je pense que ces textes, tels qu'ils sont rédigés, ne sont pas adaptés au public de *L'Actualité Chimique*. Je ne mets en cause ni la qualité, ni l'originalité des travaux décrits, mais le fait qu'ils soient rédigés comme des articles destinés à un périodique lu par des chercheurs. Les figures sont à peine lisibles. Ils s'adressent à des chercheurs et encore, de la partie. Peut-être suis-je trop vieux ou trop physico-chimiste, mais j'ai perdu pied dès le deuxième paragraphe

Or, je lis régulièrement des présentations scientifiques dans des domaines qui ne sont pas le mien dans d'autres revues scientifiques de sociétés et je n'ai jamais cette impression "d'être largué". Il faut rendre ce type d'article attractif pour tous les chimistes. Avec un effort de présentation, on peut donner à tous l'impression d'être intelligent. Pourquoi pas notre *Actualité Chimique* ? On ne peut pas laisser au seul chercheur la responsabilité de rédiger un article destiné à un large public, même averti.

*NDLR : L'Actualité Chimique aspire à être lu par des chercheurs, en tout cas par des chimistes susceptibles de s'intéresser à une diversité de sujets d'actualité. Toutefois, le Professeur Jousot-Dubien souligne ici un problème réel et difficile.*

Que ces quelques réflexions ne troublent pas votre bonne volonté d'améliorer notre périodique de liaison. La tâche n'est pas facile car il faut reconquérir toute une classe de chimistes qui ne se sentent pas concernés par la vie de notre Société Française de Chimie, telle qu'on la leur présente.

**Prof. Jacques Jousot-Dubien**  
*Laboratoire de physique  
des interactions ondes-matière,  
École Nationale Supérieure de Chimie et  
de Physique de Bordeaux*

## Trou d'ozone

J'ai, bien sûr, lu avec le plus grand intérêt l'article fort compétent de M. D. Cariolle (*L'Actualité Chimique*, 1993, n°4, p. 27) mais, sans rechercher la polémique, je pose quelques questions :

1. Pourquoi, comme tous les scientifiques partisans de l'alarmisme délibéré, créé par les campagnes à l'échelle mondiale, et dès lors onéreuses à l'extrême, sur les prétendues menaces climatiques, omet-il de citer les arguments de ses collègues spécialisés (parmi lesquels je ne me place pas) et hautement compétents opposés à cet alarmisme ?

2. Comment juge-t-il le silence des "découvreurs", en 1985, du "trou d'ozone antarctique", silence repris par tous les adversaires des CFC, sur le fait que G. Dobson (entre autres) l'avait mis en évidence dès l'Année Géophysique Internationale, 1956-1957, bien avant que les CFC n'aient commencé leurs prétendus ravages ? Si l'on avoue que ce "trou" existait en 1956 dans la couche à ozone, on se trouve dans l'obligation de reconnaître qu'il est d'origine naturelle ce qui innocente les CFC. Tandis que placer sa "découverte" en 1985...

3. Pourquoi ne jamais répondre à mon argument sur l'importance relative de CO<sub>2</sub> et de H<sub>2</sub>O dans l'effet de serre ? Cette importance relative est mise en évidence, pour une teneur en CO<sub>2</sub> identique partout, mais pour des teneurs en H<sub>2</sub>O extrêmement variables entre zones tropi-

*suite p. 6*

## Chimie : spécialité ou profession ?

**O**n le sait, la chimie est tout à la fois une science, une industrie et un secteur économique. Peu de disciplines académiques partagent cette polyvalence. Il en résulte diverses ambiguïtés, parfois futiles mais pas toujours. Le mot "chimiste" représente-t-il un technicien ? un ingénieur ? un chercheur ? un gestionnaire ? un hybride ?

Le sujet connaît un regain d'actualité sous la forme de questions relatives aux besoins des entreprises, à la finalité des écoles d'ingénieurs chimistes (éléments de pôles d'excellence ou centre de formation de praticiens ?) ou au profil de leurs diplômés (généralistes ou spécialistes ?). Sur fond de crise de recrutement, ces questions prennent vite une allure polémique.

*L'Actualité Chimique* a déjà accueilli des prises de position contrastées dans ce débat et continuera à suivre attentivement celui-ci. Dans un souci de clarification introduisons quelques remarques qui nous semblent de bons sens.

D'une part, la chimie est une science expérimentale ayant un volumineux vocabulaire spécifique et un champ d'exploration si vaste qu'il a fallu le scinder en de multiples domaines. Ceux-ci sont si nombreux qu'aucun chimiste ne peut raisonnablement prétendre en suivre tous les développements.

La chimie n'est pas une "spécialité". La chimie organique, la chimie physique etc. se sont elles mêmes subdivisées en spécialités que l'Université reconnaît par des intitulés de "formations doctorales".

D'autre part, le titre d'ingénieur concerne une profession. Les écoles de chimie ont pour mission d'en assurer l'apprentissage. Le terme n'est pas habituellement utilisé à ce niveau d'étude. Pourtant les écoles ne sauraient le récuser après avoir donné l'importance que l'on sait aux stages industriels et adapté l'enseignement à la diversité des responsabilités futures de l'ingénieur.

Dans ces conditions il est vain de demander si une école de chimie forme des généralistes ou des spécialistes. Elle forme nécessairement des généralistes du fait de la multiplicité et de la diversité des connaissances requises pour que les entreprises reconnaissent au diplômé la qualité d'ingénieur. Il serait illusoire ou fallacieux de prétendre former un spécialiste pendant les trois années d'études à l'école réduites de la durée des stages. La qualité de spécialiste ne peut s'acquérir que par un long travail complémentaire (donc après la formation générale), soit par la préparation d'un doctorat, soit par plusieurs années de travail dans un laboratoire industriel.

L'école doit former à l'exercice d'une profession. Il revient à la recherche, académique ou industrielle, de transformer l'ingénieur en spécialiste.

**R. Hamelin**  
*Rédacteur en chef*

**"Un ingénieur est un professionnel. Il ne devient spécialiste qu'après plusieurs années de recherche".**

*L'équipe rédactionnelle de L'Actualité Chimique vous présente ses meilleurs vœux pour 1994*

cales et zone équatoriale, par l'ordre de grandeur qui sépare l'écart des températures maximales diurnes et minimales nocturnes (5 à 6 °C en zone équatoriale humide, 45 à 55 °C en zone désertique sèche), différence qui met en évidence le rôle essentiel de la vapeur d'eau dans l'effet de serre ?

**Haroun Tazieff**

*Ancien ministre,*

*Président de la commission Environnement de la région Rhône-Alpes*

## Développement, et énergie en Méditerranée

Votre analyse du dossier "Développement et environnement : sauver la Méditerranée\*", (*L'Actualité Chimique*, 1993, n°1, p. 90) est excellente. Elle appelle toutefois quelques remarques complémentaires.

Développement et environnement en Méditerranée... Certes, il ne peut y avoir de développement socio-économique sans énergie. Mais dans le bassin méditerranéen, l'énergie n'est pas seulement le moteur du développement, elle est aussi un des termes fondamentaux des rapports entre les deux rives, Nord d'un côté (de l'Espagne à la Grèce), Sud et Est de l'autre (du Maroc à la Turquie).

Des quelque 700 Mtep (millions de tonnes d'équivalent pétrole) consommés par les pays méditerranéens, 80 % environ sont consommés actuellement par les pays du Nord du bassin (90 % environ il y a 20 ans). Si on exclut la production de charbon (dans les pays du Nord et en Turquie, environ 55 Mtep) et l'électricité primaire (hydraulique, 37 Mtep au Nord, 4,5

Mtep au Sud et Est ; et nucléaire, 94 Mtep au Nord exclusivement), des quelque 280 Mtep d'hydrocarbures (pétrole et gaz naturel) produits, par les pays méditerranéens, 87 % environ sont produits par les pays du Sud et de l'Est du bassin (chiffres de 1990). D'où d'importants courants d'échanges énergétiques entre les deux rives, courants actuellement en train de subir des mutations importantes.

Aujourd'hui, ces échanges sont principalement pétroliers, à raison d'environ 60 Mt/an, alors que les transports de gaz naturel n'en représentent qu'un peu plus du tiers (il ne s'agit là que des échanges strictement intraméditerranéens, à l'exclusion des transports de pétrole traversant la Méditerranée en provenance du Golfe Persique à destination de l'Europe du Nord ou des États-Unis). Or, tant à cause des soucis de diversification d'approvisionnement énergétique que pour des raisons environnementales, on assiste actuellement à une véritable "gazéification" du bassin méditerranéen : les pays traditionnellement consommateurs de gaz naturel augmentent fortement leur consommations, comme l'Italie par exemple, entre autres pour la production d'électricité (centrales à gaz et à cycles combinés). Les pays qui n'étaient pas (ou faibles) consommateurs, comme le Portugal, l'Espagne, la Grèce, la Turquie, l'Égypte, le Maroc, etc., se convertissent progressivement à cette nouvelle source d'énergie, réputée favorable à l'environnement. D'où une forte croissance des consommations, et des échanges intraméditerranéens.

On constate parallèlement un fort développement des interconnexions électriques entre tous les pays méditerranéens.

C'est ainsi que les échanges de gaz pourraient rattraper, puis dépasser, les échanges de pétrole d'ici 2010, et les

échanges d'électricité suivre, bien qu'à moindre échelle évidemment.

Aux liaisons pétrolières maritimes, "souples", viennent donc progressivement s'ajouter tout un réseau de liaisons "fixes" (gazoducs transméditerranéens, chaînes de gaz naturel liquéfié relativement rigides, interconnexions électriques) qui créent, ne serait-ce que par l'ampleur des investissements, de plus en plus souvent "partagés", un véritable maillage de solidarités Nord-Sud à travers la Méditerranée.

Curieusement, cet amarrage énergétique de l'Europe aux rives Sud et Est de la Méditerranée est en train de se produire alors qu'on assiste à une relative "déméditerranéisation douce" de l'Europe, avec un recul relatif des exportations et importations hors énergie entre la CEE et les pays du sud et de l'est du bassin méditerranéen, ou, selon la forte image de Henri Regnault, à une "dérive économique" des deux continents.

C'est à l'étude de tels problèmes que se consacre l'"Observatoire Méditerranéen de l'Énergie", que vous citez au début de votre excellente analyse. Analyse que vous terminez en évoquant l'implication essentielle de l'Europe en Méditerranée. Les développements rappelés ci-dessus sont quelques éléments supplémentaires de réflexion pour ce lourd dossier "Développement et environnement : sauver la Méditerranée"... et les Méditerranéens.

**Michel Grenon**

*Directeur de l'OME,*

*Sophia Antipolis*

\*Collection Problèmes politiques et sociaux, n° 674, La Documentation Française, Paris, février 1992.

Conseil général de l'Oise

Université de technologie de Compiègne

## Prix Roberval 1993

**Lauréat du prix Enseignement supérieur :**

**Chimie industrielle, par Robert Perrin et Jean Scharff (Masson, Paris, 1993)**

Destiné aux étudiants des 2e et 3e cycles de l'enseignement supérieur, universités et écoles d'ingénieurs, cet ouvrage sera également consulté avec profit par les étudiants des IUT et des classes préparatoires. Les ingénieurs et techniciens y trouveront une importante mise à jour des connaissances chimiques n'appartenant pas à leur spécialité.

(cf. *L'Actualité Chimique*, octobre-novembre 1993, p. 94).

I N T E R V I E W

# Etre l'entreprise la plus innovante

**Philippe Desmarescaux**

*Directeur général du groupe Rhône-Poulenc*

**L'Actualité Chimique** : M. Desmarescaux, en avril dernier, vous avez présenté les premiers résultats du programme Bioavenir. L'AC en a fait rapport pour ses lecteurs (juillet-août-septembre 1993, p. 21). Quelle importance accordez-vous à ce programme dans la politique de développement de Rhône-Poulenc ?



**Philippe Desmarescaux** : Vous vous rappelez l'accélération de la stratégie du groupe, depuis 1986, avec une volonté de se concentrer sur les métiers dans lesquels nous sommes (ou avons la possibilité de devenir) le leader ou l'un des leaders mondiaux : cette mutation s'est faite grâce à un certain nombre d'acquisitions renforçant notre portefeuille produits et notre position internationale, mais aussi avec un certain nombre de cessions d'activités pour lesquelles nous ne disposions pas de facteurs clés de réussite. Au total, en 6-7 ans, nous avons réduit de 110 à près de 50 le nombre de nos activités de base, mais, dans le même temps, nous avons plus que doublé notre effort de recherche qui est passé de 2,9 milliards de francs en 1986 à plus de 6 milliards en 1992.

Et comme il s'agit d'activités à forte dominante scientifique et technologique, pour être ou devenir le leader mondial, il est tout à fait impératif de disposer des meilleurs produits, des meilleurs procédés, d'être l'entreprise la plus innovante dans chacune de ces activités. Pour cela, il est indispensable d'être le premier à comprendre, à interpréter et à utiliser les résultats des recherches fondamentales. Et c'est dans cette optique que se situe le programme Bioavenir, qui est bien sûr essentiel pour Rhône-Poulenc.

Bioavenir associe des équipes universitaires qui ont pour mission de comprendre les phénomènes, d'analyser les mécanismes et des équipes mixtes composées d'universitaires et de chercheurs Rhône-Poulenc, chargées d'explorer des connaissances fondamentales dans des program-

mes de recherche industrielle qui, au-delà, en aval du programme Bioavenir, assurent l'innovation de notre groupe.

C'est ainsi que la recherche de nouveaux processus enzymatiques spécifiques des végétaux fait l'objet de recherches fondamentales. Une fois l'un de ces processus découvert, il sera possible de mettre au point un système de screening permettant de définir l'interaction de produits divers avec ces processus enzymatiques.

Et la recherche de Rhône-Poulenc peut alors, en partant de ces connaissances, de ce savoir-faire, espérer découvrir de nouveaux herbicides très spécifiques du règne végétal, très sélectifs vis-à-vis de certaines cultures et surtout sans effets secondaires pour l'homme et les animaux.

**AC** : A l'occasion de la présentation des premiers résultats de Bioavenir, M. Fourtou, président de Rhône-Poulenc et M. Fillon, ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ont évoqué la possibilité d'un programme similaire dans le domaine de la chimie. Où en est ce projet ? Quels secteurs seraient concernés ?

**Ph. Desmarescaux** : Chimie Avenir est une démarche identique à celle de Bioavenir.

Nous sommes actuellement engagés dans une large concertation avec de nombreuses équipes du CNRS, avec des équipes universitaires. Il s'agira là, principalement, de mieux comprendre les corrélations entre structures chimiques et propriétés physiques et physico-chimiques, de façon à initier une innovation plus fondamentale au niveau de la conception de catalyseurs ou de nouvelles spécialités chimiques apportant des propriétés tensio-actives, rhéologiques ou adhésives originales... L'objectif, à ce niveau de la réflexion, est d'identifier le plus clairement possible les connaissances de base, le savoir-faire universitaire, qui peuvent apporter des pistes nouvelles d'innovation chimique.

Il est intéressant de remarquer que cette concertation a été en grande partie initiée par des chercheurs chimistes du CNRS qui, voyant l'intérêt et l'enthousiasme suscités par Bioavenir chez leurs collègues biologistes, nous ont proposé d'entamer une concertation approfondie.

**AC** : Rhône-Poulenc serait-elle la seule entreprise concernée, comme pour Bioavenir, ou le programme serait-il ouvert à d'autres sociétés industrielles ?

**Ph. Desmarescaux** : Il est tout à fait envisageable que d'autres industriels participent à un tel programme : il s'agira d'industriels situés sur l'aval apportant des compétences complémentaires à Rhône-Poulenc comme des industriels de la peinture, du papier, de la détergence, de la transformation des matières plastiques, etc. ; nous prendrons position sur ce point lorsque le programme Chimie Avenir sera finalisé.

**AC** : Si le programme Chimie Avenir devait être ouvert, en quoi différerait-il des classiques "actions concertées" ?

**Ph. Desmarescaux :** Il me paraît tout à fait délicat, sinon impossible, de voir des industriels directement concurrents coopérer efficacement et ensemble avec des équipes universitaires. Pour qu'une telle coopération soit efficace, il est essentiel qu'une réelle intimité soit créée de façon à partager avec les partenaires universitaires les difficultés rencontrées, les faiblesses actuelles des produits, les impératifs nouveaux que l'on se fixe, bref, l'intimité de la stratégie d'innovation, et ceci même si la coopération se situe très en amont par rapport à cette problématique industrielle.

**AC :** Dans le domaine des produits phytosanitaires, l'accord annoncé en février dernier entre Rhône-Poulenc Agrochimie et les firmes japonaises Sumimoto et Nissan est-il de nature seulement commerciale ou comporte-t-il une répartition des activités de recherche et développement ?

**Ph. Desmarescaux :** Il s'agit d'un accord de coopération industrielle et commerciale sans aucune implication au niveau de la recherche, sans aucune répartition des activités de R & D, chaque société gardant son effort propre tout à fait séparé et indépendant.

La fusion de nos deux réseaux de distribution de produits de protection des cultures en France (Pepro et Rhodiagri Littoral) était devenue indispensable lors de la mise en place de la politique agricole européenne. Cette fusion nous laissait cependant quelques produits faisant double emploi (pour un montant de chiffre d'affaires de l'ordre de 200 MF) et des professionnels de la distribution disponibles. Nous avons accepté de céder ces produits et cette expertise à nos partenaires japonais en obtenant en contrepartie l'accès à la formulation et à la codistribution en Europe de certains de leurs produits originaux.

En outre, les relations de coopération ainsi créées ont facilité d'autres opportunités, comme la distribution des produits de Sumimoto en Turquie. Elles permettront sûrement demain des opportunités au Japon.

**AC :** A la suite de la publication d'un rapport du National Research Council (NRC), organisme rattaché à l'Académie Nationale de Sciences des États-Unis, l'administration Clinton a annoncé un durcissement réglementaire à l'égard de l'emploi des pesticides. Ce rapport fait état de risques

encourus par les enfants du fait de la présence de traces de pesticides dans leurs régimes alimentaires. Que pensez-vous de cette question ?

**Ph. Desmarescaux :** Le rapport du NRC s'inscrit dans le contexte normal du progrès de la science et de la recherche d'une protection toujours plus poussée de l'homme. Toutes les législations sur tous les sujets peuvent toujours être améliorées.

Ce rapport contient des éléments qui doivent être pris en compte, mais réaffirme aussi la confiance des plus hautes autorités scientifiques américaines sur la sécurité des produits alimentaires frais mis sur le marché : marges de sécurité considérables dans les tests, contrôles nombreux.

Ces autorités incitent les Américains à manger encore plus de fruits et de légumes. Limiter leur consommation entraînerait une augmentation considérable des risques de cancer et des maladies cardio-vasculaires. Et leur production en quantités et qualités nécessaires, requiert une utilisation optimisée des produits de protection des plantes : herbicides, insecticides ou fongicides.

**AC :** Les conclusions de rapport du NRC sont-elles applicables au contexte français ? Appellent-elles des actions immédiates ? A terme ?

**Ph. Desmarescaux :** C'est le problème des autorités françaises en charge des homologations (quatre ministères : Santé, Agriculture, Environnement, Industrie). Elles étudieront le rapport : nous mettrons notre expertise à leur disposition et nous nous adapterons si nécessaire.

Pour le long terme, Rhône-Poulenc et ses partenaires de l'industrie mobilisent l'ensemble de leurs moyens pour promouvoir "l'agriculture raisonnée" (projet Farre, du ministère de l'Agriculture) qui vise, entre autres, à faire le meilleur usage des produits que nous vendons. La généralisation de cette forme d'agriculture va dans le sens d'une protection encore meilleure des consommateurs.

**AC :** La privatisation de Rhône-Poulenc est une question d'actualité. Quelle incidence aura-t-elle sur les orientations du groupe et, par voie de conséquence, sur sa politique de recherche et développement ?

**Ph. Desmarescaux :** La stratégie restera la même, bien sûr, car nos clients resteront les mêmes, ainsi que nos concurrents

et l'environnement dans lequel nous évoluons. Pour nous accorder leur fidélité, nos nouveaux actionnaires nous jugeront sur nos résultats, sur nos progrès, et nous aurons besoin d'eux pour assurer notre développement, pour saisir les opportunités qui se présenteront.

Nous avons décidé de donner la priorité à l'innovation, à la mise sur le marché de nouveaux produits, à l'exploitation accélérée de nouvelles technologies : vous le voyez, il y a de belles opportunités pour notre recherche-développement, qu'il s'agisse pour elle d'assurer et d'améliorer le court et le moyen termes avec les produits existants et nouveaux, ou de préparer le long terme avec l'innovation.

La privatisation crée ainsi une situation plus exigeante sur le court terme en accélérant la dynamique des mises sur le marché, donc des programmes de RD.

**AC :** Un certain pessimisme prévaut sur les possibilités à court et moyen termes des entreprises chimiques de recruter des ingénieurs et autres diplômés universitaires. Qu'en est-il pour Rhône-Poulenc ?

**Ph. Desmarescaux :** Il faut discerner les caractères structurels et conjoncturels de la crise actuelle. Pour l'industrie chimique les deux dimensions sont tout aussi importantes.

La dimension conjoncturelle est liée à la récession, à la crise qui touche quasiment toutes les industries en aval consommatrices de produits chimiques : l'automobile, le papier, la construction, le bâtiment, le textile... mais aussi l'agriculture et même le secteur de la santé.

Lorsqu'un nouvel ordre politique et économique, de nouveaux équilibres monétaires seront définis, lorsque la confiance des consommateurs sera rétablie, l'économie repartira d'autant plus que des opportunités nouvelles existeront, en particulier en Asie où les trois-quarts de la population mondiale découvrent progressivement un nouveau mode de vie. Cela nous donnera l'opportunité de développer notre savoir-faire et de valoriser un certain nombre de lignes de produits brevetés. La dimension structurelle est très importante pour l'industrie chimique. D'une part, après les concentrations récentes qui ont modifié considérablement, au cours de la dernière décennie, le nombre et la géométrie des grands groupes chimiques occidentaux pour cause de globalisation, de nouveaux concurrents sont apparus dans des pays comme la Chine, l'Inde, l'Arabie Saoudite, exploitant des avan-

tages concurrentiels divers au niveau des matières premières, de l'énergie, de la main d'œuvre ou même des réglementations concernant la sécurité et l'environnement. Cette tendance va s'accroître sur certaines lignes de produits anciens, non protégés par une technologie ou un brevet et réduire alors fortement leur rentabilité jusqu'à rendre la position des producteurs occidentaux intenable.

Mais, d'autre part, le chimiste devra contribuer au renouvellement d'un très grand nombre de filières industrielles sur son aval, qui doivent se remettre fondamentalement en cause pour faire face à de nouvelles attentes du consommateur (produits naturels, "doux", pollution évitée), à de nouvelles réglementations (élimination des solvants, recyclage des matières plastiques et des papiers, biodégradabilité des produits, réduction des émissions de CO<sub>2</sub>...) pour mettre en œuvre de nouvelles technologies.

Cette situation structurelle dépasse largement les risques de délocalisation de certaines lignes de production et constitue un véritable défi intellectuel, scientifique, mais aussi industriel et économique, et une véritable opportunité pour nos entre-

prises, pour nos pays occidentaux. Rhône-Poulenc s'est engagé dans cette voie avec volontarisme. Les premiers projets d'innovation (déjà très nombreux) qui découlent de cet effort, vont permettre de relancer notre embauche de chimistes, de physico-chimistes, d'ingénieurs mais aussi de cadres commerciaux.

Nous avons indiscutablement fermé notre recrutement en 1992 et surtout en 1993, mais nous avons néanmoins gardé un flux d'embauche qui permet de renouveler notre dynamique et d'intégrer de nouvelles compétences. Une reprise ne semble être vraiment envisageable qu'à partir de 1995.

**AC : Quelles suggestions formulez-vous à l'égard des étudiants tentés par une carrière de chimiste ?**

**Ph. Desmarescaux :** Il y aura, après la crise actuelle, de nombreuses opportunités d'embauche, mais les exigences seront renforcées, les défis seront importants, la zone d'action sera mondiale : il faudra que le chimiste soit en même temps entrepreneur et créateur. Il devra savoir s'exprimer, être capable de "faire

bouger" les situations, être doté de bon sens, pouvoir relier ses connaissances aux besoins pratiques, raisonner par association d'idées.

Le métier d'ingénieur chimiste sera de plus en plus celui d'un chef de projet, très important (exemple : le projet taxotère) ou très modeste. Un centre de recherche devra établir sa stratégie et le vendre à la direction. Trop souvent les chercheurs industriels ne se soucient pas suffisamment des évolutions techniques, économiques ou réglementaires qui risquent de rendre leurs travaux inutiles, quand ce n'est pas le centre lui-même. La stratégie n'est pas l'affaire de la seule direction de l'entreprise.

Les écoles de chimie doivent être conscientes de cette évolution et veiller à ce que leurs élèves soient préparés à prendre rapidement des responsabilités, être de véritables entrepreneurs. Même dans une grande entreprise comme Rhône-Poulenc, ils ne pourront pas se comporter en "nantis" parce qu'ils ont obtenus des diplômes.

*Rhône-Poulenc SA, 25, quai Paul Doumer, 92408 Courbevoie.*

## Colloque interdisciplinaire du CNRS

# La chimie dans la société son rôle, son image

Biarritz,

23-25 mars 1994

Ce colloque a reçu le soutien du département des Sciences Chimiques, du département des Sciences de l'Homme et de la Société et du Programme Environnement du CNRS.

Il est copatronné par la Fondation de la Maison de la Chimie, la Société de Chimie Industrielle (SCI), la Société Française de Chimie (SFC) et l'Union des Industries Chimiques (UIC).

Renseignements :

- Georges Bram, GHDSO, bât. 307, Université Paris-Sud, 91405 Orsay. Tél. : (1) 69.41.72.66. Fax : (1) 69.85.54.93.
- Alains Fuchs, CPMA, bât. 490, Université Paris-Sud, 91405 Orsay. Tél. : (1) 69.41.75.84. Fax : (1) 60.19.33.02.
- Caroline Lanciano, LEST, 35 av. Jules Ferry, 13626 Aix-en-Provence. Tél. : 42.37.85.11. Fax : 42.26.79.37.

## La sécurité dans l'industrie chimique

# Bilan de trois ans d'engagement de progrès

Mai 1990, l'industrie chimique décide de souscrire un "engagement de progrès pour l'amélioration de la sécurité, la protection de la santé et celle de l'environnement.

Aujourd'hui, un premier bilan peut être dressé par Francis Bazile, président de l'UIC (Union des Industries Chimiques).

360 chefs d'entreprises réalisant plus de 90 % du chiffre d'affaires de la profession dans la chimie de base (lourde et fine) et dans une part importante de la parachimie, notamment les savons et détergents, les peintures, les colles et adhésifs..., ont signé cet engagement (encadré). 300 signataires ont confirmé ou nommé un "coordonnateur", rattaché à la direction générale de l'entreprise, dont la mission est de lancer et de réaliser les actions sur le terrain ainsi que d'assurer le relais entre son entreprise, la profession et les diverses parties prenantes.

### Des progrès notables

Les efforts déployés par l'industrie chimique semblent porter leurs fruits. La sécurité et l'environnement ne cessent de s'améliorer.

*. En matière de sécurité sur les lieux de travail*

- Selon les statistiques de la Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés, le nombre des accidents avec arrêt de travail a diminué de plus de 55 % entre 1980 et 1991 (fig. 1). Pour l'ensemble des 15 branches d'activité suivies par la CNAMTS, la réduction

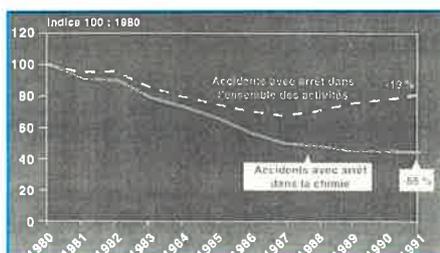


Figure 1 - Accidents par arrêt de travail

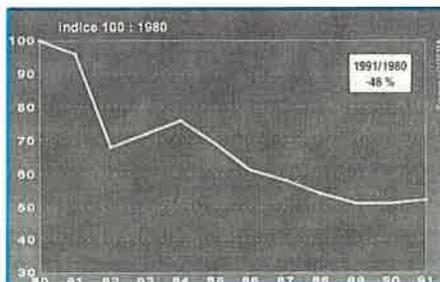


Figure 2 - Émissions d'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>) dans l'atmosphère.

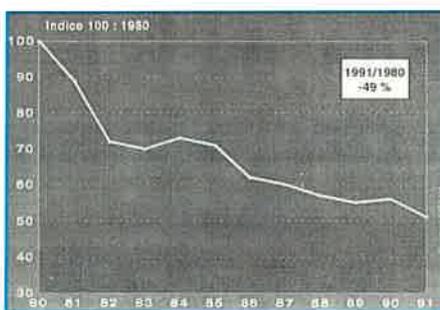


Figure 3 - Émissions de poussières dans l'atmosphère.

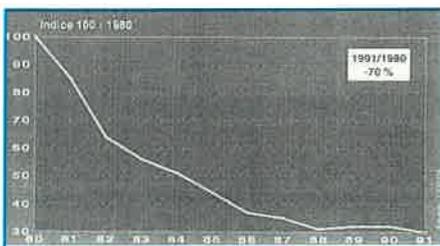


Figure 4 - Émissions de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère.

des accidents dans le même laps de temps a été de 19 %.

Plus significatif, le taux de fréquence des accidents avec arrêt de travail (nombre d'accidents avec arrêt par million d'heures travaillées) est tombé de 29 en 1980 à 16 en 1991 (soit une diminution de 45 %) dans la chimie, en regard d'un recul de 34,9 à 29,5 (soit une diminution de 15,4 %) pour l'ensemble des activités.

Il faut noter que ces résultats ont été obtenus tandis que la production de l'industrie chimique croissait d'environ 45 %.

- Conformément à son "engagement de progrès", l'industrie chimique s'attache à développer une politique de sécurité aussi rigoureuse chez ses sous-traitants que parmi ses propres personnels : il semble que les résultats des statistiques accidents soient à peu près équivalents dans les deux cas.

*. En matière d'environnement*

Poursuivis depuis de nombreuses années, les efforts de l'industrie chimique ont abouti à une réduction considérable de son impact sur l'environnement.

- Pour la période comprise entre 1980 et 1991, ses rejets polluants dans l'air ont été réduits de 48 à 70 % selon leur nature (oxyde d'azote : 48 %, poussières : 49 %, dioxyde de soufre : 70 %) (fig. 2, 3 et 4).

Maintenant que sa responsabilité dans les émissions globales de ces polluants est devenue extrêmement faible, l'industrie chimique s'attaque à la lutte contre les mauvaises odeurs que génèrent certaines de ses productions ("engagement de progrès" de la région Rhône-Alpes).

- En ce qui concerne ses rejets polluants dans l'eau, on constate, d'après le ministère de l'Environnement, des réductions entre 1980 et 1990, de 33 à 55 % selon leur nature (matière inhibitrice : 33 %, matières organiques : 49 %, matières en

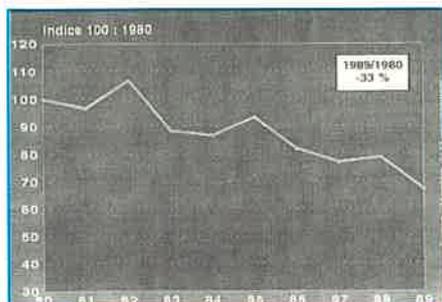


Figure 5 - Rejets de matières inhibitrices dans l'eau.

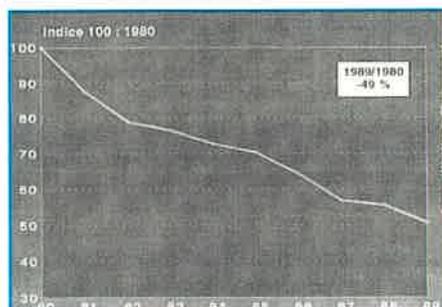


Figure 6 - Rejets de matières organiques dans l'eau.

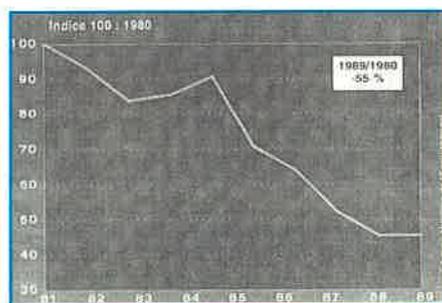
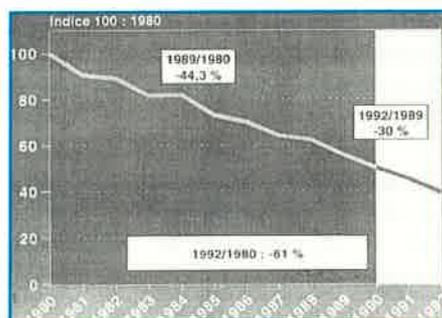


Figure 7 - Rejets de matières en suspension dans l'eau.



(Sources : ministère de l'Environnement de 1980 à 1989, UIC de 1990 à 1992).

Figure 8 - Évolution de l'indice environnement eau de l'UIC.

suspension : 55 %) (fig. 5, 6, et 7).

L'indice environnement "Eau", défini par l'UIC en fonction de six paramètres caractéristiques des rejets des eaux usées de l'industrie chimique, s'établit à 39 en 1992 par rapport à la base 100 en 1980, mettant en évidence une diminution de

ces rejets de 61 % sur 12 ans et un progrès annuel moyen de 7,5 % (fig. 8).

### Des efforts fructueux mais coûteux

L'amélioration de la préservation de l'environnement ne peut être acquise sans coûts supplémentaires. Le plus souvent, les dépenses sont importantes aussi bien en investissement qu'en exploitation.

En ce qui concerne les investissements, une récente enquête du ministère de l'Industrie (SESSI) fait apparaître qu'en 1991, le montant des investissements de l'industrie chimique consacrés à l'environnement (eau, air et déchets) s'est élevé à 1,475 milliard de francs, c'est-à-dire :  
 - 6,5 % du montant total de ses investissements (9,1 % pour la seule chimie de base) ; pour l'ensemble de l'industrie, le pourcentage moyen est de 2,8 %.

- Le quart des investissements de l'ensemble de l'industrie en matière d'environnement.

Par ailleurs, en ce qui concerne les dépenses d'exploitation, l'estimation des frais de fonctionnement en 1991 dépasse 3 milliards de francs.

Au total, les investissements et les frais d'exploitation consacrés à la préservation de l'environnement avoisineraient 4,5 milliards de francs, soit 1,2 % du chiffre d'affaires de l'industrie chimique. Si l'on prend en compte les dépenses affectées à la sécurité, on peut sensiblement doubler ces chiffres et atteindre 2,5 % du chiffre d'affaires (qui s'élève à 9 milliards de francs).

### Réglementation : pouce !

En France, comme en Europe, existent des dispositifs réglementaires très élaborés et très complets.

La France, en particulier, a légiféré de longue date et de façon exemplaire dans ces domaines. Ainsi, la loi française de 1976 sur les installations classées, qui renouvait celle de 1917 sur les établissements dangereux, incommodes et insalubres, elle-même basée sur les grands principes d'un décret impérial de 1810, a largement inspiré la directive européenne dite "Seveso" de 1982.

Cependant, force est de constater, au cours des dernières années, une sorte d'emballement de l'activité réglementaire tant nationale qu'europpéenne.

Et pourtant, aujourd'hui, plutôt que de vouloir faire du perfectionnisme, il semble plus souhaitable de marquer une pause. Ceci, afin de permettre aux industriels, notamment dans les PME où les difficultés de mise en œuvre sont grandes, d'assimiler parfaitement la réglementation existante et de l'appliquer dans les meilleures conditions, ce qui est un des objectifs de l'engagement de progrès.

En même temps, une telle pause permettra aux pays qui ne sont pas encore au même niveau que le nôtre de rattraper leur retard.

Enfin, dans la situation économique actuelle, il n'est pas indispensable de charger à l'excès les entreprises, si on veut assurer leur avenir.

Nous pensons que des rapports de partenariat sont susceptibles de se développer avec les pouvoirs publics, non seulement en France mais en Europe, notamment dans le cadre d'engagements volontaires. C'est pourquoi, en France, l'UIC s'attache tout particulièrement à faire vivre et prospérer cet engagement de progrès.

M.H.  
(Source UIC)

### L'engagement de progrès de l'industrie chimique

- . Adhésion de l'entreprise
- . Implication de tous les échelons et de toutes les activités
- . Extension des mêmes principes aux sous-traitants et contractants
- . Respect des dispositions réglementaires et des règles de l'art, recherche d'une amélioration constante
- . Information complète du personnel
- . Communication claire de toutes les informations nécessaires aux clients
- . Optimisation de l'emploi des ressources et réduction au strict minimum des déchets
- . Contribution à la recherche dans ces domaines
- . Promotion des principes de cet engagement

# EN BREF

## LA CHIMIE FRANÇAISE EN 93

L'Union des Industries Chimiques vient de rééditer un dépliant rassemblant les chiffres clés de l'industrie chimique française en matière de production, chiffres d'affaires, commerce extérieur, investissement, recherche-développement, sécurité et environnement, emploi, etc.

16 volets agrémentés de nombreux tableaux et graphiques retraçant des évolutions dans le temps, établissant des comparaisons avec d'autres secteurs d'activité ou, au plan international, avec d'autres grandes chimies mondiales, permettent de situer l'importance et le rôle de l'industrie chimique française en France et dans le monde.

Diffusion : *Chimie Promotion CP, Cedex 99, 92909 Paris La Défense. Tél. : (1) 46.53.11.70. Fax : (1) 46.53.10.01.*

## RHÔNE-POULENC INC., RENFORCE SES ACTIVITÉS DANS LES ANALGÉSIFIQUES

Rhône-Poulenc Inc. a annoncé pour 1993 et 1994 un plan d'investissement d'un montant global de 10 millions de dollars US sur les sites de production d'analgésiques situés à Luling (Louisiane) et St-Louis (Missouri). Ceci fait suite aux importants investissements déjà réalisés en France, Grande-Bretagne, Thaïlande et Brésil.

A Luling, 1993 s'est traduit par un accroissement significatif des variétés d'acétaminophène (paracétamol) produites.

Sur le site de St-Louis, des investissements sont en cours à l'unité de production d'aspirine afin de moderniser l'outil de production.

*Rhône-Poulenc, secteur Spécialités chimiques, La Défense 3, Les Miroirs, Cedex 29, 92097 Paris La Défense. Tél. : (1) 47.68.01.69. Fax : (1) 47.68.14.55.*

## DOW ACCROIT SES CAPACITÉS DE POLYMÈRES SUPERABSORBANTS

Dow Chemical va augmenter les capacités de production des usines de polymères superabsorbants Drytech, situées à Midland, Michigan (États-Unis) et à Rheinmünster (Allemagne). L'extension de l'unité américaine devrait être achevée au premier trimestre 1994 ; celle de l'usine européenne sera déterminée par les besoins du marché. Ces développements porteront la capacité de Dow à 90 000 tonnes par an - 50 000 aux États-Unis et 40 000 en Allemagne.

Ces extensions seraient encouragées par une forte demande mondiale en faveur d'une nouvelle génération de couches superabsorbantes ultraminces.

*Dow France, 21, rue Saint-Denis, BP 110, 92106 Boulogne Cedex. Tél. : (1) 49.09.78.24. Fax : (1) 49.09.08.38.*

## BASF MET EN SERVICE SON UNITÉ DE PEINTURES À L'EAU

Cette unité, basée à Schwarzheide (Allemagne), a une capacité de 10 000 tonnes/an et représente un investissement de 90 millions de deutschemarks (306 millions de francs).

Principalement destinée à l'industrie automobile, cette technologie permet de remplacer à 90 % les solvants organiques par de l'eau. BASF produit ce type de peintures depuis 1987.

Investissement : près de 1,3 milliard de deutschemarks (4,5 milliards de francs) d'ici à 1996. Avant la fin de l'année, deux autres unités de production, l'une de Styrodur - une mousse de polystyrène extrudée pour l'isolation thermique -, l'autre de Neopolen P - une mousse de polypropylène utilisée dans l'automobile, l'emballage et la protection, devraient être également mises en service. Suivront début 1994, une usine pour la confection de

plastiques techniques puis, à la fin de l'an prochain, une autre de dispersions polyester et polyuréthane. L'unité de production du fongicide Opus entrera en service en 1995.

*BASF, 49 avenue Georges Pompidou, F-92593 Levallois-Perret Cedex. Tél. : (1) 49.64.50.00. Fax : (1) 49.64.51.12.*

## ELF ATOCHEM À SINGAPOUR

Elf Atochem a procédé au démarrage de son usine de polystyrène de Singapour dont la construction représente un investissement de l'ordre de 40 millions de dollars US.

L'unité d'une capacité de 50 000 tonnes/an de polystyrène est complétée par une ligne de fabrication de 4 000 tonnes/an de compounds polystyrène. Cette usine dispose également d'un laboratoire de contrôle ainsi que d'un laboratoire d'assistance technique à la clientèle. Grâce à cette présence industrielle, Elf Atochem consolide sa position dans le sud-est asiatique, particulièrement sur le marché de l'audio-vidéo dont la mondialisation nécessite une présence, tant en Europe qu'en Asie.

*Elf Atochem, 4, cours Michelet La Défense 10, Cedex 42, 92091 Paris La Défense. Tél. : (1) 49.00.70.29. Fax : (1) 49.00.80.50.*

## TEXEL ET BIOLACTA EN POLOGNE

Texel, filiale du secteur Spécialités chimiques de Rhône-Poulenc, et Biolacta viennent de signer un accord pour la constitution, en Pologne, d'une société commune nommée Biolact-Texel. Texel disposera d'une majorité de 60 %.

Cette société basée à Olsztyn (Pologne) produira pour l'ensemble de l'Europe centrale et orientale. Dans un premier

temps, seuls les produits de Biolacta et de Texel seront commercialisés, ils pourront être complétés ultérieurement par d'autres additifs alimentaires du groupe. Texel est un des leaders mondiaux pour les ferments lactiques et les auxiliaires technologiques de fabrication destinés à l'industrie laitière (production des fromages et yaourts), la salaison, l'œnologie et l'ensilage.

Biolacta, leader pour les auxiliaires laitiers sur le marché polonais, est une coopérative ouvrière situé à Olsztyn.

*Rhône-Poulenc, La Défense 3, Les Miroirs, Cedex 29, 92097 Paris La Défense. Tél. : (1) 47.68.01.69. Fax : (1) 47.68.14.55.*

#### SAFIC-ALCAN EN RUSSIE

Kautschuk-Gesellschaft, une société du groupe Satic-Alcan, a pris une participation dans l'usine de caoutchouc synthétique Efremov (ESRE) dans le cadre du programme de privatisation des entreprises en Russie.

ESRE produit 300 000 tonnes de polybutadiène et également d'autres types de caoutchoucs ; cette entité est l'un des premiers producteurs de caoutchouc synthétique en Russie.

Kautschuk-Gesellschaft et Efremov ont déjà travaillé ensemble de manière étroite et ont créé une joint venture Efremov-Kautschuk, basée à Francfort, qui jouera un rôle de leader dans le développement des produits d'Efremov à l'échelle mondiale.

*Satic-Alcan, 3, rue Bellini, 92806 Puteaux Cedex. Tél. : (1) 46.92.64.64. Fax : (1) 47.78.88.13.*

#### PROJET DE PRODUITS ORGANIQUES INTERMÉDIAIRES EN FINLANDE

La société finlandaise Kemira a investi 3,3 millions de dollars US dans la conversion de son usine de production de méta-aminophénol à Kokkola, Finlande, pour la production de produits chimiques fins et de produits intermédiaires. La totalité de la production est destinée à l'exportation, en particulier vers les industries pharmaceutique et photographique et vers

l'industrie des colorants comme principaux débouchés. L'objectif de vente de produits pour 1995 est de 10 millions de dollars. Quelque 40 emplois nouveaux seront créés par ce changement d'orientation de l'entreprise.

*Kemira Oy, Fine Chemicals, Intermediates PO Box 330, FIN-00101 Helsinki, Finlande. Tél. : +358 13211. Fax : +358 132 1707.*

#### BIOBLOCK SCIENTIFIC : UNE FILIALE À BALE

Encouragé par la progression de ses ventes en Suisse et conforté par l'évolution de sa filiale allemande créée en 1985, le premier distributeur français de matériel scientifique et appareils de laboratoire poursuit son développement à l'étranger et a démarré, en septembre, les activités de sa filiale nouvellement créée, Bioblock Scientific Suisse.

Pour son implantation, Bioblock Scientific a choisi Bâle, bénéficiant ainsi de la proximité de groupes pharmaceutiques tels que Ciba Geigy, Hoffmann La Roche, ou encore Sandoz.

*Bioblock Scientific, Parc d'innovation de Strasbourg-Illkirch, BP 111, 67403 Illkirch Cedex. Tél. : 88.67.14.14. Fax : 88.67.11.25.*

#### ACCORD INTERCHIM/SHISEIDO

Interchim vient de conclure un accord avec la société Shiseido pour la distribution de la gamme Capcell Pak en France. Ce nouveau support pour HPLC, élaboré à base de silice de très haute pureté enrobée de polymère silicone, assure une très longue vie aux colonnes car le greffage effectué sur le polymère et non pas directement sur la silice est beaucoup plus résistant.

Les greffages disponibles sont C8, C18, CN, NH<sub>2</sub>, phényle ; granulométrie 80, 120 ou 300 Å.

Les colonnes sont disponibles en versions analytique et préparative.

*Pierre Duprat, Interchim, 213, avenue J.F. Kennedy, 03103 Montluçon Cedex. Tél. : 70.03.88.55. Fax : 70.03.82.60.*

#### SAMAD : PROTOCOLE D'ACCORD POUR UNE USINE DE 2-EH

Samad (Al-Jubail Fertilizer Co), filiale de Sabic (Saudi Basic Industries Corporation), vient de signer un protocole d'accord avec la société britannique John Brown pour la construction d'une usine de 2-éthylhexanol (2-EH) d'une capacité de 150 000 tonnes par an.

Samad est une joint venture à 50 % de Sabic et de Taïwan Fertilizer Company.

La nouvelle usine sera opérationnelle d'ici deux ans. Comme matière première pour fabriquer le 2-EH, Samad utilisera du propylène fourni par Petrokemya, autre filiale Sabic, ainsi que du gaz naturel.

*Sabic (Saudi Basic Industries Corporation, PO Box 5101, Riyadh 11422, Saudi Arabia. Tél. : +966 4012033/4067624. Fax : +966 4013831.*

#### BASF RENFORCE SA COLLABORATION AVEC GAZPROM

Près d'une quarantaine de techniciens de BASF vont participer dans les prochaines années à la construction et à la mise en service de deux usines pétrochimiques sur le site de Novy Urengoi, en Sibérie, où seront produites annuellement, à partir de gaz naturel et selon un procédé BASF, 340 000 tonnes d'éthylène et 300 000 tonnes de polyéthylène PEbd.

Tels sont les termes d'un accord signé entre le producteur russe de gaz Gazprom, sa filiale Gaz Komplekt Impex (GKI) et BASF.

Montant de l'aide fournie par BASF à Gazprom/GKI : 65 millions de DM.

BASF et Gazprom/GKI examinent actuellement la possibilité d'organiser dans un avenir proche leur collaboration dans le cadre d'une joint venture.

*BASF, 49 avenue Georges Pompidou, F-92593 Levallois-Perret Cedex. Tél. : (1) 49.64.50.00. Fax : (1) 49.64.51.00.*

#### FIBRES NYLON : JOINT VENTURE BASF/ALLIED

BASF Corporation et Allied Signal Inc. souhaitent réunir leurs activités dans le domaine des fibres nylon pour les industries du textile et du tapis et créer une joint

venture dont les deux sociétés détiendraient chacune la moitié des parts.

Une déclaration d'intention a été signée dans ce sens. L'opération nécessite encore l'agrément des autorités américaines. Sur la base des résultats de 1992, la nouvelle entreprise devrait réaliser un chiffre d'affaires d'un milliard de dollars.

*BASF, 49 avenue Georges Pompidou, F-92593 Levallois-Perret Cedex. Tél. : (1) 49.64.50.00. Fax : (1) 49.64.50.00.*

### FLOXAL : PRODUCTION DE GAZ SUR SITE

En mai 1993, L'Air Liquide installait en France sa 100e station Floxal de production de gaz sur site (pour l'essentiel aujourd'hui de l'azote) donnant ainsi aux entreprises une plus grande souplesse et une qualité constante en approvisionnement.

Le système Floxal intègre :

- une station automatisée de production de gaz sur le site réunissant

- . un générateur,

- . un stockage intermédiaire sous pression pour les pointes de consommation,

- . une régulation automatique et un système de comptage et surveillance assistés par ordinateur,

- un système de télésurveillance et un service de maintenance,

- un stockage d'azote en phase liquide utilisable lors de ses pointes de consommation ainsi que lors des arrêts pour maintenance de la station.

La seule intervention du client dans le système est de mettre à la disposition d'Air Liquide la surface à exploiter ainsi que l'énergie électrique nécessaire à la production.

Floxal comporte actuellement deux méthodes de production d'azote.

- par voie cryogénique (APSA pour une pureté du produit supérieure à 99,999 %),

- par voie non cryogénique :

- . membrane, pour une pureté du produit inférieure à 99,9 %,

- . PSA, pour une pureté du produit supérieure à 99,5 %.

*L'Air Liquide, Tour générale, Cedex 22, 92088 Paris La Défense. Tél. : (1) 42.91.95.56. Fax : (1) 42.91.93.82.*

### PRODUCTION DE DIAMANT PAR DÉPÔT EN PHASE GAZEUSE

La première usine De Beers (production de diamant par dépôt en phase chimique), Industrial Diamond Division a été récemment inaugurée sur l'île de Man.

La CVD (Chemical Vapour Deposition), est une technologie de synthèse du diamant sous faible pression où des gaz contenant du carbone en présence d'hydrogène sont soumis à des températures élevées pour former un revêtement diamant sur les outillages et pièces d'usure, ou produire de fins films de diamant.

Bien que ce secteur hautement concurrentiel compte plusieurs autres fournisseurs de diamant japonais et américains, la technologie CVD constitue un marché industriel prometteur, particulièrement dans le contrôle thermique et les secteurs de l'électronique et de l'optique avancées où la résistance remarquable, la conductibilité thermique, la relative inertie chimique et la clarté optique du diamant peuvent être avantageusement mises à profit. De Beers exploite sur le même site une usine de synthèse du diamant d'avant-garde associant hautes pressions et hautes températures (HPHT). Elle produit des cristaux uniques de diamant industriel atteignant 4 carats pour les fabricants d'outils diamant.

*De Beers Industrial Diamond Division, PO Box 916, Johannesburg 2000, Afrique du Sud. Tél. : +27 11 490-6855. Fax : +27 11 490-6840/1.*

### GAZ MÉDICAUX

AGA a annoncé la création d'une nouvelle filiale, prochainement sous statut pharmaceutique, pour la commercialisation des gaz à usage médical.

Les discussions engagées ces dernières années entre le ministère de la Santé et les fabricants de gaz médicaux ont abouti : les gaz médicaux vont dorénavant être considérés comme des médicaments. Leur conditionnement et leur distribution sur le marché français seront soumis à la réglementation pharmaceutique. Il s'agit d'une première en Europe puisque la France est le premier pays de la Communauté à réglementer ce type de produit.

Pour les établissements hospitaliers utilisateurs de gaz et pour les pharmaciens

hospitaliers en particulier, il s'agit d'une évolution essentielle en termes de qualité. Désormais, le label pharmaceutique s'appliquera chez AGA Médical aux procédures de conditionnement, de distribution et de contrôle des gaz médicaux. L'ensemble de ces procédures sera conforme aux pratiques de fabrication européennes.

*AGA, 140, avenue Paul-Doumer, 92508 Rueil-Malmaison. Tél. : (1) 47.14.20.80. Fax : (1) 47.08.68.33.*

### SANDVIK FOURNIT DES TUBES POUR LES CABLES OMBILICAUX DE LA MER DU NORD

La société norvégienne Kvaerner Energy a passé à Sandvik Steel une importante commande de tubes en acier inoxydable super duplex pour son gisement Troll de la Mer du Nord.

Elle porte sur 200 km de tubes hydrauliques de faible diamètre et 30 km pour le transport de méthanol. Fabriqués par Sandvik dans la nuance d'acier inoxydable super duplex SAF 2507 (UNS S32750), ils sont prévus pour un nouveau type d'ombilicaux dans lesquels les conduites d'injection de méthanol, les tubes hydrauliques et les câbles électriques sont groupés dans un faisceau, séparés par des éléments en PVC extrudés.

*Sandvik Aciers, 4, avenue de Buffon, BP. 6227, 45062 Orléans Cedex 2. Tél. : 38.41.41.41. Fax : 38.41.43.71.*

### HUNTSMAN ACQUIERT UNE USINE D'ELF ATOCHEM

Hunstman Chemical Co a annoncé la signature d'un contrat d'achat pour l'acquisition de l'usine de polystyrène extensible d'Elf Atochem située à Ribecourt. Cette usine a une capacité annuelle d'environ 75 000 tonnes, destinées essentiellement aux marchés de l'emballage et de l'isolation des bâtiments. Son chiffre d'affaires dépasse 400 millions de francs pour 1992.

*Hunstman Chemical Corporation, Salt Lake City, États-Unis. Tél. : +1 (10) 1 801.*

## Olympiades nationales de la chimie

# Questions à Pierre-Gilles de Gennes

L'intérêt que porte le professeur Pierre-Gilles de Gennes aux échanges directs avec les lycéens a conduit les organisateurs de la cérémonie de remise des prix des Olympiades nationales de la chimie, le 26 mai 1993, à susciter des questions de la part des candidats dans toutes les régions, et à en sélectionner un petit nombre qui lui ont été présentées par six lauréats nationaux des IX<sup>e</sup> Olympiades.

Dans ce but, la question suivante a été posée, hors concours, aux candidats régionaux aux Olympiades : "Si vous aviez l'opportunité de rencontrer un prix Nobel français de physique ou de chimie, quelle question souhaiteriez-vous lui poser ?"

**Question n°1 :** Pourriez-vous nous éclairer sur vos motivations pour la recherche scientifique ? Avez-vous eu un but précis, et la perspective du Prix Nobel, voire son obtention, ont-elles constitué pour vous un point important ?

**P.G. de Gennes :** On ne travaille pas pour un prix, on travaille pour comprendre la nature.

Ceci dit, il est vrai que le prix m'a aidé sur bien des points. Lorsqu'il est arrivé, ce fut une surprise totale. Le matin même, j'étais avec mes chercheurs au Collège de France, et je disais : "je suis disposé à prendre un pari sur qui va avoir le Prix cette année". J'avais une théorie et, comme beaucoup de théories, elle était complètement fausse....

Mais le prix m'a beaucoup aidé, d'abord pour améliorer les perspectives d'avenir de l'École Supérieure de Physique et Chimie Industrielles, dont je m'occupe : tout à coup, on m'a plus écouté, et on m'a proposé une évolution favorable. Deuxièmement, dans le domaine de l'enseignement secondaire (premières et terminales scientifiques), des industriels, des enseignants, des chercheurs (une communauté semblable à celle qui anime les Olympiades), avaient produit un projet vraiment sensé, où l'on insistait beaucoup sur l'aspect expérimental et sur la nécessité d'éviter toute spécialisation précoce ; or, en juillet 1992, le ministère a publié un arrêté qui allait tout à l'opposé et qui nous avait catastrophés : j'ai pu "monter au créneau", et il semble que le nouveau ministre ait compris nos raisons. Il a réinstallé une option expérimentale, à mes yeux très importante.



Pierre-Gilles de Gennes, prix Nobel, président de la cérémonie de remise des prix aux lauréats des Olympiades nationales de la chimie 1993, au cours de son entretien public avec six lauréats.

Cela dit, le prix apporte aussi une charge supplémentaire importante : il m'a été très difficile de travailler ces derniers mois, hors des congrès à l'étranger (où j'étais éloigné de tout téléphone).

### Question n°2 : Quelles sont les principales caractéristiques qui sont requises pour devenir un bon chercheur ?

**P.G. de Gennes :** Il y a mille types de chercheurs. Même dans les conditions d'une recherche "artisanale", qui sont les miennes, le chercheur fait partie d'un groupe : personne ne maîtrise totalement un sujet, sept ou huit personnes y travaillent ensemble. Dans mon laboratoire, par exemple, un groupe peut comprendre un chimiste - qui connaît bien l'objet qu'il a fabriqué, sa pureté, ses possibilités, ses limites -, un spécialiste de l'optique, un autre de l'électronique, un autre compétent en traitement du signal, un demi-théoricien, un ou deux techniciens et deux ou trois jeunes en formation. Ce groupe forme l'unité de base, où des gens de cultures très différentes se complètent. Il n'y a donc pas qu'un type de chercheur. Mais on peut identifier les qualités qui permettent de distinguer les jeunes qui feront de bons chercheurs : c'est d'abord *la curiosité* dans le domaine où ils travaillent, et au delà (la curiosité "tous azimuts" est très utile). Deuxièmement, c'est *le sens de l'observation*, que j'ai acquis pour ma part "par force" en fréquentant, à votre âge, des laboratoires de biologie. Un autre aspect est constitué par *l'habileté manuelle*, que j'évoque avec pudeur car j'ai toujours été très maladroit : cet aspect non plus n'est pas assez bien placé dans notre échelle de valeurs, et l'informatique l'a quelque peu évincé. Et puis il y a - "last but not least" - *la capacité d'abstraction*, c'est-à-dire de "modéliser", de faire ce qu'il faut de théorie, à partir d'un phénomène très concret. J'ai placé cette qualité en dernier, parce qu'elle est surévaluée dans notre système des lycées, où l'on a l'impression qu'on va redécouvrir toute la structure de l'univers par une démarche déductive. Cette démarche est très trompeuse : ce n'est vraiment pas comme ça que ça marche.

### Question n°3 : Est-ce que vous pensez que les scientifiques devraient s'impliquer davantage dans l'utilisation qui est faite de leurs recherches ?

**P.G. de Gennes :** Nous sommes ici dans un milieu où des ponts ont été établis entre l'industrie et les enseignants des lycées : je salue leur existence, car ces ponts sont trop rares.

En ce qui concerne les relations entre enseignants universitaires - ou chercheurs - et industriels, on est parti, après 1968, d'une situation où beaucoup disaient : "je veux faire de la recherche fondamentale, et je ne suis pas intéressé de savoir si elle sert à quelque chose".

Il y a eu, heureusement, un lent basculement du pendule : maintenant, la situation est toute différente. Ainsi, M. Barbotte, dont on parlait tout à l'heure, est venu me trouver en disant : "il existe un sujet (différent du vôtre) qui présente actuellement un intérêt industriel évident : vous devriez y intéresser des équipes en France". Il parlait des micro-émulsions, c'est-à-dire de gouttes de très petite taille invisibles au microscope qui constituent un état de la matière, mal connu à l'époque, et qui pouvaient avoir (peut-être) des applications dans la récupération assistée du pétrole. Il s'agissait là d'une proposition de collaboration véritablement intelligente. Après avoir reçu ce signal de Elf, on a alerté des gens et on a commencé à réfléchir : 6 ou 7 ans après, 7 ou 8 équipes françaises étaient réunies sur ce sujet et la France était devenue leader, au plan mondial, dans la compréhension des micro-émulsions.

De même, beaucoup plus récemment, Rhône-Poulenc a réussi à créer une collaboration industrie-recherche en science de la vie qui s'appelle "Bio-Avenir" : c'est véritablement une collaboration enrichissante pour les deux partenaires, à laquelle participent des chercheurs du CNRS et des chercheurs de Rhône-Poulenc. C'est une grosse opération, qui mobilise pas mal de monde, et où les deux partenaires sont, me semble-t-il, satisfaisants. Mais il ne faut surtout pas penser que les chercheurs universitaires expliquent aux "malheureux industriels" : "voilà, il n'y a qu'à...". C'est souvent l'inverse.

Cet après-midi même, avant de venir ici, j'ai rencontré des industriels de la santé qui essaient de fabriquer de très petites particules - de l'ordre de 1000 angströms - en dissolvant un produit dans un solvant, et en versant la solution dans de l'eau qui n'est pas un solvant du produit. Pour quelle raison se forme-t-il des particules si petites dans ces conditions ? Apparemment, il se crée des instabilités extraordinaires quand on mélange la solution et l'eau, et ce sont ces instabilités qui déci-

dent de la taille des particules formées. Nous ne comprenons pas ce phénomène, qui a probablement un avenir en pharmacologie. C'est un défi à l'esprit, extrêmement stimulant pour nous fondamentalistes, et qui sera, je l'espère, bénéfique pour le partenaire.

Cela dit, il faut encore améliorer les choses : je vous ai parlé essentiellement de chimie, de physique, de biochimie. Mais les choses vont peut-être moins bien en mécanique.

En mécanique, l'interaction université-industrie est très bonne quand il s'agit de modélisation mathématique (écoulement autour d'une aile d'avion par exemple). Par contre, au niveau plus microscopique (compréhension du processus de glissement d'une pièce sur une autre, de la lubrification), la collaboration est mal établie : la réponse dépend donc du secteur.

### Question n°4 : Pensez-vous que l'enseignement au lycée de la physique et de la chimie, spécialement sous son aspect expérimental, corresponde aux attentes des professionnels ?

**P.G. de Gennes :** Je crois que les professionnels de tous ordres ont besoin des qualités que j'ai énumérées au début au sujet des chercheurs. Et, en plus, après avoir visité beaucoup de lycées l'année dernière, je me suis progressivement convaincu qu'il faut une "éducation scientifique pour tout le monde", pour les futurs électeurs : devant les problèmes gigantesques d'économie, de société, d'environnement, d'énergie, de santé, d'éthique que va rencontrer la génération à venir, elle ne pourra pas décider, par ses votes, de façon sensée si tous les gens n'ont pas une petite base de culture scientifique. Toutefois, je ne vois pas du tout cette culture s'élaborer dans le cadre de l'enseignement actuel. Je la verrais plutôt se constituer à la faveur d'un enseignement très pratique, où on apprend à apprécier les *ordres de grandeur* : je suis souvent horrifié par mes propres enfants, (qui ont votre âge) lorsqu'ils essaient, devant une petite question de physique, de fournir un chiffre avant d'avoir réfléchi, par exemple s'il s'agit d'une force, si celle-ci est de l'ordre de 10 g poids ou poids d'une tonne.

Je raconte aussi l'exemple de Fermi qui, recevant ses étudiants (sortant du lycée) à l'Université Columbia, dans les années de l'après-guerre, leur posait comme première question : "vous allez m'estimer le nombre d'accordeurs de piano qu'il y a

dans la ville de New York". Le raisonnement qu'il attendait d'eux était très simple : "New-York ayant 10 millions d'habitants, on peut estimer qu'il s'y trouve un piano pour 100 habitants, soit 30 familles. Il y a donc environ  $10^5$  pianos dans la ville. La durée de vie du piano accordé dans cette ville au climat rude n'est pas très longue, disons 3 ans, soit 1000 jours. Il faut donc accorder 100 pianos par jour. Dans cette grande ville, où les transports sont longs, on peut considérer qu'un accordeur traite 1 ou 2 pianos par jour. Il doit donc y avoir entre 50 et 100 accordeurs sur la place de New York. Fermi leur faisait ensuite vérifier ce nombre par la consultation des pages jaunes de l'annuaire.

C'est cette éducation que j'aimerais voir pratiquée, par exemple en seconde. Je suis convaincu qu'avec cette éducation, les décisions nationales concernant les formes d'énergie à utiliser, l'environnement, etc. seraient prises de façon plus responsable, avec plus de maturité. Pour le moment, on en est loin....

**Question complémentaire : Pensez-vous qu'il est important de mettre l'accent sur les sciences expérimentales en Ire S ?**

**P.G. de Gennes :** Oui, je le crois. Mais il est aussi très important de mettre l'accent sur les sciences expérimentales dès l'école primaire : cela se trouve encore quelquefois, mais cet enseignement n'est plus ce qu'il était autrefois, au temps de la leçon de choses. Il a aussi disparu, pour des raisons budgétaires en particulier, aux niveaux de la 6e et de la 5e.

On me pose souvent la question : "Défendez-vous la physique en 6e et 5e ?". La position que je défends est plus générale, et fait aussi bien intervenir une initiation à la *géologie* - les gamins adorent chasser le fossile dans une carrière, et cela développe toutes les qualités que j'ai énoncées tout à l'heure - ou à la *chimie* - je trouve que la chimie minérale, en tube à essais, la recherche qualitative des ions en solution apportent une éducation extraordinaire, et encore mieux si on travaille sur des petites gouttes -, ou la *botanique*, la *zoologie*... Je suis extraordinairement preneur de petites expériences : siphonner des liquides, comprimer des gaz, regarder l'aspect du sillage créé par une ligne du pêcheur dans l'eau d'une rivière. Si la rivière coule à moins de 23 cm/s, il n'y a pas de sillage ; au dessus de cette vitesse,



*Damien Laage, élève de terminale C au lycée Fabert de Metz, 1er prix au classement général des Olympiades nationales de la chimie. A gauche, le professeur Gérard Montel, président du comité de coordination des Olympiades.*

il y a un sillage, et son angle dépend de la vitesse (cela nous intéresse pour des raisons très différentes : si on fait circuler des particules chargées au dessus d'un liquide, elles déforment le liquide d'une façon intéressante qui nous renseigne sur le liquide). En fait, je ne crois pas qu'on ait besoin d'équipements sophistiqués en Ire S : la plupart de ces choses peuvent être réalisées avec de petits moyens matériels.

Avec l'argent nécessaire à l'achat d'un ordinateur, on peut faire manipuler une classe pendant une année ! Par contre, il faut du temps aux enseignants.

**Question n°5 : Pensez-vous que les scientifiques soient habilités à tirer les conclusions philosophiques de leurs travaux ?**

**P.G. de Gennes :** C'est une question difficile. Quand j'ai eu l'occasion de discuter avec des professeurs de philosophie, je n'ai souvent pas compris ce qu'ils voulaient me dire. La philosophie est un métier difficile ; il est dangereux pour un scientifique d'adopter une attitude de philosophe, devant un journaliste par exemple. Il est dangereux de vouloir expliquer quelque chose qui ne se situe pas dans un domaine où on a véritablement travaillé.

Mais votre question est riche, et je vais "nager" dans différentes directions.

a) Une direction très métaphysique, consiste à chercher s'il y a des rapports entre le message de la science et le message des grandes religions. Est-ce que l'un détruit l'autre ? Mon opinion est qu'il s'agit de domaines complètement orthogonaux : chaque fois qu'on a voulu faire dire à la science qu'elle justifiait un système religieux, on est arrivé à des absurdités. Ainsi, quand Teilhard de Chardin a considéré que Dieu est à l'origine de l'évolution, je crois que c'était scientifiquement fragile : l'idée de Dieu est plus profonde que ça. Un exemple plus récent est celui du "big-bang" : les astrophysiciens nous disent qu'il y a eu un temps 0. Certains prétendent que cela signifie que nous avons été créés par un être supérieur. En fait on ne sait pas si le big-bang est unique, s'il se répétera, si l'univers va se recontracter après avoir subi une expansion.

Mais, en sens inverse, quand on prétend qu'en comprenant les mécaniques de la vie on peut en déduire qu'il n'y avait pas besoin d'un être supérieur pour la créer, cela ne constitue pas un message sérieux. Chaque fois qu'une église a essayé d'endoctriner une science, cela a échoué. Mais chaque fois qu'une science a voulu endoctriner une église, ou la supprimer - ce qui était le cas de la Russie soviétique - cela a été également lamentable. Il faut disjoindre ces problèmes.

b) Sur un tout autre plan, les scientifiques posent, depuis qu'existe l'espèce humaine, des questions de société qui doivent susciter une certaine réflexion éthique :

c'est le cas dans notre fin de siècle chaque fois qu'on fait une découverte touchant à la reproduction. Comme le rythme scientifique s'accélère, ces questions se font de plus en plus nombreuses. Le rôle du scientifique me paraît être alors celui d'un "clignotant" : quand une nouveauté scientifique apparaît, il doit essayer d'attirer tout de suite l'attention du public le plus vaste sur cette nouveauté, de telle façon qu'elle fasse l'objet d'un débat. Mais, dans ce débat, les scientifiques ne doivent pas avoir un rôle de pilote : lorsqu'ils ont réussi à faire des implantations d'ovocytes dans des utérus, les spécialistes concernés n'ont eu aucune vocation à décider si c'est ou non légalement permis. Cette décision relève de travaux conduits par des groupes de réflexion qui soumettent un projet de loi au Parlement, c'est-à-dire aux représentants de la Nation.

Une "république des savants" me paraît terrifiante.

c) Enfin, je crois qu'il faut lutter énergiquement contre un certain rejet de la science, qu'on rencontre à notre époque : parce que les cheminées d'usine émettent des fumées, etc., l'on revient (pour des raisons psychologiques plus profondément enracinées) à des superstitions moyenâgeuses.

Cette réaction négative devant les connaissances rationnelles demande à être analysée en considérant l'état psychologique des gens, et leurs difficultés sociales. Pour une personne stressée, il est souvent commode de trouver un bouc émissaire : la science en est un. Mais quand on dit que la chimie est une science globalement condamnable, c'est choquant quand on considère le nombre de choses que nous devons à la chimie dans notre vie quotidienne.

On critique aujourd'hui la science ou la technique sans réaliser que les mêmes problèmes se sont posés depuis très longtemps. Si on prend l'exemple du néolithique, on voit qu'il y a 10 000 ans des gens ont découvert, en Anatolie, qu'au lieu de cueillir des fruits et de chasser des lapins, on peut planter des graines. Cela peut apparaître comme une idée pacifique extrêmement simple : en fait, ce fut une découverte technologique fondamentale, qui ne s'est pas développée de façon pacifique. Elle a balayé l'Europe occidentale en quelques milliers d'années et l'on sait, par la recherche archéologique, que cette opération ne s'est pas faite dans le calme : il y a eu massacre des populations de "chasseurs-cueilleurs" par les agriculteurs. Cette révolution technologique, qui

a permis de multiplier par 100 la densité de population, s'est imposée dans les larmes et le sang.

### Question n°6 : Quels sont les buts que vous vous êtes fixés pour orienter vos recherches ?

**P.G. de Gennes** : Il n'y a pas de recette : s'il y en avait une, cela se saurait, on l'expliquerait partout. Mais il y a plusieurs facteurs qui convergent.

Il y a, tout d'abord, un *facteur de mystère*, en quelque sorte. Tout comme les gens qui, au XVIIIe siècle, se demandaient en voyant le mont Blanc : "Qu'y a-t-il là haut ?", ou comme les montagnards qui ont gravi récemment des montagnes nouvelles, on a envie de monter parce qu'elles sont là, sans autre explication. C'est un bon moteur, mais il n'est pas suffisant parce que, à partir de cette curiosité là, on peut aller vers des choses qui apportent un grand plaisir à celui qui grimpe, mais qui le laissent terriblement solitaire et qui sont éventuellement coûteuses pour la société.

Or, on ne peut pas, à notre époque, rassembler des collaborateurs autour de soi, demander des crédits et des équipements, sans penser que *le contribuable qui paie pour cela doit pouvoir, à échéance de 15 ou 20 ans, en retirer quelque chose.*

Si on considère, par exemple, la mécanique statistique, on y trouve des gens qui soulèvent de nombreux problèmes comparables à ceux du jeu d'échecs ou du jeu de go, où l'on fait des coups formidables mais où le jeu est complètement déconnecté du réel. On peut encourager cela de temps en temps, mais cela ne peut pas représenter une part importante de l'effort de recherche.

Une autre précaution à prendre est de *ne pas rester trop longtemps sur le même territoire.* Quand on s'engage dans la recherche sur un nouveau sujet, on utilise, comme vous, les livres des débutants, et on travaille disons 3 ans. Passé ce délai, on voit si les choses ont bien tourné, ou si on a raté. Si les choses ont bien tourné, on dispose de quelques années, les jeunes soutiennent des thèses et commencent à définir eux-mêmes leur programme, à avoir leurs idées. A ce moment là, il est naturel et salutaire pour un vieux comme moi de s'en aller discrètement et de laisser les jeunes prendre leurs responsabilités : en général, on a cette sensation après 8 ans environ, soit un total de 6 ans ou plus.

Le choix d'un nouveau sujet, est aussi lié au profil des collaborateurs qu'on peut prendre avec soi. Si ces collaborateurs viennent de l'étranger, en particulier du tiers monde ou des pays de l'Est, il faut veiller à ne pas les engager sur des voies qui ne sont pas celles dont ils auront besoin dans leur activité future. J'ai souvent vu les étudiants du tiers monde lancés par des patrons français sur des techniques hypersophistiquées. Qu'ont-ils fait ensuite ? Soit ils ne sont pas revenus chez eux, en se disant : "ce que je fais est trop savant pour être poursuivi dans mon pays", soit ils sont revenus en demandant des appareillages très coûteux. Dans ce dernier cas, ou ils ne l'obtiennent pas, et ils dépriment, ou ils l'obtiennent et il leur est alors très difficile, sinon impossible de le faire fonctionner. Quand on recrute des jeunes, il est donc important de les engager sur des sujets *utiles à leur nation.* Par exemple, il est bon de demander aux jeunes étrangers de consulter leur ambassade et de s'informer sur le plan de développement de leur pays, d'où on peut dégager les thèmes sur lesquels ce pays investira. Il s'agit ensuite de faire coïncider ces sujets avec les centres d'intérêt du laboratoire.

Pour trouver un nouvel axe de recherche, il faut *choisir un sujet qui soit suffisamment mûr* pour qu'on puisse véritablement en sortir quelque chose, mais pas trop mûr - comme le sont les sujets à la mode sur lesquels beaucoup de gens "s'excitent". Si on a trouvé un sujet solide, nouveau, pas encore détecté par l'ensemble de la collectivité, on peut certainement faire œuvre utile.

Je vous ai ainsi décrit quelques facettes de la recherche (de façon un peu décousue). Il en existe bien d'autres...

Pour conclure sur les Olympiades, je les voyais jusqu'à présent, de loin, en tant que directeur d'école. C'est maintenant que je prends conscience de leur fonctionnement. Je trouve quelque chose d'assez extraordinaire chez ceux qui s'y sont investis, qui passent des mois à les organiser. Qu'il s'agisse des enseignants, des chercheurs, du milieu industriel (qui a été le grand initiateur de l'affaire), cette collaboration qui s'est instituée entre des gens très différents est quelque chose d'unique. Et puis, à l'autre bout, il y a tout ce que vous, étudiants, représentez, le futur.

Ce type de réunion me fait plaisir : je suis content d'y être, j'espère que vous en profitez, et j'espère que vous vous plairez, plus tard, dans vos métiers.

# Glossaires des mots utilisés dans l'enseignement de chimie

Ces glossaires sont issus du programme de publications du Service Enseignements Supérieurs - Didactique de la Chimie (SESDiC), intitulé "Glossaires pour les Enseignements Supérieurs de Chimie en Langue Française". La publication du glossaire des mots utilisés dans l'enseignement de la cinétique chimique est reprise ici en accord avec le secrétaire général du SESDiC\*. Le projet de créer cette série de glossaires est issu des idées développées dans "Des langages et du langage chimique" par A. Pacault.

## Le projet Glossaires

La chimie, comme toute science, entraîne l'élaboration d'un langage (chimique en l'occurrence). De plus, la pratique de la chimie, et notamment celle de son enseignement supérieur, implique l'usage d'une grande langue scientifique, la langue française pour ce qui nous concerne. Mais, tout particulièrement au niveau de l'enseignement, apparaît alors la nécessité absolue d'un usage (et donc d'une définition) aussi rigoureux que possible des termes de ce langage chimique.

## Le but du projet Glossaires

Constituer à l'intention de l'utilisateur enseignant, et de l'étudiant avancé, une série de glossaires, par thème scientifique, avec précision du niveau d'enseignement considéré. Sur un thème défini (thermodynamique par exemple) et pour un niveau d'enseignement précisé (par exemple 1er cycle universitaire), un glossaire comportera :

Le premier des glossaires publié (1989), consacré au domaine "Combustion", a été réalisé en faisant appel aux compétences des commissions Vocabulaire et Enseignement du Groupement Français de Combustion (GFC).

Un autre glossaire est en cours de rédaction dans le domaine "thermodynamique".

Mais, bien d'autres encore sont nécessaires... dans votre domaine de spécialité, peut-être ?

- 1) un inventaire et une définition opératoire des termes jugés indispensables à cet enseignement. Une attention particulière sera portée aux termes qui, dans l'usage, courant peuvent être dotés d'une définition différente ;
- 2) un inventaire commenté des mots en usage dans l'enseignement qui sont sources d'ambiguïtés (par exemple : le mot réactivité).

## La méthode

- 1) Tout chimiste désireux de coopérer à cette réalisation collective peut :
  - proposer la définition de termes de son choix qu'il juge fondamentaux dans l'enseignement (thème et niveau à préciser) ;
  - signaler, avec commentaires et recommandations, certains usages de mots jugés être sources d'ambiguïtés ou confusion ;
- 2) si la "collecte" ainsi suscitée est suffisante, un ouvrage, nécessairement collectif, sera édité en vue d'une large diffusion à prix coûtant.

Si vous êtes intéressé(e), vous adressez des propositions, ou vous demandez des précisions, ou simplement votre inscription sur la liste des participations envisagées au projet Glossaires.

Dans ces trois cas, contactez Maurice Gomel\* qui assure la cogestion de ce projet dans le cadre du service "Enseignements Supérieurs-Didactique de la Chimie" (SESDiC) - cf. *L'Actualité Chimique*, décembre 1985, p. 46.

## Deux précisions techniques sur le projet Glossaires

- 1 - Le projet Glossaires, essentiellement didactique, ne doit pas être considéré comme redondant, ou concurrent, par rapport à l'ensemble des travaux réalisés ou en cours dans le domaine de la terminologie chimique de langue française. Il aura, au contraire, à les prendre tous en compte.
- 2 - Le projet Glossaires concerne principalement les enseignements supérieurs de chimie (donc, la formation des maîtres). Il importe :
  - a) de ramener le sens d'un terme à sa seule définition scientifique,
  - b) de donner à chacun (futurs maîtres, étudiants, etc.) des définitions qui soient à la fois rigoureuses au plan scientifique, et opératoires au plan didactique..., et qui soient communes à tous (et non pas fonction de l'enseignant, de l'ouvrage, etc.).

\*Laboratoire de chimie XIII, Faculté des sciences, 40, avenue du Recteur Pineau, 86022 Poitiers Cedex.

# Glossaire de cinétique chimique

Niveau 1er cycle des universités

Roger I. Ben-Aïm\* *professeur* et Gérard Scacchi\*\* *professeur*

## Remarques liminaires

En sciences, la définition d'un terme dépend d'une conception logique de la discipline à laquelle il se rattache.

Certains termes sont jugés "fondamentaux" et peuvent être définis à partir du vocabulaire courant. D'autres termes sont "secondaires" et se déduisent des précédents, soit par une opération mathématique traduisant une loi physique, soit par un enchaînement logique. Dans ce dernier cas, plusieurs enchaînements peuvent exister ; ils se traduisent alors par des définitions différentes, correspondant aux conceptions du rédacteur.

La rédaction d'un glossaire à destination des étudiants du premier cycle des universités est donc fortement liée à une pédagogie sous-jacente. Nous n'avons pu éviter ce caractère subjectif de notre travail ; plutôt que de le camoufler, nous l'avons, au contraire, mis en évidence en présentant les termes dans un ordre correspondant à notre conception pédagogique. Pour en faciliter la consultation, nous avons rédigé, ensuite, un index alphabétique.

Il paraît utile de définir le domaine scientifique couvert par le glossaire.

**"La cinétique chimique traite de l'évolution dans le temps des systèmes dans lesquels s'effectuent des réactions chimiques".**

Cette évolution peut être décrite :

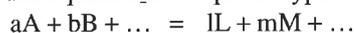
- a) soit par les propriétés macroscopiques qui sont exprimées en fonction du temps : c'est l'étude de la cinétique formelle,
- b) soit par les espèces chimiques qui se forment ou/et disparaissent successivement : c'est l'étude des mécanismes réactionnels.

La notion centrale de la cinétique chimique est celle de vitesse de réaction.

Elle vise à décrire la modification de la composition chimique du système au cours du temps.

Elle intervient aussi bien en cinétique formelle que dans les mécanismes réactionnels.

**1 - Réaction chimique** : cette notion correspond à la notion de base de la chimie et traduit à la fois la transformation de la matière et la conservation des éléments. On la représente par une équation chimique du type :



A, B, L, M, ... sont les symboles chimiques des espèces en présence (molécules, ions, atomes).

A, B, ... sont les réactifs et L, M, ... les produits,

a, b, l, m, ... sont des nombres appelés coefficients stœchiométriques.

**2 - Réactifs** : espèces chimiques qui subissent une réaction chimique.

**3 - Produits** : espèces chimiques formées par une réaction chimique.

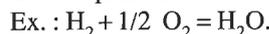
**4 - Espèces intermédiaires** : espèces chimiques qui apparaissent au cours d'une réaction et ont disparu lorsque la réaction est achevée.

**5 - Réaction (ou processus) élémentaire** : c'est une réaction chimique qui s'effectue sans qu'on puisse détecter d'autres

espèces chimiques que les réactifs et les produits. On la représente avec le signe  $\rightarrow$  Ex. :  $H^+ + Cl_2 \rightarrow HCl + Cl^{\cdot}$ .

**6 - Réaction globale** : c'est une réaction qui représente les réactifs et les produits mais non les espèces chimiques intermédiaires qui peuvent apparaître et disparaître au cours de la transformation.

On la représente avec le signe =.



**7 - Réaction isolée ou réaction simple** : réaction qui peut être représentée par une seule équation stœchiométrique et dont le déroulement est alors caractérisé par un seul paramètre appelé avancement de la réaction.

**8 - Réseau de réactions** : lorsque, dans un système, plusieurs réactions isolées, impliquant des espèces communes, ont lieu, elles forment un réseau.

**9 - Réaction directe** : réaction qui s'effectue dans le sens direct c'est-à-dire de gauche à droite.

**10 - Réaction inverse** : réaction qui s'effectue dans le sens inverse c'est-à-dire de droite à gauche.

\*Université P. et M. Curie, Laboratoire de chimie générale, 4, place Jussieu, 75230 Paris Cedex 05. Tél. : (1) 44.27.55.23. Fax : (1) 44.27.55.25.

\*\*Institut National Polytechnique de Lorraine (ENSIC), Département de chimie physique des réactions, 1, rue Grandville, BP 451, 54001 Nancy. Tél. : 83.17.50.83. Fax : 83.37.81.20

11 - **Réaction "inversible"** : une réaction est dite inversable si elle s'effectue dans le sens direct et dans le sens inverse. Le terme "inversible" devrait remplacer le terme "réversible", souvent utilisé, mais qui a une toute autre signification en thermodynamique.

12 - **Réaction "non inversable"** : une réaction est considérée comme non inversable si la réaction inverse est négligeable devant la réaction directe.

13 - **Quantité de matière** : la quantité de matière correspondant à un réactif ou un produit peut s'exprimer en kilogrammes (dans l'industrie) ou en moles (dans les laboratoires), ou dans leurs multiples ou sous-multiples.

Dans la suite nous l'exprimerons, de préférence, en moles dont le symbole est mol. On note alors :  $n_A, n_B, \dots$  pour les espèces A, B, ... ; à l'instant initial on note  $n_{A_0}, n_{B_0}$

14 - **Proportions stœchiométriques** : un mélange est stœchiométrique ou en proportions stœchiométriques si les quantités des réactifs sont proportionnelles aux coefficients stœchiométriques.

15 - **Réactif majoritaire** : un réactif est majoritaire si sa quantité est supérieure à celle correspondant au mélange stœchiométrique.

16 - **Réactif minoritaire** : un réactif est minoritaire si sa quantité est inférieure à celle correspondant au mélange stœchiométrique.

17 - **Système (ou réacteur)** : la réaction chimique s'effectue dans un système, c'est-à-dire un appareillage limité en volume. Le reste de l'univers est appelé "extérieur".

Le système (réacteur) est dit : "ouvert", s'il échange de la matière avec l'extérieur et "fermé", s'il n'échange pas de matière avec l'extérieur.

18 - **Avancement de la réaction** : pour une réaction isolée, on peut définir différents types d'avancements. Les plus simples et les plus employés, pour un système fermé, sont les suivants : - l'avancement de de Donder  $\xi$  défini par :

$$-\frac{dn_A}{a} = -\frac{dn_B}{b} = \dots = \frac{dn_L}{l} = \frac{dn_M}{m} = \dots = d\xi$$

$\xi$  est exprimé en moles et  $\xi = 0$  pour  $t = 0$ .

Donc, pour un réactif A :  $n_A = n_{A_0} - a\xi$

et pour un produit L :  $n_L = n_{L_0} + l\xi$

- le taux de conversion d'un réactif X : en général, on choisit le réactif minoritaire, c'est-à-dire celui qui arrive à épuisement le premier. Supposons que ce soit le réactif B. L'avancement  $X = X_B$  est défini par :  $n_B = n_{B_0} (1 - X)$ .

X est un nombre sans dimension.

Pour une réaction à stœchiométries multiples, on est amené à définir un avancement (soit  $\xi_j$ , soit  $X_j$ ) pour chacune des j stœchiométries. L'avancement global est alors un "vecteur" à j composantes.

19 - **Vitesse de consommation d'un réactif ou de formation d'un produit** : la vitesse est la notion centrale de la cinétique chimique. Nous en donnons une définition générale, valable pour tous les systèmes. Cette définition conduira, dans le cas

des systèmes fermés, à une expression très simple permettant la mesure de la vitesse.

La vitesse de consommation  $r_A$  d'un réactif A ou de formation  $r_L$  d'un produit L peut être définie comme la quantité (en kg ou mol) du corps considéré, détruite ou créée par unité de temps, quantité qui est généralement rapportée à une unité d'extensité dépendant du système considéré.

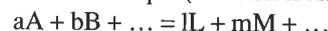
$r_A$  et  $r_L$  sont donc des débits spécifiques de transformation chimique.

L'unité d'extensité dépend de la nature de la réaction.

- Pour une réaction homogène, le débit de transformation chimique est généralement rapporté à l'unité de volume de matière en cours de réaction. La vitesse s'exprime alors, par exemple, en  $\text{mol.l}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ,

- pour une réaction hétérogène (se déroulant à une interface), le débit est généralement rapporté à l'unité d'aire interfaciale. La vitesse s'exprime alors, par exemple, en  $\text{mol.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .

20 - **Vitesse de réaction** : si la réaction est représentée par une seule équation stœchiométrique (réaction isolée) :



la loi des proportions définies implique que les différentes vitesses de consommation ou de formation sont proportionnelles aux coefficients stœchiométriques :

$$\frac{r_A}{a} = \frac{r_B}{b} = \dots = \frac{r_L}{l} = \frac{r_M}{m} = \dots = r$$

Le facteur commun de proportionnalité est, par définition, la vitesse  $r$  de la réaction chimique. Contrairement aux vitesses  $r_A, r_B, \dots, r_L, r_M, \dots$ , la vitesse  $r$  n'est définie, comme les coefficients stœchiométriques, qu'à un coefficient multiplicatif près. Elle n'a de sens qu'après que l'on ait écrit l'équation stœchiométrique.

Si la transformation chimique globale ne peut être représentée qu'à l'aide de plusieurs équations stœchiométriques, il convient de définir autant de vitesses de réaction qu'il existe d'équations stœchiométriques.

Quel que soit le système, le bilan de matière pour un composé i quelconque s'écrit, pendant l'unité de temps :

$$\begin{aligned} (\text{quantité de } i \text{ accumulée}) &= (\text{quantité de } i \text{ entrant}) \\ &- (\text{quantité de } i \text{ sortant}) + (\text{quantité de } i \text{ produit}) \end{aligned}$$

Nous ne développerons cette relation que dans le cas simple du système fermé. Alors les quantités de  $i$  entrant et sortant du système sont nulles. Si l'on exprime les quantités de  $i$  mises en jeu à chaque instant par des débits molaires, alors :

$$(\text{débit molaire de production de } i) = (\text{débit molaire d'accumulation de } i)$$

Explicitons cette relation dans le cas du produit L :

Si le système est homogène, la vitesse  $r_L$  est la même en tous les points et le débit molaire de production de L est :  $r_L V$  où V est le volume du système fermé (V n'est pas nécessairement constant dans le temps).

Si  $n_L$  représente le nombre de moles instantané de L, le débit

$$\text{d'accumulation de L s'écrit : } \frac{dn_L}{dt}$$

$$\text{D'où : } r_L = \frac{1}{V} \frac{dn_L}{dt}$$

On aurait, de la même façon, pour le réactif A

$$r_A = - \frac{1}{V} \frac{dn_A}{dt}$$

car le débit molaire de production de A est :  $-r_A V$ , alors que le débit molaire de consommation de A est  $+r_A V$ .

On notera que  $r_A$  et  $r_L$  sont toutes deux positives.

Si la réaction est représentée par une seule équation stœchiométrique, on obtient l'expression de la vitesse de réaction  $r$  (également positive).

$$r = -\frac{1}{a} \frac{1}{V} \frac{dn_A}{dt} = \dots = \frac{1}{l} \frac{1}{V} \frac{dn_L}{dt} = \dots$$

Les expressions précédentes  $r_L$ ,  $r_A$  et  $r$  ne sont utilisables que dans le cas d'un système fermé. Ce sont les équations caractéristiques de ce type de système. Elles permettent la mesure de  $r_L$ ,  $r_A$  et  $r$  mais ne peuvent constituer des définitions de la vitesse dans le cas général.

Si, de plus, le volume est constant au cours du temps, les expressions se simplifient en :

$$r_L = \frac{dc_L}{dt} \quad r_A = -\frac{dc_A}{dt} \quad r = -\frac{1}{a} \frac{dc_A}{dt} = \dots = \frac{1}{l} \frac{dc_L}{dt} = \dots$$

( $c_i$  étant la molarité de  $i$  dans le système)

puisque  $n_i = Vc_i$  si le système est homogène.

L'expression précédente de  $r$  est celle généralement utilisée pour exprimer la vitesse de réaction dans un système fermé évoluant à volume constant.

21 - **Vitesse courante  $r$**  : c'est la vitesse instantanée à un temps  $t$  quelconque pendant le déroulement de la réaction.

22 - **Vitesse initiale  $r_0$**  : c'est la vitesse au tout début de la réaction, c'est-à-dire à un moment où le milieu est pratiquement exempt des produits de réaction.

23 - **Loi de vitesse** : c'est la fonction mathématique qui relie la vitesse aux différents paramètres du milieu : concentrations, température, force ionique, constante diélectrique, etc. Cette fonction ne dépend que de la réaction et du milieu envisagés et est indépendante du type de réacteur utilisé pour la mettre en œuvre. On distingue la loi de vitesse initiale (vitesse  $r_0$ ) et la loi de vitesse courante (vitesse  $r$ ).

24 - **Ordres réactionnels** : une réaction est d'ordre  $\alpha$  par rapport à un constituant si la vitesse est proportionnelle à la concentration de ce constituant élevée à la puissance  $\alpha$ . On distingue ainsi les ordres initiaux  $\alpha_0$ , relatifs à la vitesse initiale  $r_0$  et les ordres courants (ou encore "ordres au cours du temps") relatifs à la vitesse courante  $r$ .

L'ordre par rapport à un constituant est appelé ordre partiel.

La somme de tous les ordres partiels est appelée ordre global.

25 - **Constante de vitesse** : lorsqu'une réaction possède un ordre, la loi de vitesse s'écrit :

$$r = k C_A^\alpha C_B^\beta$$

la constante de proportionnalité  $k$  s'appelle constante de vitesse, ou encore "vitesse spécifique".  $k$  ne dépend pas des concentrations  $C_A$ ,  $C_B$ , ... au cours de l'évolution du système.

26 - **Loi d'Arrhenius** : Arrhenius a montré que, souvent, la constante de vitesse obéissait à la loi

$$k = A \exp(-E/RT),$$

appelée loi d'Arrhenius.

27 - **Facteur de fréquence (ou facteur préexponentiel)** : le coefficient  $A$  de la loi d'Arrhenius est appelé facteur de fréquence.  $A$  est considéré comme indépendant de la température.

28 - **Energie d'activation d'Arrhenius** : le coefficient  $E$  de la loi d'Arrhenius est appelé énergie d'activation. Il est considéré comme indépendant de la température.

29 - **Température d'activation** : le coefficient  $E/R$  de la loi d'Arrhenius est appelé température d'activation.

30 - **Représentation d'Arrhenius** : elle consiste à tracer, dans un système d'axes orthogonaux, le logarithme népérien d'une grandeur en fonction de l'inverse de la température absolue.

Ce mode de représentation découle de la loi d'Arrhenius : le logarithme de la constante de vitesse est une fonction linéaire de l'inverse de la température absolue.

31 - **Molécularité** : une étape élémentaire est uni-, bi- ou trimoléculaire selon qu'elle met en jeu, respectivement, 1, 2 ou 3 particules (molécules, ions, radicaux libres) réagissantes. Un processus élémentaire ne peut faire intervenir plus de 3 particules.

32 - **Temps de demi-réaction** : temps nécessaire pour consommer la moitié du réactif minoritaire.

33 - **Temps de relaxation** : temps pendant lequel la concentration d'une espèce donnée chute à la fraction  $\frac{1}{e}$  de sa valeur initiale.

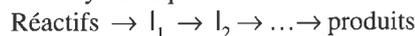
34 - **Centre actif** : entité chimique intermédiaire entre réactifs et produits, et à très courte durée de vie. Il s'agit souvent d'un atome, d'un radical ou d'un ion.

35 - **Couplage** : phénomène se produisant dans un réseau lorsque des réactions à stœchiométries indépendantes sont cependant reliées cinétiquement par l'intervention de centres actifs communs.

36 - **Mécanisme réactionnel** : ensemble des réactions élémentaires permettant de passer des réactifs aux produits. Il décrit, dans l'absolu, toutes les étapes chimiques d'une réaction globale. Il est parfois utilisé pour en désigner les principales étapes.

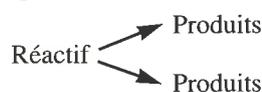
37 - **Schéma réactionnel** : c'est un mécanisme réactionnel simplifié qui représente principalement la filiation des espèces jugées importantes.

38 - **Réactions successives (ou consécutives ou en cascade)** : suite de réactions mettant en jeu une (ou des) espèces intermédiaires entre les réactifs et les produits. Elles sont représentées par le mécanisme symbolique :



$I_1, I_2, \dots$  sont des espèces intermédiaires.

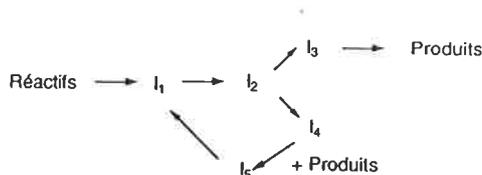
39 - **Réactions parallèles (ou simultanées ou compétitives)** : ensemble de réactions qui se produisent simultanément pour réaliser la transformation des réactifs en produits. Elles sont représentées par le mécanisme symbolique :



40 - **Séquence réactionnelle** : c'est un ensemble de réactions élémentaires que l'on décide de considérer globalement dans un mécanisme réactionnel.

41 - **Séquence ouverte** : c'est une séquence réactionnelle ne formant pas une chaîne fermée (cf. séquence fermée).

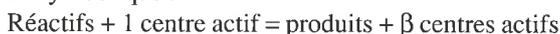
42 - **Séquence fermée** : c'est une séquence réactionnelle formant une chaîne fermée. Exemple :



La séquence  $I_1, I_2, I_3$  est une séquence ouverte.

La séquence  $I_1, I_2, I_4, I_5, I_1$  est une séquence fermée.

43 - **Réaction en chaîne** : mécanisme réactionnel comportant au moins une séquence fermée impliquant des centres actifs. Cependant, si l'ensemble des réactions élémentaires n'est pas connu, la séquence fermée est alors représentée par la réaction globale symbolique :



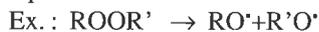
C'est alors une réaction globale qui s'effectue grâce à certains centres actifs qu'elle recrée.

44 - **Facteur de multiplication** : nombre de centres actifs créés par 1 seul centre actif lorsqu'une séquence fermée est effectuée. C'est aussi le facteur  $\beta$  figurant dans la représentation précédente.

45 - **Réaction en chaîne droite (ou de propagation de chaîne)** : réaction en chaîne dont le facteur de multiplication est égal à 1. Il n'y a pas de multiplication du nombre des centres actifs dans la séquence fermée.

46 - **Réaction en chaîne ramifiée (ou branchée)** : réaction en chaîne dont le facteur de multiplication est supérieur à 1. Il y a multiplication du nombre des centres actifs dans la séquence fermée. Par exemple, le processus :  $O \cdot + H_2 \rightarrow OH \cdot + H \cdot$  crée deux centres actifs à partir d'un seul. Il constitue une étape de ramification dans la réaction de combustion de l'hydrogène.

47 - **Réaction d'amorçage (ou d'initiation) de chaîne** : réaction chimique créant des centres actifs à partir des réactifs.



48 - **Réaction de terminaison (ou de rupture) de chaîne** : réaction chimique conduisant à la disparition de centres actifs pour former exclusivement des espèces stables.

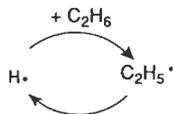


49 - **Propagation (dans une réaction en chaîne)** : ensemble des processus élémentaires formant la séquence fermée d'une réaction en chaîne (la réaction en chaîne comprend aussi les processus d'amorçage et de terminaison).

Par exemple, dans la pyrolyse de l'éthane, la séquence



est une réaction de propagation, représentée par le schéma :



Pour chaque séquence fermée, il se forme  $H_2 + C_2H_4$ .

50 - **Longueur de chaîne** : c'est le rapport de la vitesse d'une réaction en chaîne à la vitesse de la réaction d'amorçage.

C'est aussi le nombre de centres actifs créés, en moyenne, par un centre actif issu de la réaction d'amorçage.

51 - **Centres actifs porteurs de chaînes** : centres actifs intervenant dans la séquence de propagation ou de ramification.

52 - **Réaction par stades** : c'est une réaction en séquence ouverte faisant intervenir des espèces intermédiaires.

53 - **Approximation de l'état quasi stationnaire (AEQS)** : cette approximation, due à Bodenstein, suppose que, pour un intermédiaire, la vitesse de formation est pratiquement égale à la vitesse de disparition. Elle est justifiée lorsque l'intermédiaire est très réactif.

54 - **Branchement dégénéré (ou ramification dégénérée)** : processus élémentaire, de type amorçage, conduisant à la création de centres actifs à partir d'un produit de la réaction (et non pas des réactifs). Il s'agit donc d'un amorçage secondaire, par opposition à l'amorçage primaire à partir des réactifs.

55 - **Inducteur (ou amorceur)** : composé, introduit dans un milieu réactionnel, dont le but est de fournir des centres actifs par un amorçage plus facile qu'à partir des réactifs. Il accélère la réaction en question mais au prix de sa disparition.

56 - **Catalyseur** : un catalyseur est un composé qui, introduit en petite quantité avec les réactifs, accélère fortement une réaction chimique et se retrouve pratiquement inchangé en fin de réaction.

57 - **Réaction catalytique** : réaction en séquence fermée où intervient un catalyseur ajouté.

58 - **Réaction autocatalytique (ou autoaccélérée)** : réaction qui produit son propre catalyseur.

59 - **Promoteur** : substance qui, ajoutée à un catalyseur, en augmente l'efficacité.

60 - **Période d'induction** : temps pendant lequel l'avancement d'une réaction reste en dessous de la limite expérimentale de détection.

61 - **Inhibition** : phénomène correspondant à la diminution de la vitesse d'une réaction due à la présence d'une substance (inhibiteur) ajoutée dans le milieu.

62 - **Auto-inhibition** : inhibition d'une réaction par un composé inhibiteur formé par la réaction elle-même.

63 - **Effet de paroi** : influence cinétique des parois du réacteur sur la vitesse de réaction. Cette influence peut être accélératrice ou inhibitrice.

64 - **Sites actifs** : groupes d'atomes, à la surface d'un solide ou d'une enzyme, responsable de l'activité catalytique.

65 - **Chemin réactionnel** : dans un processus élémentaire, ensemble des différentes positions des atomes lors du passage effectif des réactifs aux produits. Il correspond au chemin nécessitant le minimum d'énergie pour passer des réactifs aux produits.

66 - **État de transition (ou complexe activé)** : dans un processus élémentaire, configuration hypothétique, intermédiaire entre réactifs et produits, et qui correspond au maximum d'énergie potentielle le long du chemin réactionnel.

67 - **Coordonnée de réaction** : si, dans une réaction élémentaire, un seul paramètre définit le chemin réactionnel, on l'appelle coordonnée de réaction. C'est donc l'abscisse curviligne le long du chemin réactionnel.

68 - **Courbe d'énergie potentielle** : courbe représentant, pour une réaction élémentaire, l'énergie potentielle en fonction de la coordonnée de réaction.

69 - **Énergie d'activation** : dans une étape élémentaire, c'est - en première approximation - l'énergie standard de la réaction de formation du complexe activé à partir des réactifs. Cette grandeur est très voisine de l'énergie d'activation d'Arrhenius de ce processus.

70 - **Enthalpie d'activation** : dans une étape élémentaire, il s'agit - en première approximation - de l'enthalpie standard de la réaction de formation du complexe activé à partir des réactifs.

71 - **Entropie d'activation** : dans une étape élémentaire, il s'agit - en première approximation - de l'entropie standard de la réaction de formation du complexe activé à partir des réactifs. Cette grandeur est reliée au facteur préexponentiel d'Arrhenius du processus.

72 - **Barrière d'activation** : expression employée parfois pour désigner l'énergie d'activation d'un processus élémentaire exothermique.

## Index alphabétique

(le numéro indique le paragraphe dans lequel figure la définition)

Activation (énergie d')	69	État de transition	66	(s) compétitive (s)	39
(enthalpie d')	70			(s) consécutives (s)	38
(température d')	29			directe	9
Amorceur	55	Facteur de fréquence	25	élémentaire	5
Approximation de l'état		de multiplication	44	(s) en cascade	38
quasi stationnaire (AEQS)	53	de préexponentiel	25	(s) en chaîne	43
Arrhénius (loi d')	26			globale	6
(représentation d')	30	Inducteur	55	inversable	11
Autocatalytique (réaction)	58	Induction (période d')	60	inverse	10
Autoinhibition	62	Inhibition	61	isolée	7
Avancement de de Donder	18			(s) parallèles	39
Avancement de la réaction	18	Loi de vitesse	23	par stades	52
		d'Arrhénius	26	(s) simultanées	39
Barrière d'activation	72	Longueur de chaîne	50	simple	7
Branchement dégénéré	54			(s) successive(s)	38
		Mécanisme réactionnel	36	Réseau (de réactions)	8
Centres actifs	34,51	Molécularité	31		
Chaîne droite	45	Multiplication (facteur de)	44	Schéma réactionnel	37
ramifiée	46			Séquence fermée	42
(réaction en)	43	Ordre réactionnel	24	ouverte	41
Chemin réactionnel	65			réactionnelle	40
Complexe activé	66	Période d'induction	60	Sites actifs	64
Constante de vitesse	25	Processus élémentaire	5	Stades (réaction par)	52
Conversion (taux de)	18	Produits	3	Stœchiométriques (proportions)	14
Coordonnée de réaction	67	Proportions stœchiométriques	14	Système	17
Couplage	35				
Courbe d'énergie potentielle	68	Quantité de matière	13		
				Taux de conversion	18
Demi-réaction	30	Ramification dégénérée	54	Température d'activation	29
De Donder (avancement de)	18	Réactif	2	Temps de demi-réaction	30
		Réactif majoritaire	15		
Effet de paroi	63	minoritaire	16	Vitesse courante	21
Énergie d'activation	69	Réacteur	17	de consommation	19
Enthalpie d'activation	70	Réaction autocatalytique	58	de formation	19
Entropie d'activation	71	catalytique	57	de réaction	20
Espèce intermédiaire	4	chimique	1	initiale	22

A la demande de professeurs de chimie, *L'Actualité Chimique* présentera régulièrement des informations récentes et utiles pour la mise à jour de leurs enseignements.

R. Hamelin

# Acide sulfurique



La première référence à l'acide sulfurique peut être attribuée à Jabir Ibn Hayyan au VIII<sup>e</sup> siècle, à propos de la distillation du vitriol vert. En 1570, Dornaeus établit certaines de ses propriétés. Libavius présente différentes méthodes de préparation en 1595. L'utilisation du salpêtre dans la fabrication fut considéré comme un progrès (1666). En 1740, Ward commence une production à grande échelle en Angleterre en brûlant du soufre en présence de salpêtre.

Introduites en 1746 pour fabriquer l'acide nécessaire au blanchiment du textile, les premières chambres de plomb avaient une capacité de production d'environ 50 kg d'acide titrant 33 % en masse.

La combustion du soufre en continu date de 1810.

En 1827, Gay Lussac introduisit une méthode d'absorption des oxydes d'azote, ce qui permit la mise en œuvre d'un procédé continu de fabrication dans les chambres de plomb.

L'apparition des procédés dits de contact a peu à peu supplanté la production d'acide par les chambres de plomb, essentiellement parce que l'acide produit peut atteindre une concentration de 98,5 % alors que celle-ci était limitée à 75 % en masse avec les chambres..

Découvert en 1831 (Phillips en Angleterre et F. Kuhlmann en France), le procédé de contact consiste en l'oxydation de l'anhydride sulfureux (SO<sub>2</sub>) en anhydride sulfurique (SO<sub>3</sub>) sur un catalyseur au platine. Cette réaction n'a été adoptée par l'industrie qu'en 1872.

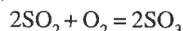
Le catalyseur au pentoxyde de vanadium est apparu en 1913 (BASF) et a remplacé progressivement le catalyseur au platine pour son insensibilité aux poisons.

## PRINCIPE DU PROCÉDÉ DE CONTACT

La fabrication de l'acide sulfurique résulte de l'absorption de l'anhydride sulfurique SO<sub>3</sub> gazeux, suivant la réaction :



L'anhydride sulfurique est obtenu par oxydation de l'anhydride sulfureux SO<sub>2</sub> dans un convertisseur contenant un catalyseur dont le principe actif est le pentoxyde de vanadium (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). La réaction correspondante est la suivante :



La production d'acide sulfurique est réalisée à partir de gaz propres et exempts d'humidité. La purification et le séchage des gaz sont très différents suivant la source de SO<sub>2</sub>.

### a) A partir du soufre

La production des gaz riches en SO<sub>2</sub> (8 à 11 % en volume) est réalisée par la combustion du soufre avec l'oxygène de l'air dans un four briqueté. La chaleur dégagée est récupérée dans une chaudière.

Le traitement consiste essentiellement en la filtration et le séchage de l'air nécessaire à la combustion. Le séchage est réalisé dans une tour en acier briqueté avec garnissage arrosé à l'acide sulfurique concentré (92 à 98 % en masse).

Le soufre peut avoir plusieurs origines :

- une provenance minière avec extraction directe sous forme solide ou par le procédé Frasch (eau chaude sous pression) ;
- la récupération dans les procédés de désulfuration du gaz (de Lacq par exemple) ou des fuels.

Avant introduction dans l'unité de combustion, le soufre est fondu (135-140 °C) et éventuellement filtré.

### b) A partir de sulfures métalliques

Les sulfures métalliques ont des teneurs en soufre variable : 50 % pour la pyrite (sulfure de fer), 30 % pour la blende (sulfure de zinc).

Le grillage s'effectue à une température voisine de 800-1000 °C, fonction du type de sulfure et de sa composition.

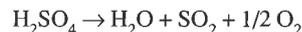
A la sortie du four, les gaz sont refroidis dans une chaudière.

Un système de séparateurs électrostatiques élimine la quasi-totalité des poussières entraînées dans les gaz.

Après lavage et épuration, les gaz sont refroidis à 35 °C environ et ensuite séchés dans une tour à garnissage arrosée à l'acide sulfurique concentré (92 à 98 % en masse).

### c) A partir d'acide sulfurique résiduaire

Le traitement consiste à dissocier l'acide suivant la réaction endothermique suivante :



Cette opération est réalisée dans un four où la chaleur de décomposition nécessaire peut être apportée par du gaz, du fuel ou du soufre. La température y est maintenue à 1 000 °C et l'acide est pulvérisé en fines gouttelettes.

Les gaz sont ensuite refroidis dans une chaudière puis lavés et épurés. De telles installations sont utilisées pour la régénération de l'acide sulfurique ayant servi dans les opérations d'alkylation pour la production d'essence sans plomb ou pour la régénération d'acides usés non réutilisables tels quels.

### c) A partir de sulfure d'hydrogène

La combustion de H<sub>2</sub>S est réalisée dans un four où l'apport d'oxygène est assuré par l'air atmosphérique. La formation d'eau de réaction nécessite ensuite un traitement des gaz identique à celui des gaz de décomposition d'acide, pour obtenir des gaz secs ne contenant plus que SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>.

NDLR : Cette documentation a été préparée par la rédaction de *L'Actualité Chimique*. Elle résume un chapitre récent (déc. 92, J 6095) du *Traité Génie des Procédés*, rédigé par Hervé Clément (Rhône-Poulenc Chimie), édité par *Les Techniques de l'Ingénieur*, 21, rue Cassette, 75006 Paris. Tél. : (1) 42.22.35.50. Fax : (1) 45.49.35.32.

## PRODUCTION DE L'ACIDE SULFURIQUE

A partir des gaz anhydres, la fabrication de l'acide sulfurique nécessite plusieurs étapes :

- la conversion de  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$ ,
- l'absorption de  $\text{SO}_3$  dans l'acide.

### a) Conversion de $\text{SO}_2$ en $\text{SO}_3$

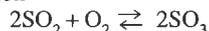
Cette opération est effectuée dans un appareil appelé convertisseur, équipé de plusieurs lits successifs de catalyseur. Le catalyseur est constitué d'un support de grande porosité (Kieselguhr, gel de silice...) possédant une surface très importante sur laquelle est déposée la phase active : du pentoxyde de vanadium ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) dont la concentration varie de 5 à 10 % en masse.

Au catalyseur est ajouté un promoteur qui en augmente l'activité : il s'agit de sulfate de potassium (ou de césium maintenant).

La phase active est un mélange fondu constitué par des composés vanadium-soufre dissous dans le pyrosulfate de potassium formé à la surface des pores du support inerte.

Le catalyseur est utilisé soit sous forme extrudée (bâtonnets de 6 à 8 mm de diamètre pour 10 mm de longueur), soit en anneaux de 10 mm de diamètre extérieur, 5 mm de diamètre intérieur et 15 mm de longueur, pour une perte de charge plus faible du circuit gazeux.

La réaction de conversion



est une réaction équilibrée qui peut être décomposée de la façon suivante :

- diffusion de  $\text{SO}_2$  et de l'oxygène à la surface du catalyseur,
- cheminement dans les pores du catalyseur,
- adsorption sur les centres actifs (chimisorption),
- réaction chimique de  $\text{SO}_2$  absorbé avec  $\text{O}_2$ ,
- cheminement en sens inverse à travers les pores,
- désorption des produits de réaction,
- diffusion dans le flux gazeux.

La constante d'équilibre de la réaction d'oxydation est telle que

$$K_p = \frac{(P_{\text{SO}_3})}{(P_{\text{SO}_2}) (P_{\text{O}_2})^{1/2}} \text{ en Pa}^{-1/2}$$

avec 
$$\ln K_p = \frac{11\,373}{T} - 10,75$$

Il est possible de tracer une courbe théorique d'équilibre de conversion en fonction de la température.

L'augmentation de la pression, la réduction de la concentration en  $\text{SO}_2$  ainsi que l'élimination intermédiaire du  $\text{SO}_3$  déjà formé sont des moyens permettant d'accroître le rendement de conversion.

La courbe de la *figure 1* correspond à un gaz issu de la combustion du soufre et contenant initialement 10 % de  $\text{SO}_2$ , 11 % d' $\text{O}_2$  et 79 % de  $\text{N}_2$  (en volume). L'oxydation de  $\text{SO}_2$  est effectuée dans un convertisseur équipé de 4 lits de catalyse.

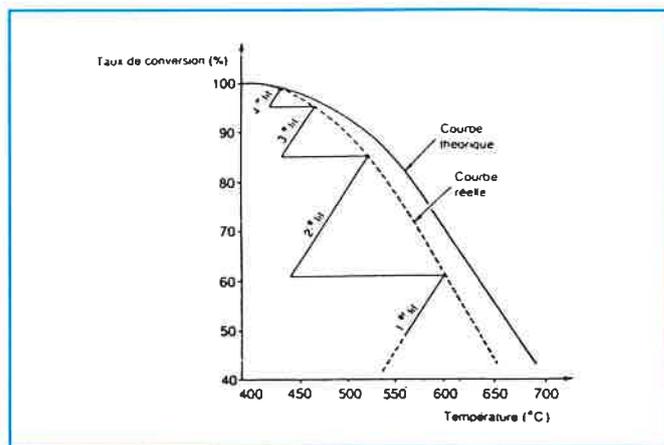
Les gaz doivent arriver à 430 °C sur le 1er lit, l'amorçage de la réaction exothermique entraînant une montée en température jusqu'à un équilibre à 600 °C correspondant à 60 % du  $\text{SO}_2$  converti en  $\text{SO}_3$ .

La poursuite de la conversion nécessite un refroidissement à 430 °C avant introduction sur le 2e lit où l'on atteint 84 % de conversion. De même pour le 3e lit où la conversion atteint 94 % et le 4e où elle atteint 98 %.

Cet exemple illustre une unité dite "simple absorption".

Depuis les années 70, un rendement de 98 % n'est plus considéré comme suffisant et les nouvelles unités construites doivent atteindre des rendements de 99,6 %. Pour obtenir ce résultat, on utilise le procédé dit "double absorption" qui permet, par une absorption intermédiaire du  $\text{SO}_3$  déjà formé, généralement à la sortie du 3e lit de conversion, de déplacer l'équilibre de conversion vers une plus grande oxydation du  $\text{SO}_2$  restant (cf. *figure 1*)

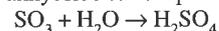
Un schéma de principe de telles unités qui minimisent les rejets de  $\text{SO}_2$  dans l'atmosphère est donné sur la *figure 2*.



**Figure 1** - Courbes d'équilibre de conversion de  $\text{SO}_2$  issu de la combustion de soufre en  $\text{SO}_3$  dans un convertisseur équipé de 4 lits de catalyse.

### b) Absorption de $\text{SO}_3$

La transformation de l'anhydride sulfurique en acide sulfurique :



s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur (136 kJ/mol).

En théorie, l'absorption de  $\text{SO}_3$  dans l'eau est très rapide et totale, mais, en réalité, elle n'est pas complète pour la raison suivante : le dégagement de chaleur provoque la vaporisation d'une partie de l'eau, qui se combine avec  $\text{SO}_3$  pour former  $\text{H}_2\text{SO}_4$  à l'état vapeur.

Cet acide, du fait de sa faible pression de vapeur, se condense sous forme de très fines gouttelettes qui restent en suspension dans le courant gazeux et ne sont pas piégées dans l'eau.

En pratique, l'absorption de  $\text{SO}_3$  est réalisée dans l'acide sulfurique concentré (97,5 à 99 % en masse) à une température de 70 à 100 °C. Le débit d'acide d'absorption doit être suffisant pour que la concentration en pied de colonne d'absorption ne dépasse pas 99,5 %.

La qualité commerciale de l'acide est généralement comprise entre 92 et 98,5 % en masse. La mise à titre de l'acide est réalisée par injection d'eau suivie d'un refroidissement au-dessous de 40 °C avant stockage.

La capacité des ateliers sulfuriques est passée de quelques centaines de tonnes par jour avant 1970 à plus de 2 000 t/j pour les unités les plus importantes aujourd'hui.

### Matériaux

Les progrès technologiques permettent d'employer aujourd'hui des alliages en remplacement de la fonte ou des équipements briquetés.

L'acier est utilisé pour des lignes de transfert et le stockage de l'acide concentré froid. Il faut toutefois éviter des vitesses supérieures à 1 m/s qui élimineraient la couche passivante de sulfate de fer qui protège l'acier de la corrosion.

L'acide concentré chaud (60 à 110 °C) est transféré dans des lignes en fonte ductile, en alliages à base de chrome et de nickel, ou en acier inoxydable standard (17 % Cr et 12 % Ni) protégé anodiquement.

Les colonnes de séchage et d'absorption sont en acier briqueté. Depuis quelques années, toutefois, des alliages riches en nickel, chrome et silicium sont utilisés en remplacement de l'acier briqueté. Les réfrigérants d'acide sont de type tubulaire ou à plaques en acier inoxydable protégé anodiquement ou en alliage de meilleure résistance à la corrosion sans protection anodique.

Pour les circuits de gaz, les gaines et les échangeurs gaz-gaz sont en acier, souvent aluminisé pour éviter la formation d'écailles.

Les convertisseurs sont construits en acier inoxydable, quelquefois avec des échangeurs gaz-gaz incorporés.

L'acide de concentration plus faible à basse température peut être transporté et stocké dans des équipements en plastique (PVC et polypropylène peuvent convenir).

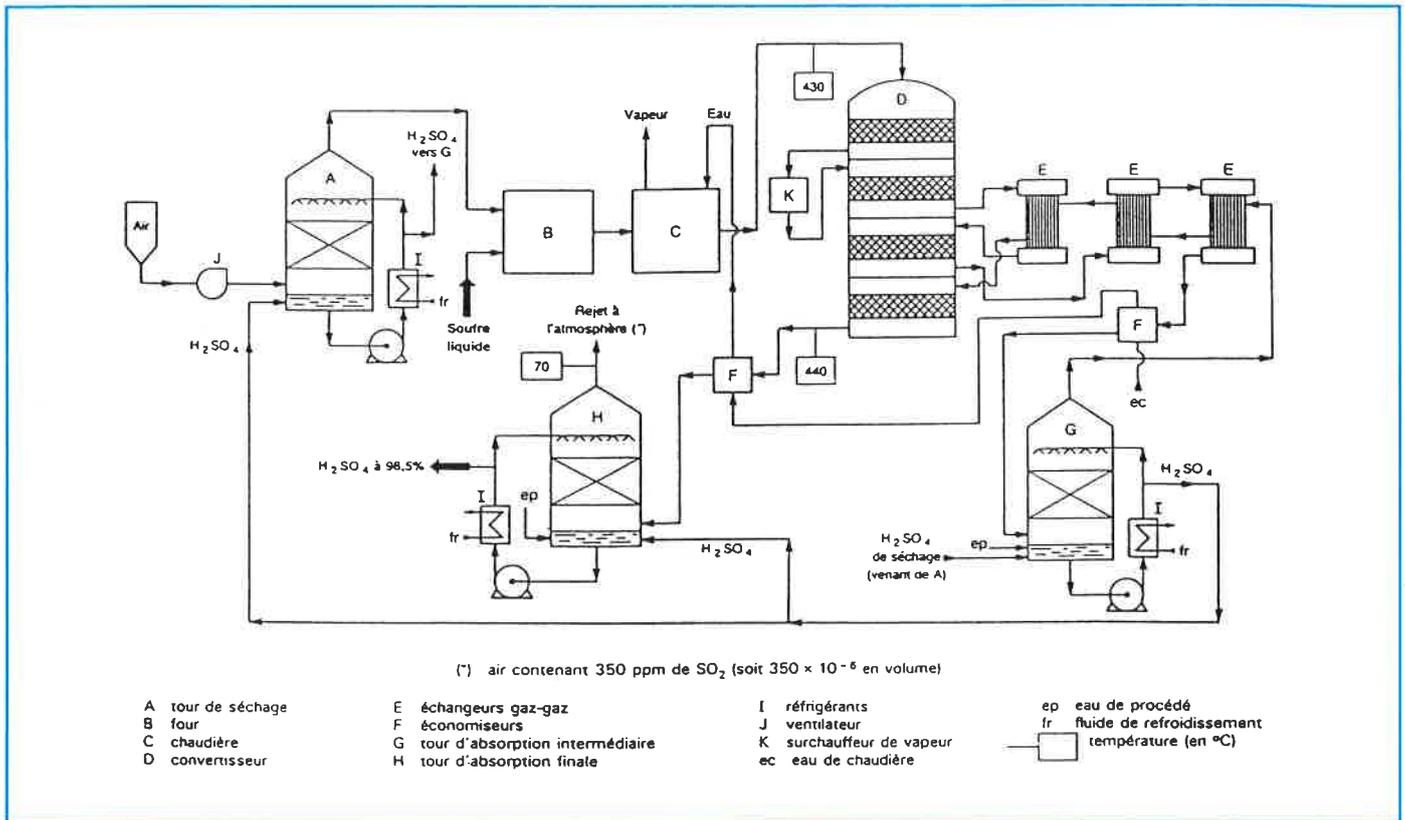


Figure 2 - Procédé "double absorption" à partir de soufre.

**Energie**

La fabrication de l'acide sulfurique est excédentaire en énergie. En considérant la production à partir du soufre, on peut décomposer l'énergie thermique dégagée par les réactions de la façon suivante :

Réaction considérée	-Δ H en kJ par kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Combustion S + O <sub>2</sub> → SO <sub>2</sub> .....	3 026
Conversion SO <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → SO <sub>3</sub> .....	1 004
Absorption SO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O → H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	1 390
Dilution de l'acide et séchage de l'air .....	251

soit une énergie totale dégagée de 5 671 kJ par kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> produit. La majeure partie de cette énergie est récupérée sous forme de vapeur surchauffée utilisable pour l'entraînement de turbomachines (soufflantes, pompes d'alimentation des chaudières et alternateur). Le plus souvent, on ne récupère que les enthalpies de combustion et de conversion. Cependant, les progrès technologiques réalisés en matière de résistance des matériaux à l'acide sulfurique concentré chaud permettent de récupérer aussi la chaleur d'absorption directement dans une chaudière produisant de la vapeur à basse pression (3 à 10 bar).

**Environnement**

L'évolution vers une réduction de plus en plus sévère des rejets dans l'atmosphère a amené les producteurs d'acide à utiliser de plus en plus la double absorption dans les nouvelles unités et à transformer les anciennes unités fonctionnant en simple absorption.

Les problèmes d'environnement concernent les rejets dans l'atmosphère de gaz pouvant contenir des quantités trop importantes de SO<sub>2</sub> ou pouvant générer des brouillards sulfuriques.

Les unités construites après 1970, fondées sur la double absorption, ne posent pas de problèmes puisque leurs rejets en SO<sub>2</sub> sont faibles (350 ppm).

Pour les unités construites antérieurement à 1970, plusieurs solutions existent, permettant de réduire les rejets de SO<sub>2</sub> :

- la transformation en double absorption par addition des équipements correspondants ;
- l'abattage de SO<sub>2</sub> dans les gaz de queue avec de la chaux, de l'ammoniaque ou de la soude mais en générant un sous-produit liquide ou solide quelquefois valorisable ;
- l'oxydation directe de SO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> avec ou sans catalyseur.

Cependant, l'émission d'un brouillard sulfurique à la sortie de la cheminée est un phénomène connu qui peut avoir différentes origines. Nous avons vu que l'absorption de SO<sub>3</sub> ne pouvait pas se faire directement dans l'eau pour des raisons de formation de gouttelettes extrêmement fines qui restent dans le courant gazeux. Il en est de même si les gaz contiennent des quantités excessives d'humidité : leur refroidissement au-dessous du point de rosée entraîne la formation d'un brouillard qui n'est pas arrêté lors de l'étape d'absorption.

Un moyen d'éliminer ou de réduire très sensiblement l'émission du panache résultant de ce brouillard consiste à installer des dévésiculeurs de haute efficacité en sortie de la tour d'absorption.

**Investissements**

Les ordres de grandeur estimés en 1992 sont les suivant :

- . 150 MF pour une unité "double absorption" de 1 000 t/j à partir du soufre ;
- . 300 MF pour une unité "double absorption" de 1 000 t/j à partir d'acide à régénérer.

# H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

## Propriétés physico-chimiques

Masse molaire : 98,08  
 Température de fusion : 10,49 °C  
 Température d'ébullition : 290 °C.  
 Densité : d = 1,836 à 15 °C.

Concentrations commerciales : 92 à 98,5 % en masse.

L'acide sulfurique est un liquide incolore, inodore, visqueux. C'est un produit oxydant et déshydratant. Il réagit vivement avec de nombreuses matières organiques, les métaux en poudre, les carbures, les chlorates, les chromates, les nitrates, etc., en produisant une très grande quantité de chaleur. La réaction peut être explosive.

Si l'on verse de l'eau sur de l'acide sulfurique concentré, celui-ci "explose" littéralement ; cette réaction violente et dangereuse est accompagnée de projections de liquide.

Les principaux métaux usuels sont attaqués par l'acide sulfurique avec dégagement d'hydrogène. L'acide dilué attaque le zinc, le fer, certaines fontes et le cuivre, mais n'a pas d'action sur le plomb.

Concentré à froid, il n'a pas d'action sur le fer, l'acier, la fonte. A chaud, presque tous les métaux sont attaqués.

## Toxicologie

L'acide sulfurique peut provoquer des lésions au niveau de la peau, des yeux, des voies respiratoires et des dents. En cas de projection sur la peau, procéder immédiatement à un lavage abondant et prolongé à l'eau (pour les yeux) ou mieux avec une solution neutralisante (par exemple, la triéthanolamine à 5-10 %).

En cas d'ingestion, faire boire des grandes quantités d'eau et hospitaliser d'urgence.

En cas de dégagement ou de déversement accidentel, abattre les vapeurs par pulvérisation d'eau ; diluer et neutraliser les flaques par un carbonate alcalin.

La valeur limite d'exposition (VLE) (pour 8 h/j) recommandée par l'INRS est de 1 mg/m<sup>3</sup> d'air.

## Risques d'incendie et d'explosion

L'acide sulfurique est ininflammable.

Cependant, la corrosion métallique par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> peut être la cause d'un dégagement d'hydrogène inflammable et explosible.

En cas d'incendie, le moyen d'extinction recommandée est l'extincteur à poudre ; ne pas utiliser d'eau.

## Stockage et manipulation

Consignes applicables aux liquides corrosifs

**Stockage :** à l'extérieur, loin des sources de chaleur, en réservoirs bien fermés et citernes munis d'évents avec déshydrateur. A l'ouverture, ne pas fumer et prohiber les points d'ignition.

**Matériau d'emballage :** acier ordinaire ou acier inoxydable.

**Précautions particulières de manipulation :**

- port de gants obligatoire et, éventuellement, bottes, vêtements de protection antiacide et visière ;
- postes d'eau à proximité, douches et fontaines oculaires ;
- ventilation des locaux et aspiration des vapeurs d'acide sur les postes de travail ;
- interdiction de fumer.

## Production\*

Production annuelle (en kt)		
	en 1980	en 1992
France .....	4 950	3 000
Europe de l'Ouest .....	27 300	19 000
États-Unis .....	39 100	40 000
Monde .....	142 400	150 000

## Répartition (en %) de la consommation mondiale en 1992 en fonction des matières premières

	Soufre	Pyrites	Autres
France .....	82	0	18
Europe de l'Ouest .....	44	21	35
Etats-Unis .....	90	0	10
Monde .....	64	16	20

## Prix de vente

En 1993, le prix départ usine était de 400 F/t. Des réductions peuvent être consenties pour des contrats de longue durée. Pour ce type de contrat, le prix de vente est étroitement lié au prix du soufre.

## Principales utilisations\*

En France, les usages étaient approximativement répartis, en 1992, comme suit :

engrais.....	50 %
acide phosphorique non agricole.....	6 %
oxyde de titane.....	11 %
acide fluorhydrique.....	5 %
textiles artificiels (rayonne).....	-
sidérurgie (décapage des métaux), traitement minerais (uranium, etc.).....	3 %
divers.....	25 %

## Producteurs\*

En France, les principaux producteurs sont les consommateurs d'acide sulfurique, c'est-à-dire :

- les producteurs d'engrais :  
Elf Atochem, Société Chimique de la Grande Paroisse,
- les fabricants d'oxyde de titane :  
Thann et Mulhouse, Tioxyde
- les métallurgistes :  
Métaleurop, Union Minière
- les chimistes :  
Rhône-Poulenc, lui-même fortement intégré.

\* Source : Syndicat National Professionnel de la Chimie Minérale

# La politique contractuelle de l'État vis-à-vis des universités\*

**La loi d'orientation de l'enseignement supérieur de 1968 a introduit la notion d'autonomie des universités.**

**Dans les faits, cette autonomie n'a pu être mise en œuvre qu'avec une extrême prudence par l'État, qui conserve la maîtrise de normes nationales généralement rigides, de l'attribution des emplois et d'une partie importante des crédits.**

**Toutefois, une politique contractuelle permettant aux universités de se situer dans une perspective à moyen terme (en général 4 ans) a commencé à se développer dans le domaine de la recherche entre 1975 et 1980, alors que les lois sur la formation continue de 1971 laissaient aux établissements d'enseignement supérieur la possibilité de négocier le financement de formation dont ils définissaient le contenu, avec différents partenaires, notamment industriels.**

C'est, en effet, à la fin des années 1970 qu'a été créée la mission de la recherche (devenue depuis direction de la recherche), en vue de réduire le caractère souvent arbitraire de l'attribution des crédits de recherche aux établissements d'enseignement supérieur, par la prise en compte et l'évaluation de programmes de recherche élaborés par les établissements. Peu à peu, cette procédure a pris la forme de contrats pluriannuels négociés entre le ministère et les établissements, contrats qui ont conduit à l'émergence d'"équipes recommandées", puis à une concertation entre la direction de la recherche et le CNRS concernant la politique nationale de la recherche. Plus tard, ont été créés, en

1984, les "pôles de Formation des Ingénieurs par la Recherche Technologique" (pôles Firtech), en collaboration avec les milieux industriels et les grands organismes de recherche (CNRS, Inserm, Inra), en vue de resserrer les liens entre la recherche publique et la recherche industrielle d'une part, entre les universités et les grandes écoles d'autre part. A la faveur de la création de 30 pôles Firtech, entre 1984 et 1989, de nombreux ingénieurs ont été formés par la recherche dans le cadre de contrats quadriennaux entre l'État et les universités ou écoles.

Dans le même souci de valorisation de la recherche conduite dans les universités et les grandes écoles ont été développés, dans les années 1985-1988, de nombreux centres de valorisation financés par l'État sous forme contractuelle et pluriannuelle dans la perspective de l'autofinancement de ces centres après quelques années : des entreprises, dont certaines sont aujourd'hui prospères, sont nées dans ce cadre.

A partir de 1989 se sont négociés, après une expérimentation limitée à quelques régions, des contrats pluriannuels entre l'État et les universités concernant l'enseignement. L'Inspection Générale de l'Administration de l'Éducation Nationale (IGAEN) s'est exprimée sur cette nouvelle démarche contractuelle dans son rapport 1993 publié par la Documentation française.

"Placée directement auprès du ministre, l'IGAEN a pour mission permanente d'observer et d'apprécier le fonctionnement du système éducatif. Elle est à la fois une instance de contrôle d'évaluation et de conseil. Garante de la norme, soucieuse des performances, mais aussi force de proposition, elle exerce ainsi un rôle régulateur dans la conduite des politiques éducatives".

## Un bilan positif, mais limité

La politique contractuelle présente globalement un bilan positif en tant qu'instrument de l'autonomie et d'un programme de développement relativement suivi. Mais cette réussite reste encore limitée quant aux moyens et quant aux domaines d'intervention.

## Instrument de développement de l'autonomie

Si le discours officiel a promu l'autonomie des universités, l'édiction de normes nationales rigides, la maîtrise par l'État de l'attribution des emplois et d'une partie des crédits tendent à décourager les initiatives et à freiner la créativité. La politique contractuelle, bien conduite, a favorisé au contraire l'autonomie des établissements :

- par l'ouverture d'un horizon pluriannuel : la certitude de pouvoir disposer de moyens pendant une période supérieure à un an, et donc de faire des prévisions à moyen terme, a amené les responsables de l'université à réfléchir sur leur propre activité, à chiffrer les demandes, à approfondir les projets, estimer leur faisabilité et leur opportunité en vue d'arrêter des choix ;

- par le renforcement des pouvoirs du président et de son équipe : les tendances autonomistes des UFR nuisaient à la cohérence de l'établissement universitaire. La préparation du contrat avec l'État a été l'occasion de travailler sur un projet global, les différents directeurs situant leur action dans une politique d'établissement. Ainsi le contrat renforce-t-il les pouvoirs du président, tant dans la phase préparatoire qui l'amène à centraliser la

\*NDLR : Le texte suivant est extrait du rapport 1993 de l'Inspection Générale de l'Administration de l'Éducation Nationale (La Documentation française, Paris 1993, p. 236-250). Nous remercions celle-ci d'avoir autorisé cette présentation.

négociation au nom des composantes, qu'après la signature, dans les relations avec les interlocuteurs extérieurs ;

- par le développement de la concertation au moins au niveau de l'encadrement : la préparation du contrat a incité les responsables des composantes à évaluer leur pratique, à fixer et à formaliser objectifs et priorités. Elle a rassemblé autour du projet un nombre important de responsables des formations et favorisé une forme nouvelle de collaboration. En cela, la démarche contractuelle a créé une dynamique universitaire.

Bien sûr, il ne faut pas surestimer cette concertation interne. La participation s'est limitée, en fait, aux responsables administratifs et à ceux des enseignants et des étudiants qui sont membres des conseils centraux ou des conseils d'UFR, sans jamais intéresser la plupart des enseignants ni, à plus forte raison, les étudiants.

### Programme de développement relativement suivi

Le deuxième objectif de la politique contractuelle était de permettre une gestion planifiée de l'établissement. Toutefois, devant l'explosion du nombre de bacheliers et donc d'étudiants, l'objectif prioritaire retenu dans la première phase d'application du contrat a été celui de leur accueil.

#### *Les étudiants*

Toutes les universités ont pu accueillir, en premier cycle, un nombre croissant de bacheliers. Des mesures ont été mises en place ou envisagées, dans tous les établissements, afin de leur permettre de mieux s'adapter à l'enseignement supérieur, en consolidant leurs acquis ou en les complétant (...).

En outre, une action a été menée en direction des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles. L'objectif de la plupart des établissements était double. Il s'agissait à la fois de maintenir les formations à un niveau compétitif au plan national comme international (dans ce but, les établissements se sont efforcés de consolider et de renforcer les formations existantes en offrant le maximum de possibilités de poursuivre sur place au-delà du 1<sup>er</sup> cycle) et d'infléchir les formations vers la professionnalisation (...).

Le rapprochement avec le monde des entreprises s'est traduit également par l'organisation de journées d'animation et de réflexion, le développement de la recherche et de l'exploitation industrielle des découvertes scientifiques, la diversification des stages de fin d'études.

On peut donc estimer que la procédure du contrat, en interaction avec l'évolution de l'environnement, contribue à accélérer l'évolution des formations universitaires.

#### *Les moyens d'accompagnement*

En premier lieu, la création de nombreux emplois d'enseignants a constitué l'apport le plus notable du contrat aux établissements, sans pour autant les satisfaire pleinement (...).

Les promesses de l'État ont été tenues et dépassées quelquefois, ou tout au moins accélérées dans leur réalisation. Les nouveaux emplois ont permis, soit de corriger quelques sous-encadrements, par renforcement de toutes les composantes, soit d'encadrer les filières nouvelles.

En second lieu, la politique contractuelle a tenu compte du développement rapide des universités et prévu de faire face à la poussée des flux en engageant des travaux d'aménagement (...).

Le bilan des contrats, véritablement positif à certains égards, est cependant encore limité tant du point de vue des moyens que des domaines d'intervention.

### Les moyens

#### *Les IATOS*

Les créations de ce type de postes ne sont évoquées, dans le contrat quadriennal, que pour la seule rentrée 1990, c'est-à-dire la première année du contrat. Elles ont été respectées, mais aucun engagement n'ayant été pris sur les années suivantes, une inquiétude est ressentie pour l'avenir.

D'une manière générale, la modestie des emplois créés, ainsi que la difficulté des redéploiements entre UFR, ont constitué un frein au développement d'activités essentielles (...) et ont suscité une déception générale et de vives inquiétudes pour l'avenir, en particulier quant à la possibilité d'assurer la maintenance des locaux.

#### *La maintenance et les équipements*

Dans l'ensemble, l'État a respecté les engagements du contrat : les moyens alloués correspondaient aux prévisions contractuelles, qu'il s'agisse des crédits d'équipement ou de maintenance, et étaient en augmentation par rapport aux attributions antérieures.

Évidemment, ces engagements se situaient presque toujours en retrait de la demande. C'est pourquoi la réalisation de certains objectifs a parfois été retardée du fait de l'insuffisance des crédits de maintenance. De plus, l'arrivée de nouveaux enseignants chercheurs renforce les effectifs des laboratoires de recherche et y crée des besoins en m<sup>2</sup> supplémentaires que les programmes de constructions nouvelles n'intègrent pas. Enfin, le calendrier des réalisations n'est pas toujours respecté.

Toutefois, grâce aux régions, aux départements et aux villes, les programmes de constructions dépassent quelquefois les projets évoqués dans les contrats, surtout lorsqu'il s'agit de constructions nouvelles. Plus inquiétantes, sont les perspectives en ce qui concerne la maintenance qui, elle aussi, est censée être prise en charge à partir de 1992 au titre des opérations Université 2000 : les chiffrages prévus risquent de ne laisser pour les travaux d'entretien qu'une enveloppe inférieure aux besoins avérés.

#### *Le recrutement réel des enseignants*

Le pourvoi des emplois d'enseignants attribués s'est heurté à des difficultés de nature diverse (emplois trop fléchés, manque de candidats pour les délocalisations, modification par le ministère des priorités dans les listes d'emplois dont la création lui était demandée, sans que l'université puisse en redéfinir les profils...).

Si dans la majorité des établissements tous les emplois ont été pourvus, au moins par des allocataires temporaires de recherche, cette situation n'est guère satisfaisante. L'absence de titulaires a parfois aggravé le déficit du taux d'encadrement dans certaines disciplines. S'ajoute, en outre, le problème de la rotation des enseignants dont l'incidence sur le taux d'encadrement est évidente (...).

Enfin, l'importance de l'octroi des postes de professeurs du second degré par rapport aux personnels de statut universitaire risque de provoquer un déséquilibre,

source de dysfonctionnement, d'autant que le rôle et les charges de ces enseignants, lorsqu'ils sont détachés dans le supérieur, ne sont toujours pas clairement définis.

### Les domaines d'intervention

#### La pédagogie

Dans ce domaine, le contrat, dit quadriennal, ne couvre en fait que deux ans ; de plus il ignore des paramètres essentiels, ce qui limite son intérêt.

Certains projets ont été abandonnés, d'autres ont pris du retard, mais, dans la majorité des cas, inflexions ou renoncements sont surtout à mettre au compte de l'évolution de l'environnement, qui rend nécessaires les ajustements en cours de contrat. Le concept de contractualisation est en revanche mis à mal quand il y a ouverture de filières ou de départements d'IUT "hors contrat" en remplacement de projets inscrits au contrat et ce contre la volonté de l'établissement. En même temps, les incertitudes qui pèsent sur la rénovation des 1er et 2e cycles rendent problématique la préparation de nouvelles dispositions contractuelles.

En outre, toutes les actions des établissements ne sont pas prises en compte dans les contrats. Ainsi, dans la majorité d'entre eux, l'État ne s'est pas engagé en matière de formation continue. Dans les rares cas où ces formations étaient mentionnées, le contrat n'imposait aucun objectif chiffré, mais esquissait des directions de développement (accueil d'adultes dans les filières classiques, montage de formations spécifiques).

La situation des IUT et des écoles est ambiguë - ils sont tantôt extérieurs au contrat, tantôt intégrés mais pris en compte uniquement pour les prévisions d'effectifs et les crédits de maintenance - ambiguïté qui reflète la démarche hésitante du ministère, mais aussi celle des directeurs qui souhaitent conserver le caractère dérogatoire de leurs dotations, tout en profitant des avantages offerts par le contrat. Quant aux IUP, ils résultent d'une volonté nationale postérieure à la signature des contrats, et devraient donc s'ajouter aux sujets qu'aborderont les avenants.

#### La recherche

La procédure contractuelle n'incluait pas non plus la recherche, qui fait l'objet d'un

contrat quadriennal autonome, avec des objectifs différents.

La corrélation des contrats de recherche et des contrats d'établissement, prévue à partir de la prochaine échéance, est non seulement raisonnable d'un point de vue administratif, mais aussi psychologiquement judicieuse, car les enseignants s'impliquent tous bien davantage dans les premiers, ce qui peut avoir un effet d'entraînement pour les seconds.

#### La vie étudiante

Dans la plupart des établissements, le contrat ne prévoit de dispositions particulières ni sur la mise en place d'infrastructures d'accueil, ni sur le suivi des étudiants, ni sur les débouchés.

C'est donc non formalisées dans les contrats que des mesures ont été prises, presque partout, en faveur des étudiants : création d'un observatoire de la vie des étudiants à Tours, d'un centre de rencontre à Orléans, d'un centre musical universitaire à l'université du Maine. On ne peut que regretter qu'une si faible place ait été faite à de telles actions dans les contrats.

Il ressort du bilan ainsi dressé que la politique contractuelle a été unanimement appréciée par la communauté universitaire, et qu'elle a eu des retombées positives sur le plan tant quantitatif que qualitatif. Toutefois, de ce bilan émergent certaines lacunes qui invitent à suggérer des mesures susceptibles d'y remédier.

## La méthodologie de la contractualisation

### Du contrat au projet

Il est évident que la démarche "contractuelle" ne place pas pour autant les deux partenaires sur un pied d'égalité. L'État conserve en effet la maîtrise, non seulement de l'attribution des emplois et d'une majeure partie des moyens, mais aussi de la réglementation des diplômes et de l'habilitation des filières. Cela lui permet, s'il le souhaite, de modifier unilatéralement l'économie du contrat.

De leur côté, il apparaît que la plupart des universités ont préparé le contrat sans avoir bâti au préalable un projet d'établissement qui eût englobé toutes les activités et toutes les ressources de l'institution. Elles ont procédé à l'analyse de l'existant et du passé, et ont traduit leurs besoins en termes quantitatifs et qualitatifs. Même si quelques-unes avaient proposé une politique pour la conduite de leur établissement, le schéma établi n'avait généralement pas donné lieu à une synthèse écrite qui aurait pu se traduire dans le contrat.

En fait, tous les établissements ont inscrit, ainsi qu'on l'attendait d'eux, l'accueil des effectifs comme objectif prioritaire de leur contrat. Cet objectif, en réalité obligatoire, ayant justifié l'essentiel des moyens retenus au contrat, il n'est pas surprenant que, presque partout, ce premier contrat ait été considéré comme davantage octroyé que négocié et qu'il n'ait guère mis en relief la différence qui doit exister entre contrat et projet (...).

Ce constat ne doit pas faire renoncer à l'idée de projet d'établissement, projet global et formalisé dont le champ s'étendrait de la gestion à la pédagogie, qui est le cœur de la vie universitaire. Car faute d'un tel projet en amont du contrat, l'établissement demeurera en position d'infériorité face à l'État, et la démarche contractuelle, en apparaissant de plus en plus artificielle, perdra beaucoup de son intérêt.

Cette émergence progressive de réels projets d'établissement soulèvera d'ailleurs d'autres problèmes méthodologiques.

Le contrat avec l'État doit-il reprendre tous les aspects d'un projet global d'établissement ? Cela n'est peut-être pas à exclure dans le cas par exemple d'établissements jeunes, de taille encore modeste, comme l'université de la Réunion, où le contrat contribue à l'édification même de l'université, dont le développement avance "à marche forcée" sur tous les aspects à la fois.

Dans la plupart des cas, cependant, il est naturel que la négociation se focalise sur certains axes forts du projet, et que cela se traduise dans la rédaction du contrat par des choix. Encore faut-il que ces choix soient vraiment négociés et que l'État ne limite pas le champ d'intervention du contrat aux seuls objectifs du projet qui reproduisent fidèlement ses propres priorités.

## L'évaluation et l'auto-évaluation

A côté des différentes évaluations externes possibles (en premier lieu, celles du Comité national d'évaluation), et pour que celles-ci disposent de la base de départ qui leur est indispensable, la pratique doit se développer d'une évaluation interne à l'établissement.

Il y aurait lieu notamment, dans chaque composante, de confier à un responsable le soin de vérifier l'atteinte des objectifs fixés par le contrat, de mesurer l'efficacité des politiques mises en œuvre, de proposer d'éventuelles corrections.

En liant l'attribution d'une partie des moyens à l'évaluation des résultats, on permettrait à la logique contractuelle de trouver tout son sens, même s'il faut prendre garde à ne pas fixer des indicateurs tels qu'ils risqueraient de fausser comportements et résultats.

Enfin le mérite, peut-être essentiel, de l'auto-évaluation est d'exiger la plus large participation des responsables des composantes et des enseignants, condition d'une prise de conscience de leur appartenance à un établissement enfin doté d'une réelle identité.

## La discipline des partenaires

### Les acteurs locaux

La réussite de la politique contractuelle est directement liée à la volonté de tous les partenaires de se mobiliser autour d'un projet de développement répondant à la fois aux objectifs nationaux et aux besoins locaux de formation. Cette volonté doit nécessairement se retrouver dans l'université et hors de celle-ci.

### Dans l'université

S'agissant des universitaires, même si des évolutions se dessinent, trop de responsables de formation et d'enseignants inclinent encore à considérer comme intangible la situation de leur secteur. Une telle attitude peut se traduire, dans les cas les plus critiquables, par le maintien à tout prix de filières à effectifs trop réduits, par un intérêt trop exclusif pour les étudiants susceptibles de poursuivre leur cursus au niveau du 3<sup>e</sup> cycle, ou encore par la

subordination de toute innovation à des moyens supplémentaires.

L'amélioration des résultats dans les universités passe par une implication maximale des enseignants dans le suivi des étudiants. Sans cette implication, tous les moyens mis en œuvre pour améliorer le système (informatisation de la gestion pédagogique, études de cohortes, observatoires de la vie étudiante, services de scolarité, CIO) rencontrent rapidement leurs limites.

Il est certain que la pratique des projets d'établissement et des contrats est irremplaçable, de même que celle d'une auto-évaluation acceptée.

S'agissant des étudiants, la politique contractuelle n'a pour l'instant guère eu d'impact sur leur vie dans l'université.

Outre une meilleure gestion des scolarités et une plus grande implication des enseignants dans le suivi de leurs étudiants, d'autres mesures devraient être formalisées par les contrats, concernant l'animation des campus et le confort de la vie étudiante. Il s'agit là de missions relevant également des œuvres universitaires, qui ne sauraient les accomplir de manière satisfaisante en l'absence de relations suivies avec les universités. Pourquoi celles-ci n'accepteraient-elles pas d'associer les Crous à la préparation de leur projet d'établissement sur ces sujets, le Cnous étant, de son côté, associé, sur les mêmes points, à la négociation des contrats par l'administration centrale ?

Il serait vain d'espérer amener les étudiants à se passionner pour un contrat de développement de l'université.

Pourtant, une information minimale leur donnerait la conviction d'appartenir à une communauté animée par un dessein collectif (communication sur le projet d'établissement dans le livret d'accueil des étudiants, dans le guide de l'université, discussion au Cevu...).

### Hors de l'université

En ce qui concerne les collectivités territoriales, à côté des régions, seules impliquées dans les contrats de plan avec l'État, villes et départements s'intéressent également à l'enseignement supérieur. En les associant à l'élaboration des projets d'établissement, on devrait pouvoir mieux les convaincre de certaines contraintes de cohérence, et éviter, par

exemple, des délocalisations objectivement non justifiées, ou la création de filières dites professionnelles ou technologiques trop étroites, de coût élevé et d'avenir incertain.

C'est de propos délibéré que la négociation des contrats a été organisée simultanément pour les différents établissements d'une même région, afin de permettre de prendre une vue dépassant l'aire de chacun, et de susciter une véritable concertation interuniversitaire (...).

Ces initiatives sont à encourager et à étendre à d'autres domaines, tels que le partage des disciplines à faibles effectifs, et, dans ces mêmes disciplines, la répartition raisonnable des structures de recherche.

Le rôle des recteurs se développe heureusement, non plus comme tuteurs, mais comme hôtes naturellement placés pour rapprocher les partenaires : ils deviennent en quelque sorte des catalyseurs, voire parfois des défenseurs vis-à-vis des collectivités ou du Comité Interministériel d'Aménagement du Territoire (CIAT).

Peut-on espérer que les nouvelles données concernant l'union européenne permettront d'alléger certaines procédures ou de lever certaines servitudes qui grèvent des actions pourtant fort appréciables de la communauté, comme dans le cas de l'université de Corse ?

### L'État

#### *La cohérence des différents interlocuteurs*

De nombreux établissements soulignent la pluralité des interlocuteurs et les problèmes de cohérence entre les différentes politiques contractuelles.

Le cas le plus significatif est celui de la recherche. La dualité des contrats d'établissement et de recherche est unanimement regrettée. Son aspect le plus saillant est l'absence de coïncidence entre les échéances de ces deux types de contrats, qui s'explique par une forte antériorité de la politique contractuelle en matière de recherche. Ce décalage temporel va progressivement être effacé. Il reste que la conception qu'a le ministère de sa relation avec les établissements est assez différente entre le secteur de la recherche et les autres : le souci de maintenir la qualité scientifique de la recherche universitaire à un niveau national et international l'a

conduit à entretenir une relation privilégiée avec les laboratoires et les équipes, ne laissant qu'une marge assez modeste à l'autonomie des établissements.

Au moins peut-on espérer que la synchronisation des calendriers permettra un minimum d'harmonisation dans les domaines d'intérêt commun. A cet égard, les conseillers d'établissement [NDLR : placés auprès des directions du ministère] devraient devenir les interlocuteurs uniques chargés de rassembler l'ensemble des éléments relatifs aux différents contrats. Leur mission mérite cependant d'être plus clairement définie. Représentants de l'administration centrale, ils donnent sur place avis et conseils en relais de celle-ci, et suivent la mise en œuvre du contrat. Porte-parole de l'établissement dont ils transmettent les points de vue à l'administration centrale, ils sont aussi les conseillers de cette dernière grâce à leur connaissance du terrain, lors de la mise en œuvre ou lors de la révision du contrat.

Parce qu'ambiguë, une telle mission est délicate. Au moins l'administration centrale devrait-elle marquer son choix entre un rôle plus interventionniste et actif en son nom, et un rôle plus discret, relationnel et arbitral plutôt que décisionnel.

#### *L'exhaustivité des champs d'intervention*

A l'occasion de la renégociation des contrats, il conviendrait de réintroduire les secteurs exclus ou négligés lors du contrat initial.

En premier lieu, l'intégration des IUT et des écoles est à prévoir explicitement dans les contrats afin de ne pas renforcer le commencement de marginalisation, constaté dans plusieurs cas. Cette intégration suppose de mettre au point des modalités de participation des responsables adaptées à leur statut particulier. Dans le même esprit d'adaptation, l'activité des IUFM doit également être traitée dans le contrat, de manière à garantir l'implication cohérente des universités dans l'ensemble des actions de formation des maîtres.

La formation continue n'a pas fait partie non plus du champ d'application des premiers contrats, et les subventions des universités n'ont donc pas pris en compte ses effectifs. Sans doute, le principe de base dans ce secteur est-il celui de l'autofinancement. Mais la politique contractuelle

pourrait utilement aborder cette mission qui reste de service public, et dont l'importance ne cessera de croître.

#### *Politique nationale et contractualisation*

La concertation, plus ou moins approfondie selon les cas, avec les responsables d'établissement (conférence des présidents d'universités, notamment), ne saurait exclure une mise en œuvre particulière dans chaque établissement. Celui-ci doit pouvoir négocier avec l'État, dans le cadre de la politique contractuelle, une application localement adaptée de telles réformes : champ d'extension, calendrier de mise en œuvre, contraintes de moyens.

L'État doit s'interdire toute imposition unilatérale, s'il ne veut pas ruiner la crédibilité d'une politique contractuelle dont l'objectif principal est, encore une fois, de développer l'autonomie des établissements.

#### *L'attribution des moyens*

Le système "Garages" incitait les universités à multiplier les demandes d'habilitation de formations nouvelles, au risque d'un émiettement, consommateur de moyens. L'abandon de ce système au profit de "San Remo" devrait conduire les responsables à remettre en cause des formations qui rassemblent un nombre insuffisant d'étudiants et à avoir une vision plus globale des formations et des priorités.

Encore faut-il qu'à côté des subventions critérisées, la marge et les motivations des subventions spécifiques soient rapidement mieux définies, pour encourager la politique contractuelle à poursuivre d'autres objectifs que l'accueil d'étudiants supplémentaires.

Il importe aussi que les attributions d'emplois correspondent aux priorités définies dans les contrats, en évitant les modifications unilatérales de la part de l'État. En ce qui concerne les postes d'Iatos, il paraît indispensable, sans méconnaître les contraintes budgétaires, que les prochaines conventions prévoient des créations échelonnées si possible sur toute la durée du contrat.

#### *Le respect des calendriers*

Il est un élément essentiel de la réussite de la politique contractuelle, aussi bien en matière de pourvoi des postes que de réalisation des travaux.

D'ores et déjà, de grands progrès ont été constatés en ce qui concerne le recrutement des enseignants. En revanche, malgré la relative faiblesse de la dotation octroyée en personnels Iatos, certains établissements ont fait état de postes non pourvus, soit du fait de la réglementation, soit du fait de la définition de leur profil et de l'organisation des concours. Le développement d'activités essentielles de l'établissement dépendant quelquefois du pourvoi de ces postes, il importe de veiller dans ce secteur au même respect rigoureux du calendrier.

La remarque vaut également pour les constructions et les travaux de maintenance. S'agissant, la plupart du temps, de programmes financés conjointement avec des collectivités territoriales, il est souhaitable que l'État ne se montre pas plus mauvais payeur que ses partenaires.

La démarche contractuelle a été avalisée par l'ensemble de la communauté universitaire. Elle s'est révélée, en effet, favorable à une évolution de l'université vers plus de cohésion dans la diversité de ses composantes et dans l'expansion accélérée de ses vocations, de ses effectifs et de ses moyens. Elle a été vécue également comme un pas vers la véritable autonomie de l'établissement.

Toutefois, pour que la politique contractuelle devienne le levier du développement de l'enseignement supérieur, il faut que les partenaires fassent également preuve d'une volonté tenace de poursuivre cet objectif et d'une stricte discipline de comportement, évitant les tentatives d'un retour, pour l'État, à la tutelle autoritaire, et, pour les établissements, à l'inertie, passive.

Le contrat doit être une création continue. L'actualisation implique l'ajustement des dotations budgétaires à la croissance des effectifs, au nombre réel des formations, aux surfaces dont dispose l'université. Le renouvellement doit être l'occasion de prendre en compte d'autres données spécifiques, en portant attention à l'originalité des expériences locales, quand elles traduisent des efforts d'innovation, de gestion et par conséquent d'efficacité de la part des établissements.

Enseignements supérieurs de chimie en langue française

## Informations et documents didactiques

**Le service "Enseignements Supérieurs-Didactique de la Chimie" (SESDiC)\* édite une publication regroupant des informations et des abrégés.**

### Nouveaux documents publiés par les Sedic

#### Série "Chimie science centrale"

**Chimie, histoire et environnement. A propos d'une communication scientifique d'intérêt industriel présentée à l'Institut, le 19 mars 1810** (32 p.)

J. Fournier, université d'Angers et R. Christophe.  
(2<sup>e</sup> cycle universitaire, écoles d'ingénieurs, formation des maîtres).

Au sommaire de ce document :

Introduction

A - Un intérêt nouveau.

B - Le rôle de l'industrie textile dans le développement de la chimie.

C - La fabrication de l'acide sulfurique.

D - La fabrication de la soude.

E - Faut-il n'enseigner que la théorie ?

Propositions d'utilisation d'une publication ancienne dans la formation des chimistes, aujourd'hui :

A - Rôle des sociétés savantes

B - Chimie "en grand".

C - Progrès en temps de guerre

D - Pollution industrielle.

E - Image de la chimie.

F - Réglementation.

G - Premiers déboires.

I - Un procédé ingénieux.

Conclusion

2 - Extraits de l'avant-propos

Dans un précédent article\*\*, l'un de nous s'interrogeait : "Une démarche pédagogique féconde pour assimiler le raisonnement chimique consiste à proposer aux étudiants des problèmes tirés de la littérature ; celle-ci est souvent trop complexe pour des débutants ou des étudiants non spécialisés, pourquoi ne pas recourir à des exemples historiques, souvent relatés avec quantité de détails quant à la démarche du chercheur dans les publications du siècle dernier ? Ne serait-ce pas un moyen de donner très tôt aux étudiants le goût pour une attitude active dans l'avancement de la chimie ? Certes, cela suppose que les professeurs disposent de documents annotés, dans un style actualisé".

Cet opuscule est destiné à ceux qui cherchent à saisir la chimie dans toutes ses dimensions, à la fois science, technique, industrie, langage et culture.

Acquisition : SESDiC, contre 45 F en chèque, bon de commande ou timbres.

#### Série "Glossaires"

**Glossaire des mots utilisés dans l'enseignement de la cinétique chimique\*\*\*** (21 pages)

R. Ben-Aïm, Université P. et M. Curie, G. Scacchi, INPL.

(1<sup>er</sup> cycle des enseignements supérieurs, enseignements de formation des maîtres).

Acquisition : SESDiC, contre 35 F en chèque, bon de commande ou timbres.

**Equivalents français d'expressions ou de termes, principalement anglo-saxons, couramment utilisés dans le domaine de la chimie** (8 pages)

Publication résultant des travaux de la Commission de terminologie chimique présidée par J. Rigaudy, ESPCI Paris.

*Cette commission qui travaillait sous les auspices de la Délégation Générale à la Langue Française (Service du Premier ministre) a été instituée, depuis décembre 1992, en commission ministérielle.*

(Enseignements supérieurs 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycles).

Ce glossaire comporte plusieurs centaines de termes ou expressions classées par ordre alphabétique en anglais, avec indication en regard des expressions ou termes équivalents en français : il s'agit d'équivalents français, acceptés dans la communauté francophone, à des termes ou expressions :

a) dont la traduction peut ne pas être immédiatement évidente, ou

b) dont la traduction ne figure pas dans les dictionnaires usuels, au moins dans leur signification chimique.

Remarque (du conseiller scientifique du Service du Premier ministre, DGLF, service ayant institué cette commission ministérielle de terminologie chimique) : "Cet instrument, remarquable, permet d'éviter l'usage (alors inutile et illogique) de la langue anglaise dans tous les docu-

\* Secrétariat général : Services interuniversitaires CH13, Faculté des Sciences, 40, avenue du Recteur-Pineau, 86022 Poitiers Cedex. Fax : 49.45.36.00.

\*\* L'histoire de la chimie : quel intérêt pour le chimiste ? J. Fournier, L'Actualité Chimique, juillet-août 1991, p. 292-294.

\*\*\* NDLR : Nos lecteurs trouveront la publication de ce glossaire dans ce numéro de L'Actualité Chimique.

ments d'enseignement supérieur de la chimie en langue française".

Acquisition : SESDiC, contre 25 F en chèque, bon de commande ou timbres.

## Travaux du groupe Thermodic

Le groupe Thermodic, qui est l'un des groupes issus du réseau interuniversitaire ReCoDiC, a considérablement développé ses publications dans le cadre des travaux animés par le responsable de ce groupe : Pr Marc Onillon (Lab. chimie du solide du CNRS, Bordeaux).

Les publications résultant des travaux de ce groupe sont brièvement présentés ci-dessous, et elles seront dorénavant disponibles auprès du secrétariat du SESDiC.

### Analyse exergetique de procédés industriels, (29 pages)

A. Dellacherie, D. Balesdent, École Nationale Supérieure des Industries Chimique, INPL.  
(Ingénieurs, maîtres ès sciences).

Mots clés : Exergie, énergie, thermodynamique, économie, procédés.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : exergie, recherche d'économie par analyse exergetique de procédés industriels.

Acquisition : SESDiC, contre 35 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### Oxydo-réduction et introduction à l'électrochimie (43 p.)

A. Marchand, université de Bordeaux I.  
(1<sup>re</sup> année de 1<sup>er</sup> cycle universitaire et classes préparatoires).

Mots clés : oxydant, réducteur, électrode, potentiel d'oxydo-réduction, pile, électrochimie, équation de Nernst.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : oxydation et réduction, couple oxydant-réducteur ; réaction électrochimique : potentiel d'oxydo-réduction : potentiel d'électrode, équation de Nernst ; calcul de forces électromotrices ; détermination des constantes d'équilibre.

Acquisition : SESDiC, contre 40 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### Initiation pratique et théorique à la thermodynamique des systèmes hors équilibre (46 p.)

A. Fuchs, université de Paris-Sud.

(Enseignants et étudiants du premier cycle universitaire).

Mots clés : source d'entropie, flux et forces généralisées, états stationnaires, attracteurs potentiels et périodiques dans l'espace des phases.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : Ce document présente de manière élémentaire comment on peut aujourd'hui rendre compte des phénomènes irréversibles proches et loin de l'équilibre thermodynamique. La partie théorique est précédée d'une description de quelques expériences mettant en évidence le phénomène de structuration spatio-temporelle spontanée loin de l'équilibre.

Acquisition : SESDiC, contre 40 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### La fugacité (20 p.)

J.P. Corriou, École Centrale de Paris.

(Étudiants de second cycle et d'écoles d'ingénieurs).

Mots clés : pression, fugacité, énergie de Gibbs, gaz parfait, fluide réel, corps pur, mélange.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : possibilités de traiter les fluides réels (gaz et liquides) à des pressions élevées et de dépasser le modèle gaz parfait ; liaison avec les équations d'état ; calcul d'un équilibre liquide-vapeur à pression élevée ; lois de Raoult et de Henry ; calcul d'un équilibre chimique à pression élevée.

Acquisition : SESDiC, contre 30 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### Thermodynamique de l'évolution des systèmes (57 p.)

G. Bertrand, Universitaire de Bourgogne.

(Étudiants de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> cycle, professeurs de tous degrés ; curieux de thermodynamique).

Mots clés : attracteurs, bifurcations, bilans, énergie, entropie, équations phénoménologiques, équilibre, flux, forces,

irréversibilité, loin de l'équilibre, principes, production d'entropie, stabilité, structures dissipatives.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : l'exposé est organisé autour de 9 tableaux qui présentent les données générales de la thermodynamique (les équations de bilan - les principes - les attracteurs - l'équilibre) et expliquent les modifications des états en relation avec l'accroissement de l'écart à l'équilibre. La stabilité des états est ainsi abordée. L'entropie, sous ses diverses facettes, est le fil conducteur de l'exposé. Des exemples pris en physique ou en chimie montrent la généralité des applications.

Acquisition : SESDiC, contre 45 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### Variances et degrés de liberté (17 p.)

M. Soustelle, ENSM Saint-Etienne.

(Enseignants et étudiants des 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> cycles de l'enseignement supérieur (universités, classes préparatoires, écoles d'ingénieurs).

Mots clés : phase, constituants, systèmes physico-chimiques, variables intensives, variables extensives, équilibres chimiques, constituants indépendants, variance de Gibbs, variance de Duhem.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : ce document fait le point sur un certain nombre de définitions liés à la thermodynamique physico-chimique. Il présente les phénomènes de superposition des équilibres chimiques ; il énonce, après démonstration, la règle de Gibbs et le théorème de Duhem pour des systèmes fermés.

Acquisition : SESDiC, contre 45 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### Emploi d'un diagramme chaleur-travail dans l'étude de la thermodynamique de base. Son application à la thermodynamique chimique (53 p.)

A. Rist, École Centrale de Paris.

(1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> cycles, classes préparatoires, écoles d'ingénieurs).

Mots clés : système, environnement, transformation, travail, chaleur, premier principe de la thermodynamique, chemins, deuxième principe de la thermodynamique, réversibilité, irréversibilité,

transformations chimiques et électrochimiques, formation des solutions, électrolyse, modèle analogique graphique des deux principes de la thermodynamique.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : constitution de l'environnement d'un système ; réservoirs de chaleur, de travail électrique et de travail d'expansion ; symétrie des échanges de travail entre un système et son environnement. Chemins exprimés en termes de travail et de chaleur reçus. Contraintes sur les chemins possibles exercés par le premier principe de la thermodynamique. Représentation graphique de l'irréversibilité d'une transformation.

Acquisition : SESDiC, contre 40 F en chèque, bon de commande ou timbres.

#### La modélisation quasi chimique des défauts ponctuels dans les solides

(51 p.)

M. Soustelle, ENSM Saint-Etienne.

(Enseignants et étudiants de 3e cycle, DEA, 3e année d'écoles d'ingénieurs, préparation à l'agrégation de chimie).

Mots clés, : phase solide, défaut, désordre, élément de structure, lacune, interstitiel, impureté, dopant, réaction quasi chimique.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : ce document présente une description qualitative des défauts ponctuels dans les solides. Il introduit la

notion d'éléments de structure d'un solide et la notation de Kröger et Vink pour le représenter. Il utilise ces notations dans l'écriture des réactions quasi chimiques. Par l'étude des conditions d'équilibre, il présente les variations des concentrations de ces éléments avec les paramètres thermodynamiques : températures, potentiels chimiques externes au solide, impuretés ou dopants dissous.

Acquisition : SESDiC, contre 40 F en chèque, bon de commande ou timbres.

#### Thermodynamique des interfaces ; phénomènes superficiels (83 p.)

F. Larche, Institut des Sciences de l'Ingénieur de Montpellier.

(Maîtrise, 2<sup>e</sup> ou 3<sup>e</sup> année d'écoles d'ingénieurs, DEA).

Mots clés : surfaces, interfaces, tension superficielle, adsorption, capillarité, courbure, déplacement de l'équilibre, joints de grains, anisotropie, formes d'équilibre.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : fondations de la thermodynamique des interfaces suivant le modèle de Gibbs ; paramètres indépendants, différentielle de l'énergie de surface, quantités d'excès superficiels ; adsorption, phénomènes mécaniques dû à la présence d'interfaces ; déplacement d'équilibres entre phases du à la courbure de l'interface ; introduction à l'étude des

interfaces solide-fluide et solide-solide ; anisotropie, formes d'équilibre, joints de grains, mouillage critique.

Acquisition : SESDiC, contre 50 F en chèque, bon de commande ou timbres.

#### Grandeurs thermodynamique standard et tables thermodynamiques (14 pages)

M. Onillon, université de Bordeaux I

(Étudiants de 1<sup>re</sup> année de 1<sup>er</sup> cycle universitaire et de classes préparatoires, débutant dans l'étude de la thermodynamique).

Mots clés : tables thermodynamiques, enthalpie, entropie, énergie de Gibbs, énergie de Helmholtz, conditions standard, état standard de référence, grandeurs de formation.

Connaissances fondamentales et pratiques enseignées : Ce texte doit être utilisé immédiatement après l'introduction des fonctions thermodynamiques et pour aborder le calcul pratique. Son étude doit permettre :

- 1) d'aviver la perception du sens physique des fonctions,
- 2) de maîtriser la notion d'état standard,
- 3) de disposer d'un outil permettant le calcul "réel" et non la simple application pratique de formules algébriques.

Acquisition : SESDiC, contre 30 F en chèque, bon de commande ou timbres.

### Division Enseignement de la Société Française de Chimie

## XI<sup>e</sup> JIREC Toulouse 1-3 juin 1994

Thème des XI<sup>e</sup> Journées de l'innovation et de la recherche dans l'éducation en chimie :

### L'équilibre chimique dans tous ses états

Le programme comprend trois conférences et trois ateliers. Des communications libres, par affiches, sont sollicitées.

Renseignements : R. Meyer, Laboratoire de synthèse et physico-chimie organique, Université Paul Sabatier, 31062 Toulouse Cedex. Tél. : 61.55.61.67. Fax : 61.25.17.33

# Matériaux supraconducteurs

## Mécanismes structuraux et nanostructures de quelques oxydes à charpentes mixtes

Maryvonne Hervieu\* *professeur*

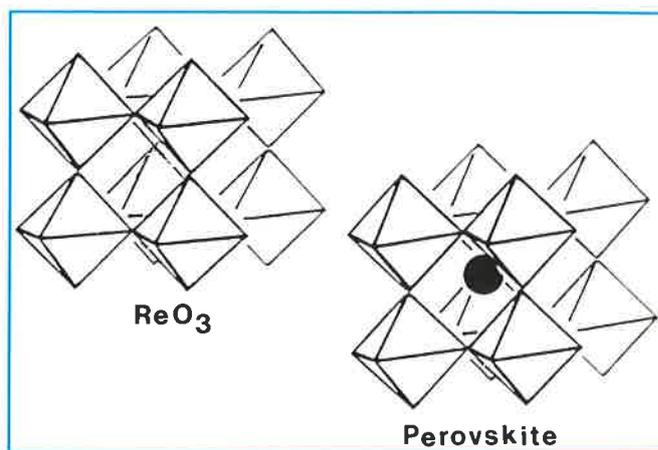
Nombreux sont les articles ayant pour thème principal la microstructure des matériaux ; il est surprenant de découvrir la variété d'informations, toutes essentielles au demeurant, que recouvre cette notion. L'origine de cette diversité est tout simplement liée à la variété des techniques qui fournissent des images à des échelles très différentes mais toutes inférieures ou égales au micron. Pour décrire des phénomènes structuraux qui s'établissent à courtes distances (quelques Å ou dizaines d'Å), nous lui préférons le terme de "nanostructure". La caractérisation de tels événements, liés à des variations locales de la stoechiométrie, se fait essentiellement par la microscopie électronique par transmission qui devient alors l'outil de base du chimiste du solide. Mais pourquoi cette volonté de caractériser les matériaux à une si petite échelle ? Contrairement à une idée répandue chez certains scientifiques, il ne s'agit pas d'établir un catalogue zoologique de "phénomènes extraordinaires". La motivation en est beaucoup plus fondamentale : connaître, prévoir et comprendre les matériaux, par l'analyse de certaines pièces du puzzle.

Pour illustrer cette facette de la recherche, quelques exemples ont été choisis ici, dans des oxydes à charpentes mixtes dérivées directement des structures  $\text{ReO}_3$  et perovskites.

### Les structures = un jeu de construction

Comme un jeu de Léo qui permet, uniquement à l'aide de quelques pièces de base, de bâtir les plus fantastiques réalisations architecturales, de nombreuses familles d'oxydes sont construites à partir de groupements d'octaèdres  $\text{BO}_6$  joints par les sommets. Ils forment tout d'abord des couches puis des réseaux tridimensionnels en ménageant des cages, qui peuvent être vides (*figure 1* = structure  $\text{ReO}_3$ ), partiellement ou totalement occupées (*figure 1* = structure perovskite) par des ions A, généralement de grande taille.

L'extraordinaire souplesse de ces entités de base permet la construction de modules plus complexes grâce à des mécanismes simples tels que :



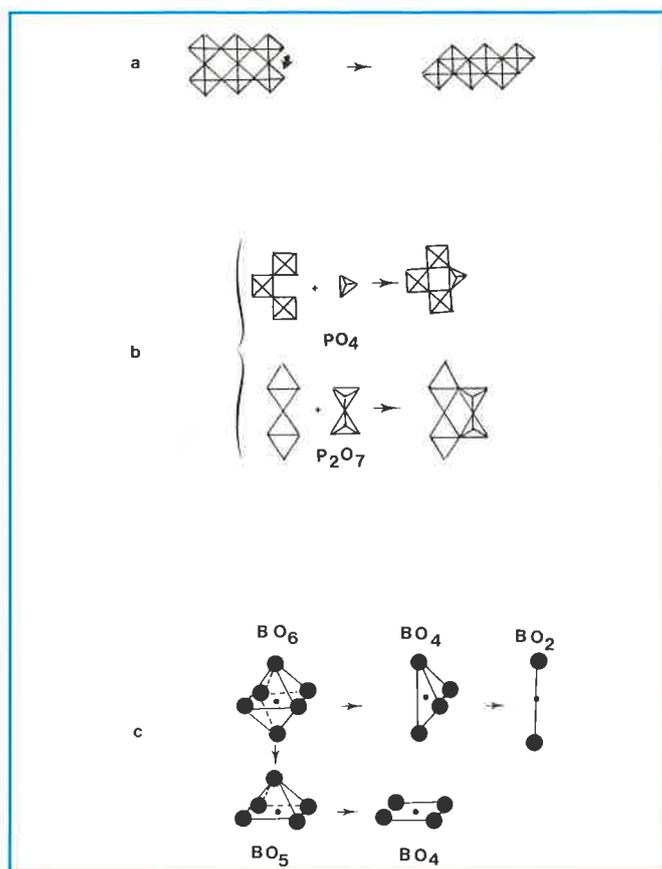
**Figure 1** - Enchaînement des octaèdres  $\text{BO}_6$  par les sommets. Les cages ménagées par ces octaèdres peuvent être :  
a) vides, dans la structure  $\text{ReO}_3$  ;  
b) occupées par des cations A de grande taille, dans la structure perovskite.

- des mouvements de glissement (*figure 2a*),
- des jonctions avec d'autres entités tels les tétraèdres  $\text{PO}_4$  ou les groupements de tétraèdres (*figure 2b*),
- des changements de coordinence de B par perte d'oxygène (*figure 2c*).

La jonction entre différentes entités est souvent réalisée grâce à la souplesse du réseau octaédrique qui peut se déformer considérablement en conservant son intégrité.

Les possibilités de construction qui nous sont ainsi offertes sont presque infinies et nombreuses sont les familles structurales issues de tels mécanismes. Deux types de grandes familles ont été choisies pour illustrer ces possibilités : les bronzes phosphates de tungstène (BPT) et les cuprates en couches, supraconducteurs à haute température critique.

\*Laboratoire Crismat ISMRA/université de Caen, CNRS-URA 1318, boulevard du Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex. Tél. : 31.45.26.17. Fax : 31.95.16.00



**Figure 2** - a) Mécanisme de cisaillement : une rangée d'octaèdres a glissé. Les octaèdres sont alors liés par les arêtes, b) jonction entre des octaèdres  $BO_6$  et des groupements phosphates ( $PO_4$ ) ou diphosphates ( $P_2O_7$ ), c) par perte d'oxygène, la coordination des atomes B varie de VI à II.

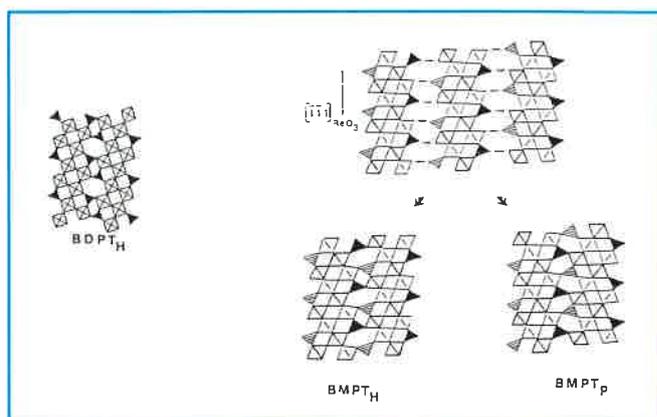
### Les grandes familles

#### Les bronzes phosphates de tungstène

Ces oxydes sont générés par la substitution ordonnée, par plans, d'octaèdres  $WO_6$  d'un arrangement "ReO<sub>3</sub>" par des groupements monophosphates (M)  $PO_4$  ou des groupements diphosphates (D)  $P_2O_7$ . La jonction des octaèdres et des tétraèdres peut s'effectuer selon différentes orientations, entraînant la formation de tunnels de section hexagonale (H) ou pentagonale (P), qui peuvent être occupés ou non par des cations de grande taille, A. Trois familles principales ont ainsi été isolées :

- BDPT<sub>H</sub> : DiPhosphates Bronzes de Tungstène à tunnels Hexagonaux,  $A_x(P_2O_4)_2(WO_3)_{2m}$
- BMPT<sub>P</sub> : MonoPhosphates Bronzes de Tungstène à tunnels Pentagonaux,  $(PO_2)_4(WO_3)_{2m}$
- BMPT<sub>H</sub> : MonoPhosphates Bronzes de Tungstène à tunnels Hexagonaux  $A_x(PO_2)_4(WO_3)_{2m}$ .

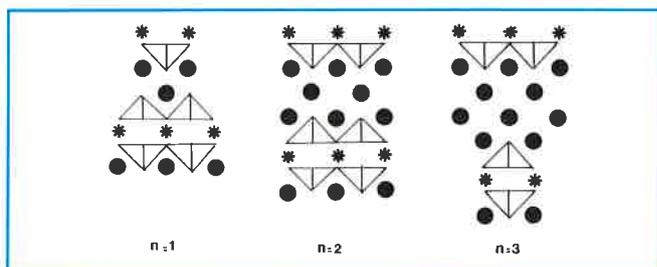
La projection de ces trois types structuraux est présentée figure 3, montrant les orientations relatives des tranches  $WO_3$  et leur mode de connection.



**Figure 3** - Structures idéalisées des BDPT<sub>H</sub>, BMPT<sub>H</sub> et BMPT<sub>P</sub>. Les groupements  $PO_4$  et  $P_2O_7$  sont projetés en triangles noirs ou hachurés.

#### Les cuprates en couches

Ces oxydes obéissent à une formulation générale  $(ACuO_{3-x})_m(A'O)_n$  ; leur structure peut se décrire à partir de l'intercroissance de m couches perovskite déficitaires en oxygène (formées de polyèdres  $CuO_6$ ,  $CuO_5$ ,  $CuO_4$  ou  $CuO_2$ ) et de n couches de type NaCl. Quatre types principaux ont été isolés, correspondant à n = 0 ("perovskite pure"), n = 1, 2 ou 3 (figure 4) avec m variant de 1 à 5. Ils sont illustrés sur la figure 4 où une valeur constante de m, m = 2, a été choisie. La double couche de type perovskite présente deux couches de cuivre en coordination pyramidale, résultant du départ ordonné des atomes d'oxygène situés dans la couche intermédiaire.



**Figure 4** - Structures idéalisées des oxydes  $(ACuO_{3-x})_2(AO)_n$  - n varie de 1 à 3 (les cercles noirs représentent les ions A de grande taille : Bi, Tl, Pb, Ba et Sr. Les étoiles représentent des ions A de petite taille : Ca, Y, Ln et les pyramides  $CuO_5$  sont dessinées schématiquement).

### CONNAÎTRE

Dans toutes ces familles, la formation de "tranches" résulte de l'introduction de motifs étrangers dans le réseau  $ReO_3$  ou perovskite. La variation de m, le nombre de polyèdres  $WO_3$  ou  $CuO_y$  qui caractérise la largeur de la tranche selon une direction, générera autant de nouvelles structures originales dérivées d'un même mécanisme structural ; elles sont appelées "membres de la famille structurale". Dans les BPT, les exemples choisis sont les membres m = 4 et dans les cuprates en couches m = 2 (quand n ≠ 0).

L'un des premiers problèmes qui se posent est la détermination du nombre de membres d'une famille, en particulier : quelle valeur supérieure de  $m$  est-il raisonnable de considérer comme une phase ?

### Les membres de la famille

L'étude de nombreuses familles structurales a permis de dégager un comportement général : lorsque  $m$  augmente l'ordre à grande distance a tendance à disparaître. Il en résulte qu'au sein d'un même cristal vont coexister différents membres  $m, m', m'' \dots$  ( $m$  étant la composition nominale c'est-à-dire la largeur de la tranche "parfaite"). Quelles vont être les valeurs de  $m, m'$  dans une famille et quelles seront leurs probabilités de formation ? C'est la caractérisation de nombreux composés, issus de différentes familles, qui nous a permis de comprendre que tous ces matériaux présentent des similitudes de comportement d'où peuvent être dégagées des lois beaucoup plus générales. Soient  $m$  et  $n$  les largeurs respectives des tranches  $\text{ReO}_3$  (ou perovskite) et des tranches insérées dans le réseau (tranches phosphates ou  $\text{NaCl}$  dans les deux exemples sélectionnés) ;  $m'$  et  $n'$  sont des tranches "défectueuses", c'est-à-dire différentes de la composition nominale.

1 - Le nombre de défauts  $m'$  augmente lorsque  $m$  augmente, c'est-à-dire lorsque la tranche  $\text{ReO}_3$  ou perovskite s'élargit.

2 - L'écart à la composition nominale  $Dm = |m - m'|$  est égal à 1 pour les faibles valeurs de  $m$  et augmente lorsque  $m$  augmente.

3 - Pour les tranches "insérées", des largeurs  $n'$  ne pourront être observées comme défaut que si la structure ainsi construite est un membre à part entière d'une famille structurale c'est-à-dire une phase stable.

Pour illustrer ces comportements systématiques des variétés de défauts d'intercroissance en fonction de la composition nominale et de leur fréquence de formation, nous prendrons deux exemples dans chacune des familles. Si les techniques de diffraction habituelles (RX et neutrons) permettent de déceler de tels phénomènes structuraux lorsqu'ils apparaissent en nombre important, la microscopie électronique, grâce aux images "directes" de la structure, va permettre une identification immédiate des termes défectueux,  $m'$  ou  $n'$ , et une répartition statistique si un nombre suffisant de cristaux ont été examinés. C'est dans la famille des bronzes monophosphates à tunnels hexagonaux,  $\text{BMPT}_H$ , qu'a été choisi le premier exemple. Il s'agit du terme  $m = 7$ , pour lequel les tranches de type  $\text{ReO}_3$  sont larges de sept octaèdres et séparées par des groupements  $\text{PO}_4$  formant des tunnels de section hexagonale. La formation de termes  $m' = 8$  ( $\Delta m = 1$ ) est le défaut le plus fréquent ; la coexistence des deux tranches,  $m = 7$  et  $m' = 8$ , s'établit dans certaines zones des cristaux, sous la forme de séquences régulières (figure 5). De telles intercroissances complexes peuvent, si elles se forment, à l'échelle de cristaux entiers, donner naissance à de nouveaux membres de la famille qui seront alors caractérisés par des valeurs non entières de  $m$  ; l'exemple présenté est un membre de  $m = 7,5$  ( $(7 + 8)/2$ ).

Le deuxième exemple est celui du supraconducteur  $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_3\text{Cu}_4\text{O}_{12}$ ,  $m = 4$  et  $n = 3$ . Pour ce terme de valeur nominale  $m$  élevée, il n'est pas rare d'observer des membres  $m' = 7$  ( $\Delta m' = 3$ ) ou  $n' = 2$ . Le premier correspond à l'existence de 7 couches  $[\text{CuO}_2]_\infty$  successives, séparées par des couches  $[\text{Ca}]_\infty$ . Ce terme  $m = 7$  n'a jamais, à ce jour, été stabilisé en tant que

phase ; il n'existe qu'en tant que défaut. Le second défaut,  $n' = 2$ , est également un défaut fréquent (figure 6) ; ceci est en accord avec l'existence de la famille  $n' = 2$ ,  $\text{TlBa}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_m\text{O}_{2m+3}$  ; à l'opposé, des défauts  $n' = 4$  ou  $n' = 1$ , qui ne correspondent à aucune famille, n'ont jamais ou rarement été observés.

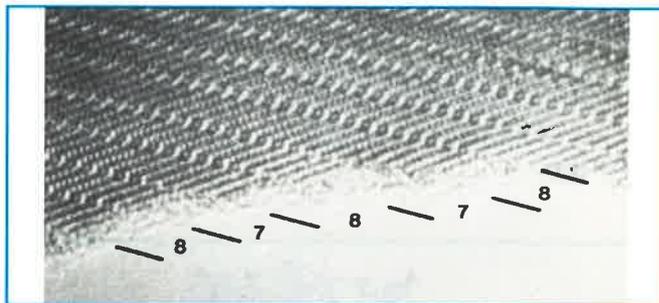


Figure 5 - Image haute résolution d'une intercroissance régulière de membres  $m = 7$  et  $m = 8$  des bronzes monophosphates de tungstène à tunnels hexagonaux. Les rangées de tunnels correspondent aux rangées où alternent les points brillants et sombres.

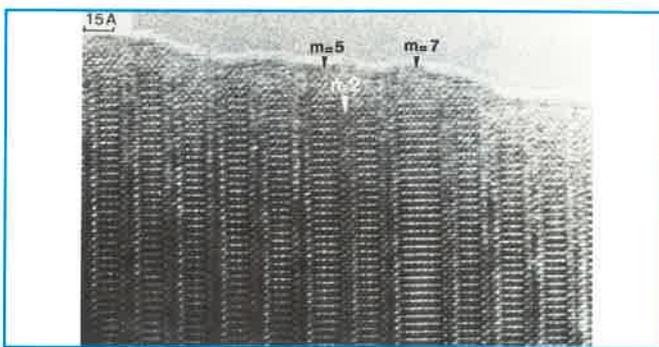


Figure 6 - Exemples de défauts  $m' = 5$  et  $m' = 7$  dans une matrice  $m = 4$ .

Un défaut  $n' = 2$  est également observé dans cette zone (lettres blanches).

### ■ PRÉVOIR

Déceler l'existence d'une nouvelle famille structurale au travers de la caractérisation des mécanismes structuraux d'une autre famille est l'un des apports essentiels des études nanostructurales. Des exemples très variés ont été observés dans les bronzes phosphates de tungstène et dans les cuprates en couches.

### Le cercle des familles s'agrandit

#### La quatrième faille des phosphates bronzes

Les trois phases  $\text{BMPT}_H$ ,  $\text{BMPT}_P$  et  $\text{BDPT}_H$  présentent des relations structurales étroites qui découlent directement de l'existence de groupements mono- ou diphosphates et de tunnels à section hexagonale ou pentagonale. Il est alors tentant de penser à l'existence d'une quatrième famille qui résulterait de la connexion de tranches  $[\text{WO}_3]_\infty$  par l'intermédiaire de groupements diphosphates en formant des tunnels pentagonaux, c'est-à-dire à l'existence d'une famille  $\text{BDPT}_P$  (figure 7). Cette famille des  $\text{BDPT}_P$  n'a jamais pu être caractérisée en tant que

phase mais nombreux sont les cristaux qui présentent une telle structure ; les images montrent sans ambiguïté l'orientation des tranches  $[\text{WO}_3]_\infty$  et leur connection au travers de tunnels pentagonaux selon le mode envisagé (figure 8). Toutes les observations attestent cependant de la seule existence de membres de valeurs  $m$  très élevées ( $m > 50$ ) et il est alors aisé de comprendre pourquoi de tels termes n'ont pu être caractérisés par diffraction de RX sur poudre. Cette quatrième famille, caractérisée par microscopie électronique, prend parfaitement sa place dans le jeu de construction que constitue ce système et permet de compléter son schéma de mécanisme structural (tableau 1).

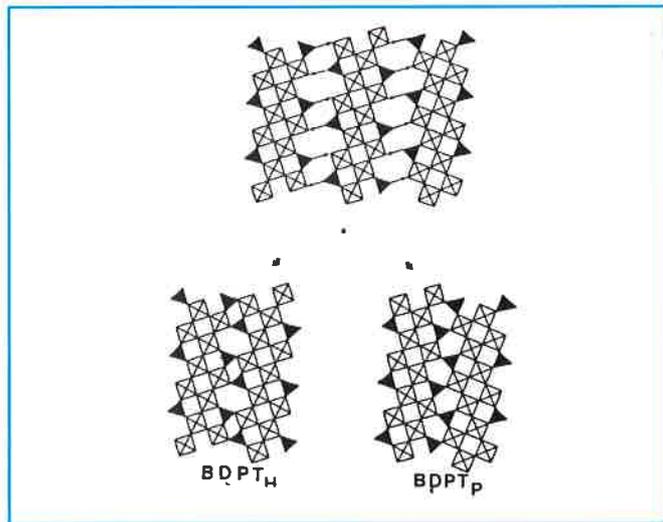


Figure 7 - Hypothèse structurale d'une nouvelle connection entre couches  $(\text{WO}_3)_m$  par des groupements diphosphates pour former des  $\text{BDPT}_p$ . La structure des  $\text{BDPT}_H$  et leur mode de connection est présentée à titre de comparaison.

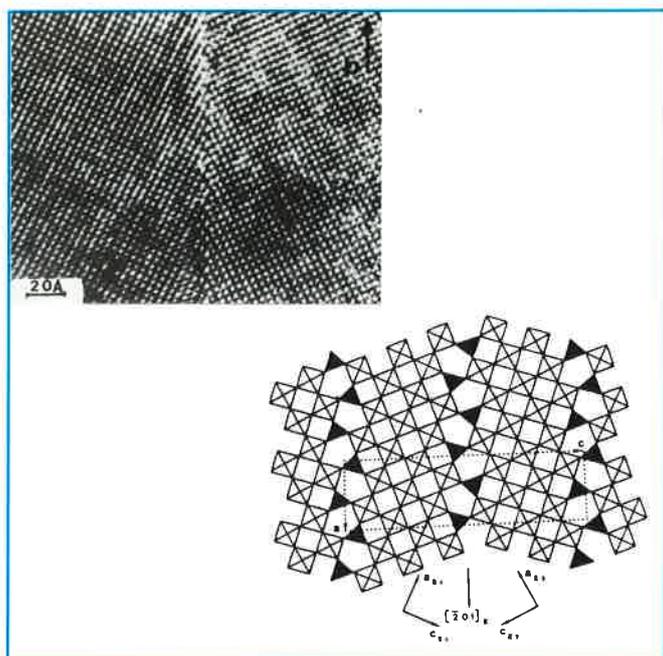
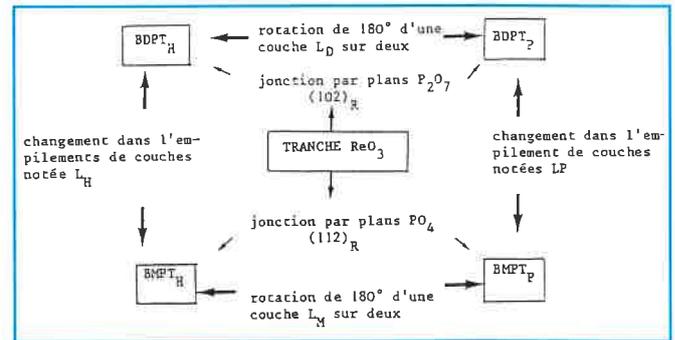


Figure 8 - Image expérimentale d'une connection type  $\text{BDPT}_p$  et modèle idéalisé pour un hypothétique terme  $m = 4$ .

Tableau 1 - Les quatre familles des phosphates bronzes



Les couches supplémentaires des cuprates

Parmi les oxydes de cuivre supraconducteurs à haute température critique,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$  est certainement celui qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études ; sa structure simple, dite de type "123", son apparente facilité de synthèse et ses étonnantes propriétés d'intercalation de l'oxygène en sont les responsables. Sa structure est celle d'une perovskite parfaitement ordonnée où les lacunes d'oxygène impliquent la formation de deux rangées de pyramides à base carrée et d'une rangée de groupements carrés  $\text{CuO}_4$  (figure 9). L'intercalation d'une rangée supplémentaire d'atomes au niveau des carrés  $\text{CuO}_4$ , sur quelques dizaines de mailles au maximum, est l'un des défauts les plus fréquemment observés. Le contraste au niveau de cette rangée, comparable à celui de la rangée  $\text{CuO}_4$ , et la disposition alternée de ces atomes par rapport au cuivre (figure 10) suggèrent la formation locale de deux rangées de carrés  $\text{CuO}_4$  joints par les arêtes dans une disposition comparable à celle observée dans la structure  $\text{SrCuO}_2$ . La phase correspondant à cette organisation atomique locale,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$  de structure dite 124, fut isolée quelques mois après la caractérisation du défaut, sous haute pression.

Les lois structurales qui régissent la formation des défauts permettent non seulement de prévoir la nature et la fréquence de ces défauts mais encore, inversement, elles permettent de prévoir l'existence de phases nouvelles ; il apparaît, en effet, que tout mécanisme structural qui entraîne la formation fréquente d'un défaut est susceptible de conduire à la stabilisation d'une nouvelle phase dont la structure sera basée sur ce mécanisme. L'observation des oxydes de type 1212 (fig. 4b)  $\text{TlBa}_2\text{NdCu}_2\text{O}_{7-d}$  par microscopie électronique haute résolution a mis en évidence la formation systématique d'un nouveau type de défaut (figure 11). L'analyse des images a montré que ce défaut pouvait s'interpréter par l'insertion d'une couche cationique supplémentaire au niveau de la couche  $[\text{Nd}]_\infty$  située

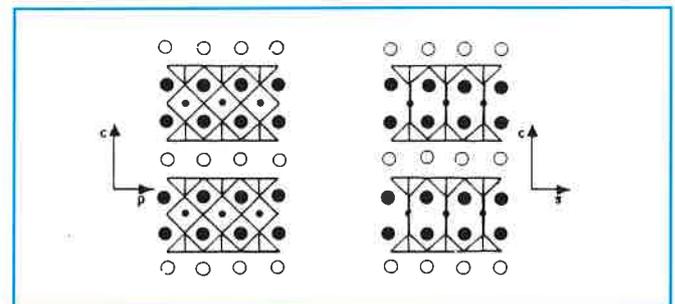
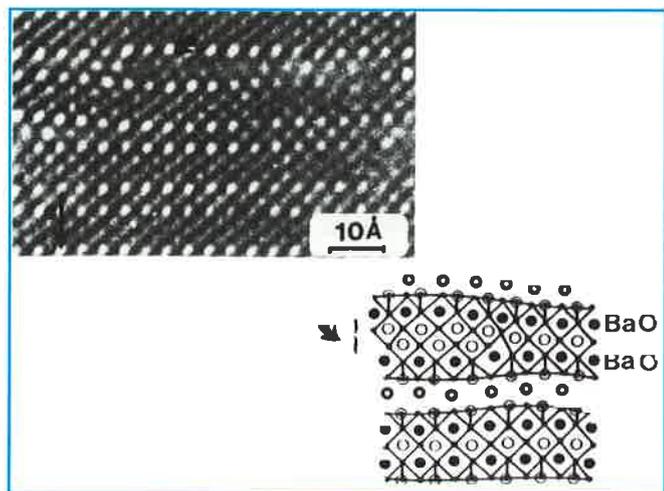
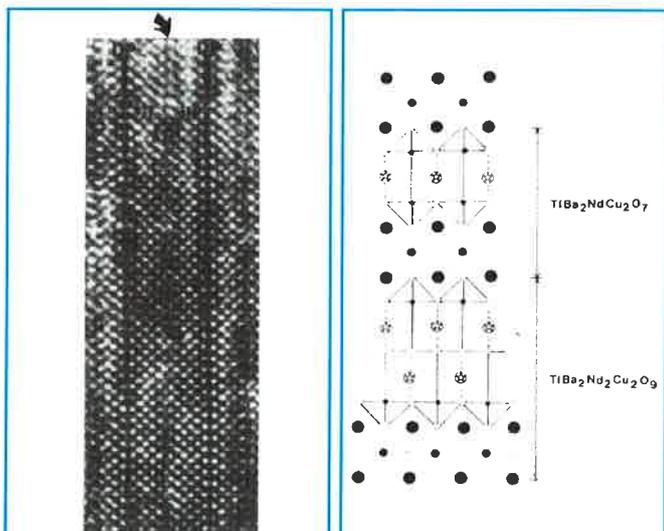


Figure 9 - Structure du supraconducteur  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  projetée selon  $[100]$  et  $[010]$ .



**Figure 10** - Image d'un défaut correspondant à l'intercalation d'une rangée [CuO] supplémentaire. Entre les deux rangées [BaO]<sub>∞</sub> une double rangée de groupements carrés CuO<sub>4</sub> joints par les arêtes est observée (flèche courbe).

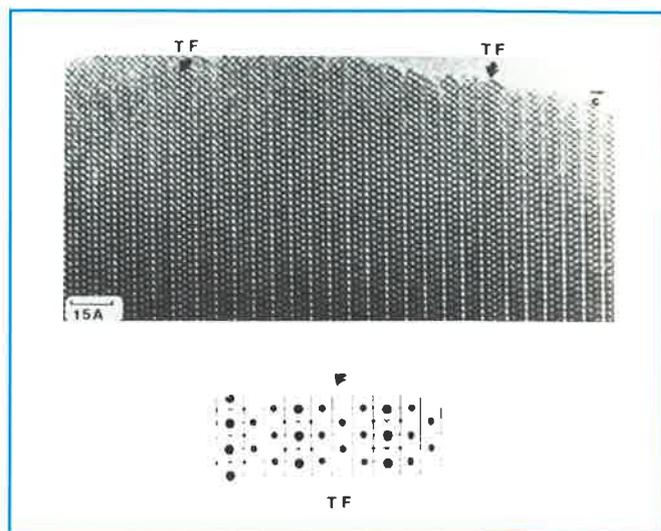


**Figure 11** - Image d'un cristal TlBa<sub>2</sub>NdCu<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, de type 1212 : au niveau du défaut (flèche courbe), la séquence d'empilement des couches a été modifiée. Localement, une double couche de type fluorine a été stabilisée.

**Figure 12** - Modèles comparés des structures TlBa<sub>2</sub>NdCu<sub>2</sub>O<sub>7</sub> et TlBa<sub>2</sub>Nd<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>9</sub>. Le deuxième se déduit du premier par intercalation d'une couche [LnO<sub>2</sub>]<sub>∞</sub> supplémentaire.

entre les deux rangées de pyramides CuO<sub>5</sub>. Dans cette couche [Nd]<sub>∞</sub>, les atomes de néodyme présentent une coordinence cubique semblable à celle observée dans les fluorines.

La nouvelle entité formée lors du défaut correspond donc à une double couche de ce type, c'est-à-dire une double couche fluorine (figure 12). La nouvelle phase, basée sur ce mécanisme, a été isolée très vite pour une composition TlBa<sub>2</sub>Ln<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>9</sub>. Cette couche [A]<sub>∞</sub>, avec A = Ca, Y, Ln, entourée de deux couches de pyramides CuO<sub>5</sub> est un motif structural commun à plusieurs cuprates en couches : 112, 123, 1212, 2212, 0212, 0201, 0212... ; l'observation du nouveau mécanisme - substitution de la simple couche fluorine par une double couche fluorine - permettrait de supposer qu'autant de phases nouvelles pourraient être stabilisées. Toutes ces nouvelles structures ont pu être effectivement isolées et le mécanisme prolongé puisque

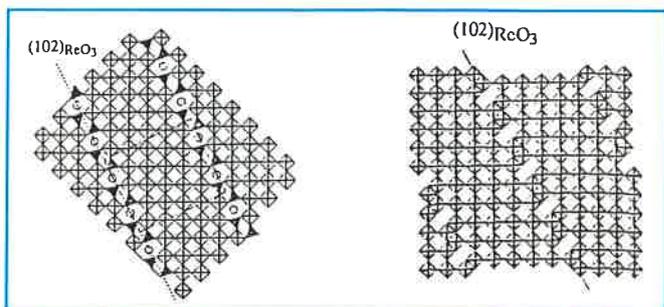


**Figure 13** - Dans une structure de type 212, Nd<sub>1,5</sub>Ce<sub>0,5</sub>BaFeCuO<sub>7</sub>, des triples couches de type fluorine (TF) ont été observées.

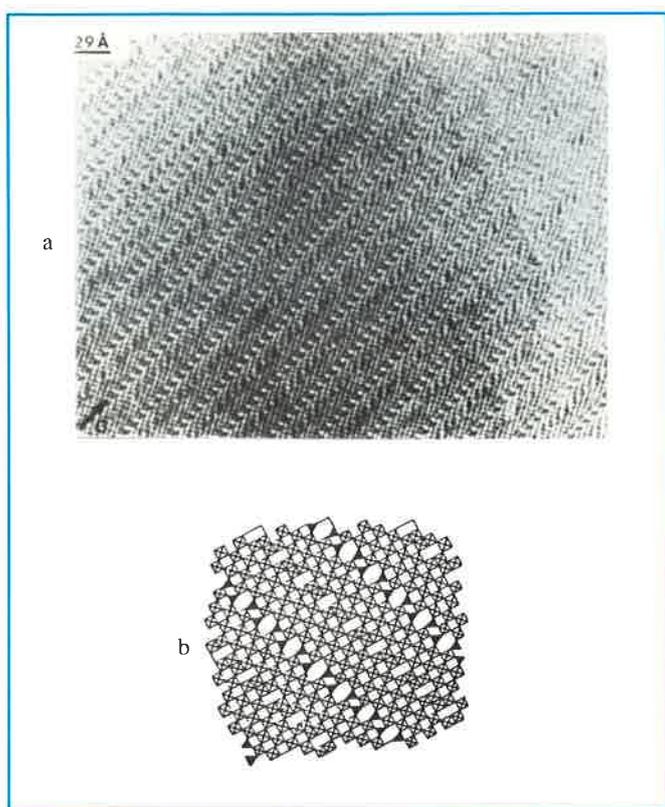
des oxydes à "triple couches fluorine" ont également été stabilisés. La micrographie présente l'image d'une structure 212, dérivée de la structure mère 112 selon ce mécanisme et dans laquelle des défauts triple fluorine sont observés (figure 13).

#### Les groupements phosphates et les cisaillements

Le mécanisme de non-stoechiométrie en oxygène dans les sous oxydes W<sub>n</sub>O<sub>3n-1</sub> s'effectue par "cisaillements" (figure 2a) selon des plans privilégiés {10n} de la maille cubique WO<sub>3</sub>. Une analyse simple de la projection [010] des phases à cisaillements {102} et des DPTB<sub>H</sub> montre que les deux types de phases sont constitués de tranches WO<sub>3</sub>, limitées, parallèlement au plan (102)<sub>WO3</sub> soit par des blocs de quatre octaèdres WO<sub>6</sub> joints par les arêtes, soit par des groupements diphosphates (figure 14). L'observation de cisaillements "accidentels" dans les grands termes des DPTB<sub>H</sub> laissait prévoir la possibilité de créer des nouvelles familles, issues d'une intercroissance complexe de groupements diphosphates et de blocs d'octaèdres dans la matrice WO<sub>3</sub>. La réduction des DPTB<sub>H</sub> a montré qu'une largeur minimum de 20 octaèdres pour la tranche WO<sub>3</sub> était nécessaire pour permettre au mécanisme de cisaillement de s'établir. Au delà de cette limite, il est possible d'obtenir des cristaux très réguliers où les tunnels hexagonaux et les blocs d'octaèdres alternent régulièrement dans une famille d'intercroissance DP-{102}CSP.

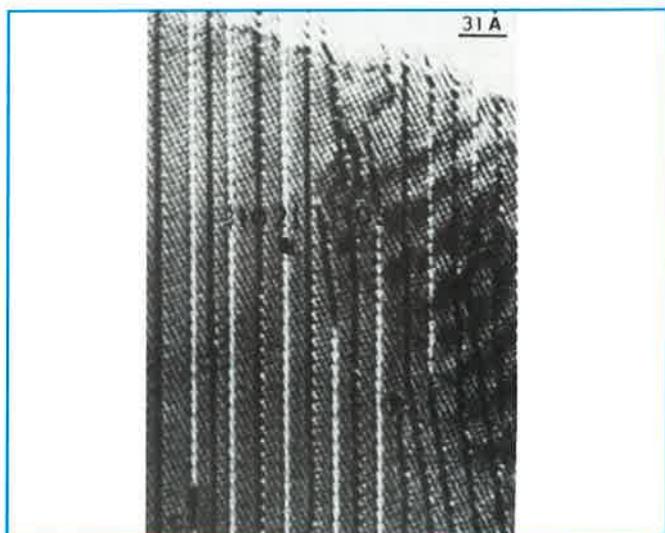


**Figure 14** - Les tranches (WO<sub>3</sub>)<sub>n</sub> peuvent être connectées par des groupements diphosphates ou des blocs de 2 x 2 octaèdres cisailés. Le plan de jonction est {102} dans les deux cas.



**Figure 15** - Intercroissance régulière de plans "diphosphates" et de plans de cisaillements {102} dans une matrice  $WO_3$  : a) image, b) modèle idéalisé.

Un exemple de terme  $m = 15$  est présenté *figure 15* où les tunnels de type perovskite apparaissent sous la forme de taches grises, les rangées de taches claires correspondent aux tunnels hexagonaux et les rangées de taches sombres aux plans de cisaillement. L'observation de nombreux cristaux a montré que la coexistence de ces deux mécanismes dans une matrice  $WO_3$  pouvait s'effectuer sous des formes multiples telles la formation de cisaillements {103} ou de cisaillements mixtes et le prolongement de rangées de tunnels diphosphates par des blocs d'octaèdres (*figure 16*).



**Figure 16** - Exemples de cisaillements {103} et de cisaillements mixtes dans un  $BDPT_m$ . La jonction entre les plans diphosphates (lignes blanches) et les plans de cisaillement (lignes sombres) s'effectue aisément.

## ■ COMPRENDRE

La reconnaissance et la prévision des mécanismes de non-stoechiométrie sont les deux premières étapes des études nanostructurales. Il en existe une troisième tout aussi importante : comprendre leur rôle et, particulièrement, leur influence sur le comportement physique des matériaux.

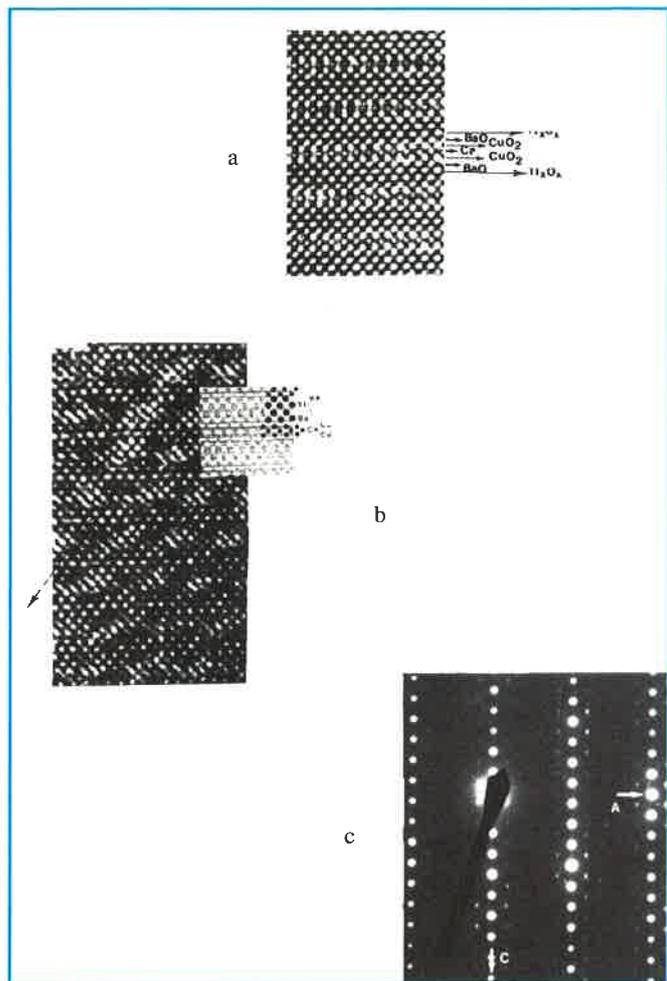
Pour illustrer cette démarche, nous nous limiterons aux cuprates et à leurs spectaculaires propriétés ; parmi eux, les oxydes  $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$ , de type 2212, peuvent présenter une teneur variable en oxygène et une non-stoechiométrie en thallium.

### *Le rôle des recuits*

La synthèse de ces matériaux est effectuée en tube scellé sous pression d'oxygène. Les oxydes bruts de synthèse présentent une température critique de 108 K. L'optimisation de cette Tc est effectuée par recuits à basse température en atmosphère réductrice (90 % Ar/10 %  $H_2$ ) ; la basse température (< 300 °C) est rendue nécessaire pour éviter les pertes d'oxydes de thallium volatils qui rendent plus complexe l'interprétation et l'atmosphère réductrice pour permettre un départ d'oxygène à ces basses températures. Dans ces conditions, la température critique peut être "montée" jusqu'à 119 K. L'observation en microscopie haute résolution de ces matériaux optimisés montre qu'aucune différence nanoscopique n'est enregistrée par rapport aux matériaux bruts de synthèse ; le contraste des images est, en tous points, semblable et aucun mécanisme extrinsèque n'a été engagé par la perte d'oxygène. Il est donc alors possible de conclure que ce traitement conduit à une optimisation du taux de porteurs se produisant de façon statistique et homogène dans la matrice.

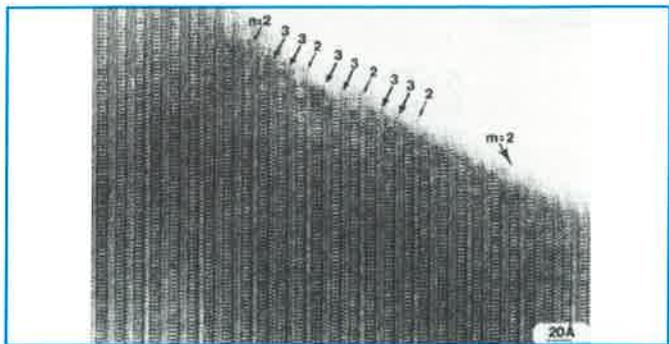
### *Le rôle de la non-stoechiométrie*

Revenons aux matériaux bruts de synthèse ; lors des premières synthèses, réalisées en 1988, la présence de satellites en positions incommensurables dans les clichés de diffraction électronique de  $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$  fut l'objet d'une polémique ; c'est l'étude des possibilités de non-stoechiométrie en thallium qui apporta, trois ans plus tard, la solution. En effet, l'étude de la solution solide  $Tl_{2-x}Ba_2CaCu_2O_{8-d}$ ,  $0 \leq x \leq 0,4$ , démontra l'absence de satellite pour  $x \sim 0$  donc pour les composés stoechiométriques ; au contraire, les oxydes déficitaires en thallium présentaient de façon systématique ces satellites (*figure 17c*). L'ambiguïté originelle était donc levée : selon les conditions de synthèse, une perte de thallium pouvait se produire, entraînant alors la formation de satellites. Quelle est l'origine de ces satellites ? L'étude en haute résolution montre que leur présence est corrélée à l'existence de zones modulées, plus ou moins étendues, dans les cristaux. Il apparaît (par l'observation des séries focales) que ces modulations proviennent de variations de contraste au niveau des couches BaO-TlO-TlO-BaO, c'est-à-dire des couches de type NaCl (*figure 17*). Ces modulations se produisent selon les plans (111) de la structure NaCl, suggérant des mises en ordre locales des ions Tl et des lacunes, d'une part, et des anions oxygène et des lacunes d'autre part. Il est important de noter que ces modulations se produisent au sein de cristaux dont le contraste est tout à fait régulier et en accord avec le contraste attendu des images calculées. Ces observations permettent donc de conclure que la non-stoechiométrie en thallium se fait de façon générale par une distribution aléatoire des atomes et des lacunes dans les couches  $[TlO]_\infty$  mais que, par zones, une mise en ordre s'établit dans les plans



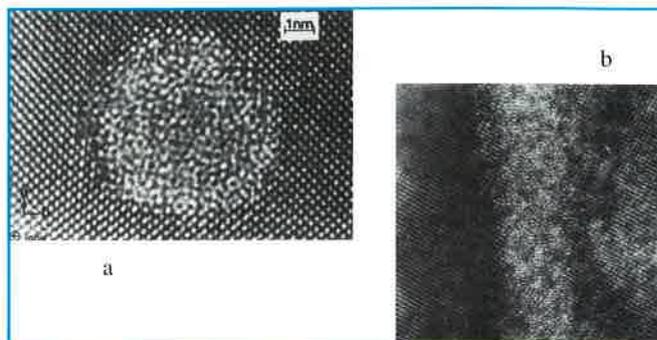
**Figure 17** - a-image d'un cristal régulier de type 2212,  $Tl_{2-x}Ba_2CaCu_2O_8$  ;  
 b) image d'une zone modulée et comparaison avec l'image calculée d'une zone régulière,  
 c) les modulations entraînent la formation de satellites sur les clichés de D.E.

$(111)_{NaCl}$  sous la forme de modulations se traduisant, en diffraction électronique, par la formation de satellites. Ces phénomènes sont donc, en quelque sorte, un "signe extérieur" de cette non stoechiométrie en thallium. Il est un autre signe extérieur qui correspond à la formation, non plus de doubles couches  $[TlO]_{\infty}$  de l'oxyde 2212  $TlBa_2CaCu_2O_8$ , mais de simples

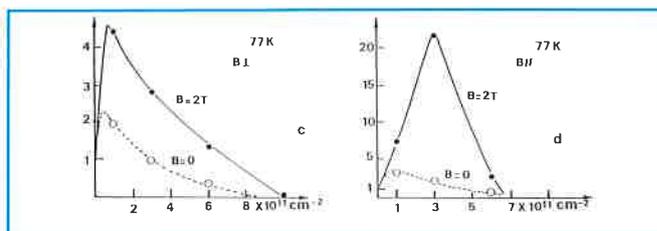


**Figure 18** - Le déficit en thallium peut entraîner la formation de simple couche de thallium ( $n' = 2$ ) dans une matrice  $n = 3$ . Exemple de mise en ordre à longue distance de termes  $n' = 2$  et  $n = 3$ . Le nouveau terme résultant de l'intercroissance est  $n = 2,66 ((2 \times 3 + 2)/2)$ .

couches  $[TlO]_{\infty}$  semblables à celles observées dans l'oxyde 1212  $TlBa_2CaCu_2O_8$  (figure 18). Les mesures magnétiques effectuées, sur les deux oxydes limites de la solution  $Tl_2Ba_2CaCu_2O_8$  et  $Tl_{1,6}Ba_2CaCu_2O_{8-d}$ , montrent que les deux matériaux présentent des températures critiques et des volumes diamagnétiques comparables après optimisation. Il apparaît ainsi que la présence de ces phénomènes nanostructuraux, modulations et intercroissances, liés à la non-stoechiométrie en thallium, ne jouent pas un rôle essentiel dans le comportement supraconducteur des oxydes de thallium 2212.



**Figure 19** - Image de traces créées par les ions lourds dans la pérovskite déficiente en oxygène  $YBa_2Cu_3O_7$  ;  
 a) le faisceau d'ion est perpendiculaire au cristal, b) vue longitudinale de la trace. Au coeur de la trace, le matériau est amorphisé.



**Figure 20** - Variations de la densité de courant critique avec la fluence :  
 a) champ perpendiculaire aux traces,  
 b) champ parallèle aux traces.

#### Les défauts sur commande

Pour conclure cette étude des corrélations nanostructures-propriétés, nous citerons l'exemple de défauts, créés à volonté et dont nous connaissons la morphologie. Il s'agit des traces créées par l'irradiation des matériaux par les ions lourds de Ganil. Avec une énergie et une fluence données, il est possible de créer dans les matériaux des défauts qui se présentent sous la forme de tubes, de quelques dizaines d'angströms de diamètre, au sein desquels la matière est totalement désorganisée. Ces tubes sont parallèles à la direction des ions et "traversent" les cristaux irradiés (figure 19). Les mesures d'aimantation effectuées sur ces matériaux montrent que les cycles d'hystérésis et, par suite, les densités de courant critique sont très sensibles à la densité et à l'orientation des traces ainsi créées (figure 20). Ces quelques exemples de phénomènes de non-stoechiométrie nous ont permis d'illustrer les apports des caractérisations nanostructurales à l'étude des matériaux. Ils mettent en évidence la richesse, quelquefois insoupçonnée, des mécanismes de non-stoechiométrie et montrent combien il est important de connaître leur existence dans une démarche de compréhension des structures des matériaux et de leurs propriétés physiques ou chimiques.

# Spectroscopie électronique et chimie de coordination

## Principes généraux et exemples d'utilisation

Gilles Bouet\* *professeur* et Mustayeen Khan\* *maître de conférences*

La spectroscopie électronique, c'est-à-dire celle qui est liée à des transitions électroniques au sein des molécules, ne doit pas se limiter aux composés notamment organiques comportant des liaisons multiples, donc des électrons  $\pi$ . En effet, les éléments de transition peuvent conduire à des transitions électroniques dites "d-d" entre orbitales atomiques nd de niveaux énergétiques différents. Ces transitions conduisent à des spectres d'absorption caractéristiques dans les domaines de l'ultraviolet, du visible et du proche infrarouge.

Nous ne prétendons pas faire ici un bilan exhaustif des multiples possibilités, mais simplement montrer quelques aspects de l'exploitation des spectres électroniques. Les lecteurs intéressés notamment par les calculs théoriques pourront consulter tous les ouvrages cités à la fin de cet article et, plus particulièrement, la seconde édition de "Inorganic Electronic Spectroscopy" de A.B.P. Lever [1] qui rassemble les calculs théoriques et de nombreux résultats expérimentaux.

### La structure des complexes métalliques

Nous ne reprendrons pas ici les diverses théories qui, depuis celle d'Alfred Werner en 1905, ont tenté d'expliquer la structure des complexes ou composés de coordination, ni les définitions des termes propres à la chimie de coordination.

L'application de la spectroscopie électronique à la structure des complexes des métaux de transition est essentiellement fondée sur la théorie du champ cristallin ou du champ des ligands, initialement développée par Bethe (1929). Cette théorie stipule que la présence des ligands autour de l'ion métallique élément central entraîne une levée de dégénérescence des orbitales nd de cet ion ; la nouvelle répartition des niveaux d'énergie qui en résulte dépend directement de la géométrie du complexe.

Il existe également des complexes dits "à transfert de charge" dont nous ne parlerons pas ici. Schématiquement, les spectres de transfert de charges résultent du transfert d'un électron du métal vers les ligands ou vice versa. L'intensité de l'absorption qui en résulte peut parfois masquer les transitions d-d d'intensité plus faible notamment dans l'ultraviolet. Les premiers travaux ont été publiés par Jorgensen (1959) et depuis de nom-

breux travaux ont été réalisés (voir par exemple le chapitre 5 de la référence [1]).

### Bases théoriques des spectres électroniques des métaux de transition

Il est bien connu que, pour l'atome d'hydrogène et les ions de type hydrogénoïde, l'équation de Schrödinger peut s'écrire sous la forme simple :

$$H\psi = E\psi \quad (1)$$

H étant l'opérateur hamiltonien. Dans le cas d'un atome ou d'un ion polyélectronique à n électrons ce dernier comporte quatre termes :

- . le premier terme donne l'énergie cinétique de l'ensemble des électrons ;
- . le second terme représente les forces d'attraction des n électrons par le noyau ;
- . le troisième terme est le terme de répulsion des n électrons entre eux (répulsion interélectronique) ;
- . enfin, le dernier indique la valeur du "couplage spin-orbite".

Dans le cas d'un ion d'un élément de transition de configuration électronique  $nd^x$ , il peut être démontré que les niveaux d'énergie dépendent du troisième terme de l'hamiltonien. Ces énergies peuvent se calculer en fonction des paramètres A, B et C de Racah ou  $F_k$  de Slater ( $k = 0$  à 4 inclus) [1]. Ces deux séries de paramètres peuvent se déduire l'une de l'autre par les relations suivantes :

$$A = F_0 - 49 F_4 \quad (2)$$

$$B = F_2 - 5 F_4 \quad (3)$$

$$C = 35 F_4 \quad (4)$$

Ces paramètres sont donc des paramètres de répulsion interélectronique. En l'absence d'électrons f, il a été montré qu'il est possible de considérer que  $C \approx 4B$  [2]. Le plus souvent, c'est le paramètre B qui est utilisé. En effet, celui-ci mesure l'extension du nuage électronique de l'ion métallique engagé dans un complexe, phénomène connu sous le nom d'effet néphélauxétique (voir plus loin).

\*Laboratoire de chimie de coordination, Faculté de pharmacie, 16, boulevard Daviers, 49100 Angers. Tél. : 41.48.14.22. Fax : 41.48.67.33.

Quand un ion métallique de configuration  $nd^x$  se trouve engagé dans un complexe, la présence des doublets libres des atomes coordonneurs des ligands crée ce qu'on appelle communément le champ des ligands ou le champ cristallin. Il est alors nécessaire d'introduire un cinquième terme dans l'expression de l'hamiltonien, terme représentant l'énergie potentielle provoquée par le champ des ligands. Il dépend de la nature de l'ion métallique et, comme nous le verrons plus loin, de la nature des ligands bien entendu. Selon les valeurs relatives de ce champ, du couplage spin-orbite et du terme de répulsion interélectronique, il faut considérer trois cas :

. 1<sup>er</sup> cas : le champ cristallin présente une énergie plus faible que celle du couplage spin-orbite; c'est ce qui est généralement observé dans les complexes de terres rares.

. 2<sup>e</sup> cas : le champ cristallin est d'énergie supérieure respectivement à celle de la répulsion interélectronique, d'une part, et à celle du couplage spin-orbite, d'autre part, et ces complexes sont dits "à bas spin".

. 3<sup>e</sup> cas : l'énergie du champ cristallin est intermédiaire entre celle du couplage spin-orbite et celle des forces de répulsion des électrons. Les complexes correspondants sont dits "à haut spin". De ces considérations, peuvent être déduites les diverses valeurs de l'énergie des orbitales  $nd$  en fonction des natures respectives de l'ion métallique et des ligands qui expliquent la levée de dégénérescence évoquée plus haut.

L'analyse des spectres électroniques (ultraviolet, visible et proche infrarouge) permet d'atteindre les écarts énergétiques entre les niveaux des diverses orbitales atomiques  $nd$  et la géométrie autour de l'élément central.

### Niveaux d'énergie des orbitales d selon la géométrie du complexe

La figure 1 donne un schéma très général des niveaux d'énergie des orbitales atomiques  $d$  de l'élément central selon la géométrie du complexe [1]. Ce diagramme fait apparaître l'écart entre les niveaux énergétiques des orbitales atomiques  $t_{2g}$  et  $e_g$  : celui-ci est noté  $\Delta$  ou  $\Delta_o$  ou le plus souvent  $10 Dq$ . Le niveau d'énergie des trois orbitales atomiques  $t_{2g}$  est abaissé de  $4 Dq$  par rapport au niveau des orbitales atomiques  $nd$  dégénérées dans l'ion à l'état gazeux, libre de toute interaction, alors que celui des deux orbitales atomiques  $e_g$  est situé  $6 Dq$  plus haut. Cet écart est appelé  $10 Dq'$  pour un complexe tétraédrique et il faut noter que généralement  $10 Dq'$  est plus petit que  $10 Dq$  avec, en moyenne,  $10 Dq' = 4/9 10 Dq$  [3]. Souvent, les valeurs

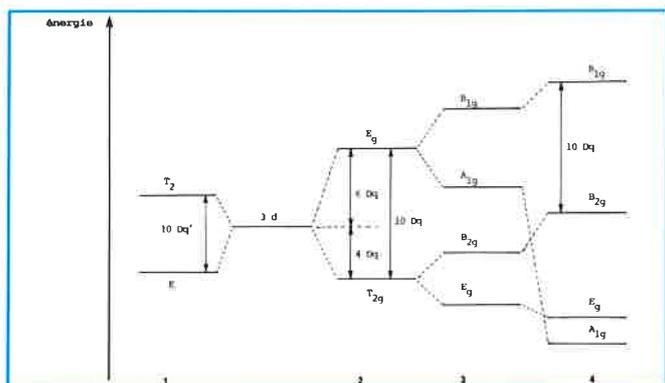


Figure 1 - Niveaux d'énergie des orbitales  $d$  selon la géométrie des complexes, d'après la théorie du champ des ligands d'après [1].  
1 - champ tétraédrique, 2 - champ octaédrique, 3 - champ octaédrique avec déformation selon l'axe  $z'Oz$ , 4 - champ plan carré.

théoriques de  $10 Dq$  (ou  $10 Dq'$ ) sont éloignées de celles qui sont observées expérimentalement. Cependant, cette grandeur que l'on pourrait presque qualifier d'empirique a été maintenue car elle donne une image assez juste de l'effet de champ cristallin [2]. Sa valeur dépend :

. pour un même ion métallique élément central : de la nature des ligands qui l'entourent. Pour un même ion, le classement des ligands selon les valeurs de  $10 Dq$  constitue ce qu'on appelle la "série spectrochimique" ;

. pour des ligands identiques : de l'ion métallique central.

Par ailleurs, Lever [3] précise que  $10 Dq$  croît avec l'état d'oxydation et qu'il augmente de 25 à 50 % en passant des éléments  $3d$  aux éléments  $4d$  puis  $5d$ . Par exemple,  $10 Dq$  est égal, respectivement, à  $10\ 500\text{ cm}^{-1}$  pour  $\text{Fe}^{2+}$  et  $21\ 000\text{ cm}^{-1}$  pour  $\text{Fe}^{3+}$  quand ils sont entourés de six molécules d'eau [4].

De la même manière, le paramètre  $B$  de Racah dépend de la nature du ligand et de celle de l'ion métallique. Comme le montre le tableau 1 [3, 5] pour les ions  $M^{2+}$ . Il faut considérer  $B$  comme étant une fonction de la taille de l'ion métallique (rayon ionique), mais encore plus précisément en relation avec la charge effective du noyau.

Si nous comparons les valeurs de  $B$  données dans le tableau 1, correspondant à l'ion libre à l'état gazeux, à celles obtenues pour le même ion engagé dans un complexe, nous constatons que  $B$  diminue car les électrons  $d$  sont en moyenne plus éloignés du noyau (par rapport à l'ion libre) et ainsi la charge nucléaire effective devient plus faible. En effet, la tendance à la covalence des liaisons métal-atomes coordonneurs par la mise en commun des doublets des atomes coordonneurs et des électrons  $d$  de l'élément central conduit à des liaisons présentant un caractère atomique, (ou covalent) et, de ce fait, à un agrandissement du nuage électronique  $d$ . Plus  $B$  est petit, plus la liaison métal-ligand présente un caractère atomique marqué [3]. De nombreux auteurs proposent d'utiliser le rapport  $\beta$  défini selon :

Tableau 1 - Valeurs du paramètre  $B$  de Racah selon la configuration électronique [3]

Espèce	Électrons $d$	$B$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$B$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\beta$
$\text{Ti}^{2+}$ .....	$3 d^2$	718		
$\text{V}^{2+}$ .....	$3 d^3$	766		
$[\text{V}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ .....		766	690	0,90
$\text{Cr}^{2+}$ .....	$3 d^4$	830		
$[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ .....	$3 d^3$	918	725	0,79
$\text{Mn}^{2+}$ .....	$3 d^5$	960		
$[\text{Mn}(\text{isox})_2\text{Br}_2]^a$ .....			626	0,65
$\text{Fe}^{2+}$ .....	$3 d^6$	1 058		
$\text{Co}^{2+}$ .....	$3 d^7$	971		
$[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ .....	$3 d^6$	1 098	670	0,61
$[\text{Co}(\text{dpmz})_2\text{Br}_2]^{+1}$ .....		1 098	670	0,61
$\text{Ni}^{2+}$ .....	$3 d^8$	1 041		
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ .....			881	0,85
$\text{Rh}^{2+}$ .....	$4 d^7$	620		
$\text{Pt}^{2+}$ .....	$5 d^8$	600		

a : isox = isoxazole

b : dpmz = 3,5-diméthyl pyrazole

$$\beta = \frac{B_0 \text{ (ion libre)}}{B \text{ (ion complexé)}} \quad (5)$$

ainsi  $\beta$  diminue quand le caractère atomique augmente. Quelques valeurs sont données également dans le *tableau I*.

### Réalisation des spectres expérimentaux

Les spectres d'absorption peuvent être obtenus aussi bien à l'état solide qu'à l'état dissous et il n'apparaît pas de différence notable entre ces deux cas, si ce n'est la largeur des bandes qui peut être légèrement différente [6]. Les spectres des complexes des métaux de transition sont caractérisés par la présence de une à trois bandes situées dans les régions de l'ultraviolet (180 - 400 nm ou 55 000 à 25 000  $\text{cm}^{-1}$ ), du visible (400 - 800 nm soit 25 000 - 12 500  $\text{cm}^{-1}$ ) et du proche infrarouge (800 - 3 200 nm ou 12 500 - 3 125  $\text{cm}^{-1}$ ).

Il existe plusieurs techniques pour l'enregistrement des spectres électroniques [1] :

- Spectres en solution. C'est la technique la plus simple. Les appareils à double faisceau permettent d'éliminer les bandes d'absorption du solvant dans le domaine de l'ultraviolet (aromatiques par exemple) ou dans celui du proche infrarouge (hydrocarbures). Les bandes des transitions d-d dans ce dernier domaine sont généralement de faible intensité et il est nécessaire d'utiliser des solutions suffisamment concentrées et/ou des cuves à long trajet optique (jusqu'à 10 cm).

- Spectres par réflexion. Lorsqu'un faisceau monochromatique est réfléchi par un échantillon solide (souvent pulvérulent), il présente alors deux composantes : une composante dite "spéculaire" correspondant à une simple réflexion sans absorption comme sur un miroir et une composante dite "diffuse" qui provient de l'absorption puis de la réémission du faisceau par le solide à analyser. Bien entendu, seule cette dernière présente ici un intérêt. Mais l'état de division de la poudre influe sur les intensités des bandes et cette technique est surtout utilisée en complément de la précédente.

- Spectres à partir des cristaux. Cette méthode donne beaucoup plus de renseignements que les deux précédentes grâce à la possibilité d'utiliser un faisceau polarisé avec un cristal dont la structure a été résolue par ailleurs. L'utilisation des basses températures conduit à des spectres bien résolus, avec des bandes relativement fines.

- Dans quelques cas, il est possible d'enregistrer des spectres avec des suspensions dans l'huile de vaseline ou dans l'hexachlorobutadiène, mais cette technique est peu utilisée.

- Spectre en sel fondu : l'échantillon est dissous dans un sel fondu, le plus souvent un eutectique LiCl-KCl.

Plusieurs appareils sont actuellement proposés, tous à double faisceau. Ils comprennent généralement de nombreux accessoires, notamment les sphères d'intégration qui permettent d'obtenir les spectres par réflexion diffuse.

### Types de transitions observés dans les complexes de métaux de transition

Comme au niveau atomique, toutes les transitions ne sont pas théoriquement possibles au sein d'un complexe de métal de transition. Cependant, il est possible expérimentalement d'observer dans les spectres d'absorption, des bandes correspondant à des transitions qualifiées d'interdites. Le *tableau II* rassemble les divers types de transitions.

Comme au sein de l'ion métallique, toutes les transitions électroniques responsables des bandes se situent au sein des orbi-

tales nd, nous avons  $\Delta l = 0$ , ce qui est contraire à la règle dite "règle de Laporte" qui stipule qu'une transition n'est théoriquement possible que si  $\Delta l = \pm 1$ .

Par ailleurs, sont également théoriquement interdites les transitions qui entraînent une modification de la multiplicité des spins et ces transitions sont dites "spin interdites". Ainsi, dans le cas d'un complexe octaédrique à champ faible de l'ion  $\text{Mn}^{2+}$  de configuration  $t_{2g}^3 e_g^2$ , il y a donc cinq électrons célibataires et, selon les règles ci-dessus, aucune transition d-d n'est théoriquement possible. Mais les spectres d'absorption de ces composés font apparaître plusieurs bandes attribuables à ces transitions "interdites". Elles sont généralement de très faible intensité (voir *tableau II*).

À l'opposé, les transferts de charge correspondent à des transitions autorisées et les bandes qui en résultent sont de forte intensité ( $\epsilon$  de  $10^3$  à  $10^6 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3$ ). Leur étude est alors parfois difficile car elles peuvent se superposer aux bandes d'absorption, notamment dans l'ultraviolet, de ligands organiques.

### Application à l'étude structurale des complexes de métaux de transition

Nous ne donnerons ici que quelques résultats structuraux obtenus à l'aide des spectres électroniques. Cette technique est complémentaire des autres modes de détermination structurale : diffraction des rayons X, spectroscopie infrarouge, RPE et, à un degré moindre, à cause du paramagnétisme électronique possible, la RMN.

Les ouvrages ou articles généraux détaillent les calculs théoriques, d'une part et les calculs à partir des spectres expérimentaux d'autre part, pour chaque configuration de  $d^2$  (parfois  $d^1$ ) à  $d^9$  incluses). Nous ne donnerons, à titre d'exemple, que le cas de complexes octaédriques (géométrie très largement répandue) en  $d^7$ . Sur un plan général, notons que pour un complexe octaédrique, les calculs des niveaux d'énergie sont identiques pour les configurations  $d^n$  et  $d^{n+5}$ . De même, les niveaux d'énergie découlent des mêmes calculs pour un complexe octaédrique en  $d^n$  et un complexe tétraédrique en  $d^{10-n}$ .

**Tableau II** - Transitions électroniques dans les métaux de transition.  $\epsilon$  en  $\text{cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{dm}^3$

Type de complexe	Type de transition	Coefficient d'extinction molaire ( $\epsilon$ )
Complexes en $d^5$ Ex. : $\text{Mn}^{2+}$	spin interdite	0,01 - 1
Complexes en $d^5$ tétraédriques	Laporte interdite spin interdite Laporte interdite	1 - 10
Complexes octa. Ex. : $[\text{Ni}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$	spin interdite	
Complexes avec ligands organiques	Laporte interdite spin interdite	10 - 100
Complexes tétra. ou hexacoordinés de faible symétrie	Laporte interdite	10 - 100
Complexes à transfert de charge	spin interdite Laporte interdite	> 1000

tales permettent le calcul de  $10 Dq$  et/ou de  $B$ . A l'aide de ces valeurs, il est possible de calculer les positions théoriques des bandes et de les comparer avec celles observées expérimentalement. Si la géométrie du complexe ne correspond pas à celle qui a été posée a priori, les calculs théoriques et les valeurs expérimentales ne peuvent pas coïncider. Notons que la plupart des auteurs expriment les positions des bandes en nombres d'onde ( $\text{cm}^{-1}$ ) et non pas en longueurs d'onde.

L'ion cobalt (II) est en  $3d^7$ . Dans le cas de complexes à haut spin, les états énergétiques sont très proches de ceux donnés pour une configuration en  $d^2$  et le spectre d'absorption présente trois bandes correspondant aux trois transitions indiquées à la figure 2.

Malheureusement, la bande  $\nu_2$  est souvent d'intensité faible et donc relativement difficile à attribuer avec précision. Cependant, il faut noter que la valeur du rapport  $\nu_2/\nu_1$  est un critère utilisable : il doit se situer entre 1,9 et 2,2 si les attributions sont correctes [1]. Les paramètres  $10 Dq$  et  $B$  peuvent être calculés à l'aide des systèmes d'équations suivants [5] :

$$\begin{aligned} \text{a) } 10 Dq &= \nu_2 - \nu_1 \\ B &= (2 \nu_1^2 - \nu_1 \nu_2) / (12 \nu_2 - 27 \nu_1) \end{aligned} \quad (6a)$$

$$\begin{aligned} \text{b) } 10 Dq &= 2 \nu_1 - \nu_3 + 15 B \\ B &= 1/30[-(2 \nu_1 - \nu_3) \pm \{ -\nu_1^2 + \nu_3^2 + \nu_1 \nu_3 \}^{1/2}] \end{aligned} \quad (6b)$$

$$\begin{aligned} \text{c) } 10 Dq &= 1/3(2\nu_2 - \nu_3) + 5 B \\ B &= 1/510[7(\nu_3 - 2 \nu_2) \pm 3 \{ 81 \nu_3^2 - 16 \nu_2 (\nu_2 - \nu_3) \}^{1/2}] \end{aligned} \quad (6c)$$

$$\begin{aligned} \text{d) } 10 Dq &= \nu_2 - \nu_1 \\ B &= (\nu_2 + \nu_3 - 3 \nu_1) / 15 \end{aligned} \quad (6d)$$

Le tableau III rassemble quelques résultats obtenus pour des complexes octaédriques du cobalt (II).

Pour conclure cette première application des spectres électroniques, nous voulons évoquer brièvement le cas des complexes octaédriques du cuivre (II), représentatifs de la configuration  $nd^9$ . Il est bien connu que l'ion  $\text{Cu}^{2+}$  développe une coloration bleue en milieu aqueux et verte dans l'éthanol. Cette couleur provient selon Figgis [2] de l'unique transition autorisée pour une telle configuration électronique ( $2T_{2g} \leftarrow 2E_g$ ). Mais les complexes cuivriques ne sont que très rarement parfaitement octaédriques, ils sont le plus souvent déformés par effet Jahn-Teller. Sutton [10] indique que la bande, souvent large, correspondant à la transition théoriquement unique, éclate en trois bandes. D'autres ions que ceux en  $nd^9$  conduisent à l'effet Jahn-Teller, mais l'ion cuivrique y est le plus sensible. Il n'est jamais possible de calculer  $B$  car tous les niveaux appartiennent au même état énergétique et les énergies des transitions d-d qui apparaissent sont mathématiquement dépendantes des forces de répulsion interélectroniques.

### Application à la détermination des constantes de stabilité des complexes en solution

Nous ne détaillerons pas ici les méthodes de calcul qui permettent d'accéder aux constantes successives de stabilité des complexes en solution. Nous n'envisagerons que quelques généralités sans distinguer tel ou tel solvant. Par ailleurs, il faut noter que l'étude analytique n'est pas exclusive et que la position des bandes permet, comme nous l'avons signalé au paragraphe précédent, de déterminer la géométrie des complexes en solution.

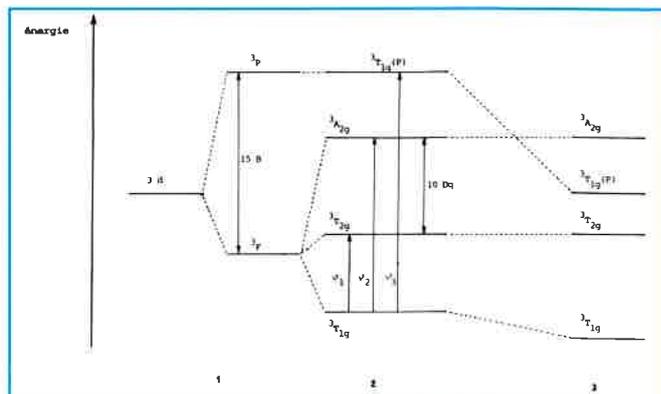


Figure 2 - Niveaux d'énergie des orbitales d pour les complexes octaédriques du cobalt (II) d'après [3].

- 1 - environnement sphérique (effet néphélauxétique)
- 2 - champ octaédrique faible
- 3 - champ octaédrique faible avec fortes répulsions interélectroniques.

La voie spectrophotométrique n'est qu'une des voies possibles pour accéder aux constantes de stabilité [11], à côté des techniques potentiométriques, polarographiques, calorimétriques [12, 13]. L'utilisation du domaine du proche infrarouge permet d'augmenter le nombre des mesures et améliore la précision des résultats, notamment lorsque les constantes de stabilité sont faibles et que les diverses espèces complexes qui apparaissent dans la solution présentent des spectres électroniques voisins. Quels que soient le métal, les ligands ou le solvant il faut bien entendu, opérer à force ionique constante. Par ailleurs, pour une meilleure précision des résultats, il est nécessaire de collecter un grand nombre de données spectrophotométriques [14].

Les premières résolutions ont été réalisées par voie graphique. Désormais, l'utilisation de l'informatique permet d'atteindre rapidement le nombre, la nature des espèces complexes présentes dans la solution ainsi que les constantes successives (ou globales) de stabilité en se fondant sur divers algorithmes [15]. Le principe de base de ces diverses méthodes est l'utilisation des moindres carrés.

Les exemples sont également très nombreux et nous avons choisi de rassembler ici (tableau IV) quelques résultats récents concernant les complexes du cuivre (II) dans divers solvants. D'autres ions de métaux de transition peuvent être envisagés et il est également possible d'étudier d'autres ligands inorganiques et/ou organiques.

### Conclusion

Nous n'avons donné ici que quelques résultats théoriques et des exemples illustrant les diverses possibilités des spectres électroniques. L'éventail des applications peut être également élargi à l'étude des complexes bio-inorganiques, mettant en jeu le plus souvent des protéines et des ions comme  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Cu}^{2+}$  [1, chapitre 8].

Cet article n'a pas d'autre prétention que d'attirer l'attention des chimistes sur cette technique structurale et analytique complémentaire d'autres méthodes peut-être plus répandues.

**Tableau III** - Exemples de calculs avec les dérivés du cobalt (II)

Complexe	Mode	$\nu_1$	$\nu_2$	$\nu_3$	10 Dq	B	$\nu_2/\nu_1$	Réf.
[Co(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> .....	exp.	8 100	16 000	19 400	—	—	1,97	7
	[6b]	—	17 314	—	9 215	828		
	[6c]	7 456	—	—	8 543	869		
	[6d]	6 927	14 827	—	7 900	740		
[Co(dmso) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> .....	exp.	7 450	14 600	18 700	—	—	1,97	7
	[6b]	—	15 872	—	8 465	823		
	[6c]	6 787	—	—	7 812	862		
	[6d]	13 467	—	—	7 193	739		
[CoCl <sub>2</sub> (m5fdh) <sub>4</sub> ] <sup>a</sup> .....	exp.	7 750	16 610	19 495	—	—	2,14	8
	[6b]	—	16 605	—	8 885	856		
	[6c]	7 750	—	—	8 885	856		
	[6d]	7 755	16 615	—	8 860	870		
[CoCl <sub>2</sub> (faoh) <sub>4</sub> ] <sup>b</sup> .....	exp.	7 770	15 550	19 495	—	—	2,00	9
	[6b]	—	16 445	—	8 875	855		
	[6c]	7 235	—	—	8 315	889		
	[6d]	6 795	14 575	—	7 780	732		

a : m5 fdh = 5-méthyl 2-furfuraldoxime

b: faoh = 3-(2-furyl) prop 2-ène aldoxime.

**Tableau IV** - Espèces présentes et logarithmes des constantes de stabilité pour des complexes du cuivre (II)

Solvant	Espèce	log $\beta_i$	Réf.
H <sub>2</sub> O .....	[CuCl] <sup>+</sup>	4,0	16
	CuCl <sub>2</sub>	4,7	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	1,6	
	[CuCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	0,2	
méthanol .....	[CuCl] <sup>+</sup>	2,3	17
	CuCl <sub>2</sub>	3,5	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	3,6	
méthanol .....	[CuBr] <sup>+</sup>	2,0	17
	CuBr <sub>2</sub>	2,8	
	[CuBr <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	2,9	
éthanol .....	[CuBr] <sup>+</sup>	5,0	18
	CuBr <sub>2</sub>	7,8	
	[CuBr <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	9,2	
	[CuBr <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	10,3	
propan-2-ol .....	[CuCl] <sup>+</sup>	5,2	19
	CuCl <sub>2</sub>	8,6	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	10,1	
	[CuCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	10,6	
butan-2-ol.....	[CuCl] <sup>+</sup>	4,5	20
	CuCl <sub>2</sub>	7,9	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	9,7	
	[CuCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	10,5	
acétone .....	[CuCl] <sup>+</sup>	8,4	21
	CuCl <sub>2</sub>	14,5	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	19,9	
	[CuCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	21,2	
acétonitrile .....	[CuCl] <sup>+</sup>	9,7	22
	CuCl <sub>2</sub>	17,6	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	24,7	
	[CuCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	28,4	
dmso.....	[CuCl] <sup>+</sup>	4,4	23
	CuCl <sub>2</sub>	7,4	
	[CuCl <sub>3</sub> ] <sup>-</sup>	11,4	
	[CuCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	13,4	

#### RÉFÉRENCES

- [1] A.B.P. Lever, Inorganic Electronic Spectroscopy, in *Studies in Physical and Theoretical Chemistry*, n° 33, Elsevier, Amsterdam, 2e édition, **1984**.
- [2] B.N. Figgis, Introduction to Ligand Fields, Interscience-Wileys, New-York, **1966**.
- [3] A.B.P. Lever, Inorganic Electronic Spectroscopy, Elsevier, Amsterdam, 1re Édition, **1968**.
- [4] L. E. Orgel, *J. Chem. Phys.*, **1955**, 23 (10), 1819.
- [5] E. König, Structure and Bonding, **1971**, 9, 175.
- [6] Y. Tanabe et S. Sugano, *J. Phys. Chem. Japan*, **1954**, 9 (5), 753 et 766.
- [7] C.K. Jorgensen, *Adv. Chem. Phys.*, **1963**, 5, 33.
- [8] G. Bouet, J. Dugué et F. Keller-Besrest, *Transition Metal Chem.*, **1990**, 15, 5.
- [9] G. Bouet et J. Dugué, *Transition Metal Chem.*, **1989**, 14, 356.
- [10] D. Sutton, *Electronic Spectra of Transition Metal Complexes*, Mac Graw-Hill, Londres, **1968**.
- [11] F.J.C. Rossotti et H. Rossotti, *The Determination of stability Constants and other Equilibrium Constants in Solutions*, Mac Graw-Hill, New-York, **1961**.
- [12] J. Barthel, *Thermometric Titrations*, John Wileys, New York, **1975**.
- [13] J.K. Grime, *Analytical Solution Calorimetry in Chemical Analysis*, vol. 19, John Wileys, New-York, **1985**.
- [14] M.A. Khan, Thèse de doctorat ès Sciences, Université Louis Pasteur, Strasbourg-I, **1988**.
- [15] F. Vierling, M.J. Schwing et J. Meullemestre, *Spectra 2000*, **1982**, 79 (10), 25.
- [16] M.A. Khan et M.J. Schwing-Weill, *Inorg. chem.*, **1976**, 15 (9), 2202.
- [17] M.A. Khan, J. Meullemestre, M.J. Schwing et F. Vierling, *Inorg. Chem.*, **1989**, 28, 3306.
- [18] S. Chafaa, T. Douadi, M.A. Khan, J. Meullemestre, M.J. Schwing et F. Vierling, *Nouv. J. Chim.*, **1991**, 15, 39.
- [19] S Dali, F. Bengahem, M. A. Khan, J. Meullemestre et F. Vierling, *Polyhedron*, **1991**, 10 (22), 2529.
- [20] F. Djabi, Thèse pour le diplôme de Magister, Université de Sétif (Algérie), **1991**.
- [21] C. Amuli, J. Meullemestre, M.J. Schwing et F. Vierling, *Nouv. J. Chim.*, **1987**, 11 (1), 27.
- [22] S.E. Manahan et R.T. Iwamoto, *Inorg. Chem.*, **1963**, 4 (10), 1409.
- [23] T.E. Suarez, R.T. Iwamoto et J. Kleinberg, *Inorg. Chim. Acta*, **1973**, 7 (2), 292.

# Chronique chimiophile

## La Germandrée petit-chêne

*Teucrium chamedrys* L. Syn. *Chamedrys officinalis* Moench, *Teucrium officinalis* Lam.

“Noms vulgaires : Petit-chêne, Herbe-des-fièvres, Germandrée officinale, Thériaque d’Angleterre.

Usages : Plante fébrifuge, tonique, stomachique, anti-scrofuleuse ; a été employé contre la goutte.

Le nom “Teucrium” la dédie à Teucer, roi de Troie, auquel on attribue la découverte des propriétés médicinales de ces plantes. On a décrit environ 100 espèces de ce genre habitant les contrées les plus diverses du globe. Elles sont vulnéraires, toniques, fébrifuges, vermifuges, sudorifique, antispasmodiques, sternutatoires, stomachiques, stimulantes ; *Teucrium polium* a été recommandé par Galien et Hippocrate.

[G. Bonnier, R. Douin, la Grande Flore en couleurs, éd. Belin, 1990]



Reproduction extraite de *Flore médicale*, décrite par F.P. Chaumeton, Chamberet et Poiret, peinte par Mme. E. Panchoucke et par P.J. F. Turpin. Paris, CLF Panchoucke, Editeur Paris, 1817.

“Tonique-amère, la germandrée petit-chêne reste l’un des grands remèdes dépuratifs de la pharmacopée populaire méridionale (cures de printemps, dermatoses, etc.)” [Platéarius, “le Livre des simples médecines”, éd. Ozalid, Paris, 1986].

Voilà donc une de nos “petites plantes” bien utiles, discrètes, multiples utiles, bien différentes des médicaments chimiques que la grande industrie nous fait avaler sans autre raison que l’appât du gain. Une des 130 drogues végétales pouvant légalement être utilisées dans des spécialités pharmaceutiques que n’importe quel pharmacien peut délivrer sans ordonnance. Plante médicinale rendue encore plus attractive par une nouvelle indication, bien de notre temps : elle a été largement utilisée pour favoriser la perte de poids : marché assuré. Marché garanti, quand, en plus, les agents commerciaux apportent la dynamique d’un nom qui fait vendre : gélules, fusettes, soit, mais aussi tisane pectorale d’Alsace, ou eau des bénédictines de l’abbaye de X. “Ça ne peut pas vous faire du mal, c’est naturel !”.

Marché perdu cependant, le ministère de la Santé ayant, en avril 1992, suspendu les autorisations des spécialités contenant la germandrée petit-chêne, à la suite de l’observation répétée de cas d’hépatites aiguës.

Bien entendu, qu’une plante traditionnellement utilisée (pour des indications fort variées) se révèle toxique a quelque chose de choquant. Le communiqué de presse du ministère de la Santé précise donc que “des études complémentaires ont été mises en place pour déterminer la présence éventuelle de contaminants (pesticides, champignons) et déterminer si possible le mécanisme en cause de survenue des hépatites (toxique, immunoallergique)”. (Admirez le style). C’est donc

peut-être quand même de la faute de la chimie, sous la forme agro cette fois.

Parions que c’est bien cependant la faute à la Nature. En cherchant dans le “Dictionary of Organic Products” sous “Teucr...”, nous ne trouverons peut-être pas tout, mais nous risquons de trouver quelques substances isolées d’un *Teucrium*. Effectivement, il y en a dix de répertoriées dans l’ouvrage principal, et quelques autres dans les suppléments\*. Il s’agit dans tous les cas de diterpènes fortement oxydés, ce qui n’est pas pour surprendre : *Teucrium* est une Labiée, et les Labiées sont particulièrement riches en substances de cette famille de produits naturels, souvent de grande activité biologique (forskoline, marrubiine, transhinones, etc.).

Voici l’une de ces structures, celle de la teucrine A ; d’autres comprennent d’autres groupements susceptibles d’interagir avec des protéines ou d’autres

constituants cellulaires ; des époxydes par exemple. Toutes, à l’allure, sont susceptibles d’avoir des activités biologiques variées. D’ailleurs, si la germandrée est une plante médicinale traditionnelle, c’est évidemment parce qu’elle a une activité biologique ; elle est très amère et, visiblement, elle fait de l’effet puisqu’elle occasionne des ictères et des nécroses hépatocytaires !

Faut-il alors condamner les petites plantes ? Certes non, mais il ne faut pas non plus croire que la Nature est bienveillante : comme on l’a souvent dit : “les plantes ne sont pas faites pour être mangées : elles se défendent”. Chimiquement.

G. O.

\* Il y en a 25 dans le nouveau Dictionary of Natural Products.

# EN BREF

## PRIX NOBEL DE CHIMIE 1993

Le prix a été attribué à l'Américain Kary B. Mullis et au Canadien Michael Smith pour leurs travaux d'élaboration de méthodes dans le domaine de la chimie de l'ADN, qui ont "fortement stimulé la recherche biochimique fondamentale et donné lieu à de nouvelles applications en médecine et en biotechnologies".

Kary B. Mullis, docteur ès sciences de la Jolla (Californie), est l'inventeur de la méthode PCR (polymerase chain reaction). Mise au point en 1983, cette méthode d'amplification des gènes permet de synthétiser rapidement un nombre illimité de copies de gènes, et ceci simplement dans un tube à essai, avec quelques réactifs usuels et une source de chaleur\*. C'est notamment grâce à la PCR qu'ont été réalisés des tests rapides de diagnostics de maladies génétiques ou de détection de virus comme le VIH.

Pour sa part, Michael Smith, professeur de l'université de Colombie britannique (Vancouver, Canada), a inventé, en 1978, la méthode de mutagenèse dirigée, qui permet de reprogrammer le code génétique et, de cette manière, changer les acides aminés des protéines. On peut ainsi fabriquer des protéines ayant les propriétés désirées, créer par exemple des semences à croissance rapide, élaborer des anticorps pouvant attaquer des substances cancéreuses...

\*Avant cette découverte, les copies de gènes étaient réalisées par des bactéries chargées de multiplier les bouts de gènes introduits dans leur patrimoine génétique, opération aussi lente que laborieuse.

## ÉLECTION À L'ACADÉMIE DES SCIENCES

L'Académie des sciences a élu récemment de nouveaux membres

Notons :

- *En chimie organique et organométallique* : Jean-François Normant, professeur à l'université Pierre et Marie Curie, Laboratoire de chimie des organo-éléments.

- *En science de la terre* : Hubert Curien, ancien ministre de la Recherche et de la Technologie, puis de la Recherche et de l'Espace, président du CERN à partir de 1994.

## UN FULLERÈNE RAYE LE DIAMANT

Une collaboration entre l'Institut Vereshchagin de Troitsk, province de Moscou, le Laboratoire de chimie physique des matériaux amorphes (CPMA, unité associée CNRS-université Paris XI, Orsay), le Laboratoire de chimie (unité associée CNRS-ENS, Paris) et le Laboratoire de chimie physique de la Faculté de pharmacie de Tours s'est établie pour étudier les transformations des fullerènes et, en particulier, du  $C_{60}$  sous de très hautes pressions (jusqu'à 40 GPa, c'est-à-dire environ 400 000 atmosphères) couplées à de fortes contraintes de cisaillement.

Dans le cas du  $C_{60}$ , un tel traitement conduit à la formation vers 20 GPa d'un dérivé amorphe, transparent, probablement un polymère de  $C_{60}$ , qui a la propriété de rayer le diamant. On peut penser que ce composé annonce une nouvelle classe de matériaux ultradurs.

Outre leur intérêt académique, de tels matériaux ont une importance considérable dans nombre d'applications, que ce soit pour l'abrasion ou pour garnir des outils de coupe ou les trépan utilisés pour les forages pétroliers.

Référence : V. D. Blank, S. G. Buga, M. U. Popov, V. A. Davydov, V. Agafonov, R. Céolin, H. Zwart, C. Fabre, A. Rassat, *Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki*, sous presse.

H. Szwarc, R. Céolon, CPMA, Orsay.  
Tél. : (1) 69.41.75.84.

## GRAND PRIX 1994 DE LA FONDATION DE LA MAISON DE LA CHIMIE

Le Jury du Grand Prix de la Fondation de la Maison de la Chimie, présidé par Georges Roques, président de la Fondation, a décerné le prix 1994 au professeur Mark Vol'Pin pour ses travaux sur l'activation des molécules inertes et particulièrement de l'azote moléculaire.

Né le 23 mai 1923, Mark Vol'Pin est directeur de l'Institut Nesmeyanov pour les composés organométalliques, un Institut de l'Académie des Sciences de Russie. Docteur ès sciences, Mark Vol'Pin est membre de cette Académie depuis 1987 et de l'Académie Europa depuis 1991.

Il est connu pour ses travaux dans le domaine de la fixation de l'azote moléculaire, de l'activation des hydrocarbures saturés et du gaz carbonique, de la chimie organométallique, de la catalyse homogène, de la chimie des composés aromatiques non benzénoides.

Principales distinctions honorifiques du lauréat : Prix Lénine en science en 1963, Médaille d'argent de la Royal Chemical Society en 1980, Prix de science de l'État soviétique en 1982, Médaille d'or Nesmeyanov et Prix de l'Académie des sciences d'URSS en 1982.

D'une valeur de 150 000 F, ce prix est décerné tous les deux ans. Il sera remis au lauréat lors d'une séance solennelle qui se déroulera à la Maison de la Chimie à Paris, le 25 janvier 1994 à 17 heures.

## PRIX 1994 "SCIENCES POUR L'ART"

Chaque année, le groupe LVMH Moët Hennessy-Louis Vuitton récompense des chercheurs scientifiques sélectionnés au plan mondial pour l'impact, direct ou indirect, de leurs découvertes sur la création artistiques ou esthétique.

Le thème pour 1994 concerne les comportements imprévisibles de la matière.

Deux prix de 100 000 francs chacun seront attribués :

- le prix scientifique qui récompense les recherches fondamentales sur la matière productrice de l'effet sensoriel ou sur sa perception par le sens,

- le Prix innovation qui récompense la recherche appliquée et s'adresse à un large éventail de professions.

Date limite de dépôt des dossiers de candidature : 29 janvier 1994,

LVMH Moët Hennessy-Louis Vuitton,  
*Science for Art, Direction du développement, 30, avenue Hoche, 75008 Paris.*  
Fax : (1) 44.13.22.23.

# Fiche logiciel n°5

## A-MCI

Auteurs et/ou diffuseurs : [LCS Talence](#)

### RESSOURCES

A-MCI est opérationnel sur PC et compatibles  
Modèles PC XT, AT, PS  
Système MS Dos, MS Dos +, Windows, OS/2  
Disque dur avec 3 Mo disponibles  
Logiciels associés ou complémentaires : compilateur C ou C++

### RÉALISATION

Auteurs : Josik Portier (Laboratoire de chimie du solide)  
Langage utilisé : C  
Volume des instructions : 2 220 lignes (1 621 Ko avec les fichiers de données)  
Date de début du projet : 1985  
Date de la dernière version : 1993  
Organismes ayant participé au financement : CNRS  
Investissement humain : 6 hommes/mois  
État du logiciel : prototype  
Développements prévus : portage sous Unix

### DIFFUSION

Contactez Josik Portier au LCS (tél. : 56.84.62.92)  
Format : binaire, source  
Support de diffusion : disquette type 3" 1/2, 5" 1/4, gratuite  
Suivi du produit : maintenance  
Obligations de l'acquéreur : citation  
Références d'installations : LCS sur réseau local  
Nombre d'installation : 5

### DOCUMENTATION

- Aide en ligne
- Plaquette de présentation
- Guide utilisateur

### ADRESSES

Laboratoire de chimie du solide, Université de Bordeaux I, 351, cours de la Libération, 33405 Talence Cedex. Tél. : 56.84.62.92.

# Fiche logiciel n° 5 - suite

## A-MCI

### MOTS CLÉS

Chimie inorganique  
Propriétés physico-chimiques

### DÉFINITION

Base de données relative à diverses propriétés de base des éléments, des ions et des composés (rayons ioniques, électronégativité, enthalpies de formation, structures, force acide de Lewis, énergies réticulaires, etc.)

### DESCRIPTION

La pratique quotidienne de la chimie inorganique nécessite l'utilisation de données de base relatives aux éléments, aux ions ou aux composés ; on peut citer les rayons des ions, l'électronégativité, les enthalpies de formation, les structures, etc. Ces informations sont dispersées dans des ouvrages et leur collecte exige souvent beaucoup de temps. L'objectif de A-MCI, acronyme de aide-mémoire de chimie inorganique, est de réunir ces données dans un logiciel unique facile à mettre en œuvre et à enrichir

Les données de ce type sont innombrables et le disque dur d'un micro-ordinateur ne suffirait pas à les stocker. Un choix à donc dû être fait. Cependant, l'utilisateur aura la possibilité de compléter les fichiers par ses propres données

A-MCI fonctionne sur PC ou compatibles. La présence d'un disque dur comportant environ 3 Mo d'espace disponible est indispensable si on désire utiliser l'ensemble du logiciel

Cependant, A-MCI étant composé de nombreux petits programmes autonomes, on pourra utiliser l'un d'entre eux indépendamment de l'ensemble ; dans ce cas un disque dur n'est pas essentiel

A-MCI comporte également quelques programmes graphiques ; l'utilisation d'une carte graphique (CGA ou de préférence VGA) est donc recommandée mais non nécessaire, la plupart des aide mémoire fonctionnant en mode texte

A-MCI utilise le système d'exploitation Dos. Il pourra également tourner avec l'interface graphique Windows. Il peut aussi fonctionner sous le système d'exploitation OS/2

Les sources des programmes sont également fournies. A-MCI étant écrit en langage C, il pourra facilement être recompilé pour fonctionner sous Unix, par exemple

## Évaluation de banques de données relatives aux substances toxiques

**Le recours à des banques de données est utile dans le domaine de pollutions toxiques du milieu aquatique. L'étude, résumée ci-après, a été réalisée par le Beture-Setame à la demande de six agences de l'Eau et du ministère de l'Environnement. Elle a pour but d'évaluer un certain nombre de banques de données.**

**Certaines sont relativement faciles à utiliser, mais lacunaires dans certains domaines, d'autres sont d'un maniement plus difficile, mais plus riche en données.**

Pour permettre une comparaison de ces sources d'information, la méthode de travail retenue par les agences de l'Eau a consisté à définir des situations (scénarios) considérées comme typiques de leurs interventions. Chacune de ces situations implique une décision éventuellement à plusieurs niveaux (intervenir oui/non, choix techniques,...). A partir des descriptifs de ces situations, il s'agit de définir puis de collecter les informations complémentaires nécessaires à la prise de décision sur la base des questions détaillées pour chacun des scénarios dans le cahier des charges. Les scénarios sélectionnés sont les suivants :

. *Impact* d'un rejet sur rivière ou station d'épuration (scénarios 1 à 3).

- S1 : rejet de métaux et de cyanures,
- S2 : rejet de cuivre en station d'épuration et en rivière,
- S3 : rejet de métaux et de micropolluants organiques pour partie sur station d'épuration et pour partie en rivière.

. *Instruction* d'un dossier d'aide à l'industrie en fonction de données écotoxicologiques (scénarios 4 à 6) :

- S4 : modification de production d'une papeterie, caractéristiques écotoxicologiques des additifs envisagés,
  - S5 : toxicité aiguë (test daphnie) de rejets de solvants organiques,
  - S6 : toxicité aiguë (test daphnie) de différents produits pouvant être utilisés dans des ateliers de traitement de surface.
- . *Évaluation* des risques, *mesures* à prendre en cas de pollution accidentelle (scénario 7).

### Banques de données utilisées

Les banques de données utilisables dans le cadre des objectifs de l'étude appartiennent à deux grands groupes, correspondant chacun à une approche documentaire radicalement différente.

On distingue :

- Des banques de données factuelles : elles sont organisées par produit ou substance et procurent pour chaque rubrique des données codées ou numériques issues d'une synthèse de publications. Ces données sont parfois validées par un comité d'experts.

- Des banques documentaires : elles sont organisées par références documentaires (articles, livres,...) et permettent d'identifier des publications éventuellement relatives à une substance, à son effet, ou toute autre information. L'accès par substance n'est pas obligatoire.

Cette distinction entraîne des modalités d'accès différentes.

Les six banques de données utilisées ont été analysées selon un plan en quatre points :

1. Présentation générale de la banque, en fonction de ses caractéristiques propres.
2. Procédures d'abonnement et de connexion, en insistant sur les aspects pratiques et les particularités des langages.

3. Utilisation et pertinence des réponses.
4. Modalités de tarification et coût des interrogations.

Il s'agit des banques suivantes :

- Fichier des polluants accidentels (FPA).
- HSDB (Hazardous Substance Data Bank).
- ECDIN (Environmental Data and Information Network).
- AQUIRE (Aquatic Information Retrieval).
- Chemical Abstracts sous STN.
- La Banque de données de l'OIEau (ex AFEE).

### Validation des scénarios

La validation des scénarios comporte l'analyse des résultats obtenus par exploitation des banques factuelles d'une part et des banques bibliographiques d'autre part. Cette validation passe par le renseignement manuel de fiches de validation (une par scénario). Ces fiches permettent d'attribuer à chaque réponse, issue de l'interrogation d'une banque pour une question donnée, une note de pertinence de 0 à 4 (cinq niveaux).

Le principe de construction de ces fiches est un tableau à double entrée, chaque tableau correspondant à un scénario (il peut y avoir plusieurs pages pour une même fiche). Une fiche comporte :

- en *colonne* : les différentes questions, par exemple, pour le scénario 1 on a les questions suivantes :

- colonne 1 : doses létales, doses, inhibitrices, NOEL,
- colonne 2 : effets sur flore bactérienne,
- colonne 3 : effet de bioaccumulation sur espèces supérieures (cyprinidés, salmonidés),

colonne 5 : adsorption sur MES, sédiments. Effets en rivière, sur terre agricole (épandage ou crues) ;

- en ligne : les différentes substances prises en compte dans le scénario, avec pour chacune une ligne par banque interrogée.

Pour le scénario 7, on a permuté lignes et colonnes pour des raisons pratiques.

La grille de lecture et de notation appliquée est la suivante :

Note 0 : produit non trouvé (absent de la banque) ou type d'information absent de la banque de données. Exemple : l'acide borique ne figure pas dans les fiches FPA. De même, le fichier FPA ne comporte pas de rubrique "bioaccumulation".

Note 1 : produit trouvé (présent dans la banque) mais rubrique non renseignée pour la question posée. Par exemple, dans la banque ECDIN, un sous-champ normalement présent mais absent dans un cas particulier est codé 1 car il manque seulement l'information dans ce cas.

Note 2 : produit trouvé, information présente mais non pertinente ou inexploitable. Exemple dans la banque HSDB, on trouve une information de bioconcentration pour l'espèce *Corbicula fluminea* (Asiatic clam), sans indication du milieu. Dans ce cas, on code 2 (cette espèce est marine mais on considère qu'une information de ce type est préférable à l'absence d'information ou de rubrique).

Note 3 : produit trouvé et information pertinente. Exemple : le fichier ECDIN traite d'embryon de truite et fournit une information de CL50 96 h pour le sulfate de cuivre, ce qui répond à la première question des scénarios 1 et 2. La case correspondante est codée 3.

Note 4 : produit trouvé et information abondante et pertinente. Par exemple, pour la question "toxicité létale, LC50", la banque AQUIRE a fourni 1121 réponses. Ce nombre est très élevé au

regard des résultats obtenus pour les autres banques de données (HSDB 12 citations et ECDIN 9). On a noté 4 pour la première et 3 pour les autres dans ce cas.

## Synthèse des résultats

### Présentation des notes attribuées aux banques par scénario

La méthode d'évaluation retenue a consisté à donner à chaque analyse une note en fonction de la plus ou moins grande pertinence des réponses. On a examiné les réponses de chaque banque interrogée, pour chaque scénario. Les notes attribuées (de 0 à 4) ont été sommées en trois groupes : total arithmétique, total des notes supérieures à 1, total des notes supérieures à 2. Ces groupes ont une signification particulière dans la mesure où :

- une note égale à 1 indique une rubrique prévue mais non remplie (la banque est donc perfectible),

- une note égale à 2 indique une rubrique renseignée, mais pour une référence proche de celle demandée : une espèce différente par exemple.

Par la suite, pour des raisons d'homogénéité, chaque total a été rapporté à une note sur 20, de manière à pouvoir comparer deux scénarios entre eux, le total des notes possibles dans chaque scénario étant différent.

### Scénario 1

Le scénario 1 est destiné à évaluer l'impact d'un rejet en rivière ou station d'épuration de différents métaux et de cyanure. Il comporte les métaux suivants : chrome, cuivre, cadmium, zinc, nickel, plomb, fer, manganèse, aluminium et étain. Avec le cyanure (CN totaux), le nombre de substances est de 11. L'analyse du scénario a permis de regrouper les questions en 5 rubriques : "Doses létales

et inhibitrices, NOEL", "Effets sur la flore bactérienne", "Effets de bioaccumulation sur macroinvertébrés, crustacés", "Incidence des phénomènes de bioaccumulation sur espèces supérieures (cyprinidés, salmonidés)", "Adsorption sur MES, sédiments, effets sur rivière, sur terre agricole (épandage, crue)".

La note maximale est donc de 220 points (5 questions x 11 substances x 4), qui a été ramenée à une note moyenne de 20.

Les résultats obtenus sont récapitulés dans le *tableau I*.

On constate qu'aucune banque n'atteint la moyenne, sauf STN/CA, testée sur une seule substance. Il est à remarquer que des réponses plus pertinentes pourraient être obtenues avec ce serveur, sous réserve d'interroger (ou de lier) plusieurs des banques qu'il offre. Toutefois, comme pour les autres banques factuelles, l'accès pour une substance peu précisée : chrome par exemple, ne permet pas l'identification de réponse. Chaque substance est en effet identifiée par un n° CAS qui requiert un anion accompagnant. De ce fait, les interrogations doivent être multipliées.

A cet égard, la structure de la banque FPA est plus intéressante, sauf que les rubriques sont la plupart du temps non renseignées.

Si l'on considère la qualité des réponses par question, les qualités propres de chaque banque figurent au *tableau II*.

En examinant plus finement les réponses, on constate que HSDB est parfois complémentaire à ECDIN : on obtient parfois des notes supérieures à 2 surtout pour des questions imprécises comme la question 5. Il est évident que le caractère factuel et de citation documentaire d'HSDB est là un avantage par rapport à une banque strictement factuelle. Il n'est pas possible de savoir si cette conclusion est ou non due à un manque d'habitude à l'interrogation d'ECDIN.

Tableau I - Scénario n°1 : synthèse des notes obtenues par les banques de données

Banques	Note moyenne totale (sur 20)	Note moyenne des notes > 1	Note moyenne des notes > 2	Commentaires
FPA	3,1	2,1	0,3	Rubriques manquantes (aspects écotoxicologiques).
HSDB	6,9	4,0	2,2	Présence de données très pertinentes, mais ne répond qu'à 20 % du scénario.
ECDIN	7,4	4,6	2,8	Présence de données très pertinentes, mais ne répond qu'à 25 % du scénario.
AFEE	5,6	2,2	0,0	La structure signalétique de la base implique la lecture des documents, d'où pas de note > 2.
CAS	11,0	10,0	0,0	Une seule substance traitée (coût excessif). Répond probablement à la plupart des questions.

Tableau II - Scénario n°1 : synthèse des réponses des banques de données aux questions

Rappel de la question	FPA	HSDB	ECDIN	AFEE	CA
Q1 (Doses létales, NOEL)	Rubrique prévue, rarement renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique prévue, le plus souvent renseignée	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q2 (Bactéries)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique non prévue	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q3 (Bio accumulation sur invertébrés)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q4 (Bio accumulation sur sp. supérieures)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q5 (Effets sur MES, sédiments)	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique non prévue	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée

La banque AFEE pourrait certainement apporter beaucoup si sa conception n'obligeait pas quasi automatiquement à consulter le document de base. De ce fait, elle ne peut constituer qu'une source documentaire complémentaire au scénario proposé.

**Scénario 2**

Le scénario 2 est un sous ensemble du scénario 1 dans la mesure où des questions similaires sont posées pour une seule substance : le cuivre. Pour ce scénario, une banque supplémentaire a été testée : AQUIRE. Cette banque est utilisée par l'agence de l'eau Artois- Picardie mais ne faisait pas partie des banques à utiliser. C'est toutefois le seul scénario où, du fait de la présence d'un seul métal, pouvant couvrir plusieurs substances (alors que dans le scénario 1 on n'a considéré que le seul sulfate de cuivre), toutes les banques ont été vues avec le même détail d'investigations.

Les notes pour ce scénario ne sont pas nécessairement les mêmes que celles obtenues pour le cuivre dans le scénario 1, l'approche étant légèrement différente (tableau III).

Dans ce cas particulier, l'accès à AQUIRE ou ECDIN, à défaut HSDB suffit. L'accès à l'AFEE suffit, à condition de comman-

Tableau III - Scénario n° 2 : synthèse des notes obtenues par les banques de données

Banque	Note moyenne totale (sur 20)	Note moyenne des notes > 1	Note moyenne des notes > 2	Commentaires
FPA	2,0	0,0	0,0	Rubriques manquantes (aspects écotoxicologiques. Réponses insuffisantes)
AQUIRE	14,0	10,0	10,0	Pas de données pour la Q5, sinon très complet et pertinent. Seule banque à atteindre la moyenne
HSDB	14,0	11,0	9,0	Présence de données très pertinentes, répond à 50 % du scénario
ECDIN	11,0	9,0	9,0	Présence de données très pertinentes, mais ne répond qu'à 40 % du scénario (manques sur Q5)
AFEE	7,0	4,0	0,0	La structure signalétique de la base implique la lecture des documents, d'où pas de notes > 2
CAS	10,0	8,0	0,0	A cause de de l'hyperspécialisation, n'apporte pas de réponse utile pour ce scénario

Tableau IV - Scénario n° 2 : synthèse des réponses des banques de donnée aux questions

Rappel de la question	FPA	AQUIRE	HSDB	ECDIN	AFEE	CA
Q1 (Doses létales, NOEL)	Rubrique prévue, rarement renseignée	Rubrique prévue, le plus souvent renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique prévue, le plus souvent renseignée	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q2 (Bactéries)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, le plus souvent renseignée	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique non prévue	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q3 (Bio accumulation sur invertébrés)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, le plus souvent renseignée	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q4 (Bio accumulation sur sp. supérieures)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, le plus souvent renseignée	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée
Q5 (Effets sur MES, sédiments)	Rubrique prévue, parfois renseignée	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique non prévue	Information souvent documentée, peu accessible	Rubrique prévue, parfois renseignée

Tableau V - Scénario n° 3 : synthèse des notes obtenues par les banques de données

Banques	Note moyenne totale (sur 20)	Note moyenne des notes > 1	Note moyenne des notes > 2	Commentaires
FPA	3,4	2,2	1,6	Rubriques manquantes (aspects écotoxicologiques).
HSDB	5,5	3,5	1,7	Performance sous-évaluée par suite de problèmes de nomenclature.
ECDIN	3,5	1,4	0,8	Performance sous-évaluée par suite de problèmes de nomenclature.
AFEE	5,4	0,7	0,0	La structure signalétique de la base implique la lecture des documents, d'où pas de notes > 2.
CAS	N.D.	N.D.	N.D.	Non utilisée

der au moins une dizaine de documents. Toutefois, pour des substances aussi courantes que les composés du cuivre, un bon manuel suffit. Ceci est confirmé par la synthèse des réponses des banques aux questions, reportée dans le *tableau IV*.

### Scénario 3

Le scénario 3 est destiné à évaluer l'impact d'un rejet en rivière ou en station d'épuration de différents métaux et polluants organiques. Il comporte les métaux suivants : arsenic, mercure, cadmium,

plomb, cuivre, chrome, étain, zinc, nickel, vanadium, soit 10 métaux. Les composés organiques sont les suivants : toluène, xylène, chloroforme, 1-2-dichloroéthane, trichloréthylène, phénol, méthylphénol, Lindane, Arochlor 1260, PCB 52, PCB 138, PCB 180, soit 12 substances.

Ce scénario est particulièrement complexe car les questions, regroupées après analyse du scénario forment les rubriques : "Solubilités de partage octanol-eau, coefficients de partage MES-eau", "Effets mutagènes et cancérigènes", "Effet sur la flore bactérienne", "Incidence des phéno-

mènes de bioaccumulation sur espèces supérieures (cyprinidés, salmonidés)", "Phénomènes d'interaction (synergie, antagonisme)".

Or, si certaines des substances (en admettant pour les métaux une forme de sel) ont une chimie relativement simple (cuivre, zinc, nickel), il n'en est pas de même pour l'arsenic, dont tous les composés sont toxiques, pour le mercure dont les formes organiques sont beaucoup plus toxiques que les formes salines et dont la méthylation en milieu réducteur est favorisée par la présence de plomb tétraéthyle. La plus

Tableau VI - Scénario n° 3 : synthèse des réponses des banques de données aux questions

Rappel de la question	FPA	HSDB	ECDIN	AFEE	CA
Q1 (Solubilité, coef. de partage)	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée ou produit non trouvé	Rubrique prévue, souvent renseignée ou produit non trouvé	Banque inadaptée à cette question	Non traité, mais banque spécialisée dans ce sujet
Q2 (Effets mutagènes et cancérigènes)	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique prévue, souvent renseignée ou produit non trouvé	Rubrique non prévue, données indirectes	Information souvent documentée, peu accessible	Non traité donc pas de données
Q3 (Effets sur flore bactérienne)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, souvent renseignée ou produit non trouvé	Rubrique prévue, souvent renseignée ou produit non trouvé	Information souvent documentée, peu accessible	Non traité donc pas de données
Q4 (Bio accumulation sur sp. supérieures)	Rubrique non prévue	Rubrique prévue, bien renseignée si le produit est trouvé	Rubrique prévue, bien renseignée si le produit est trouvé	Information très souvent documentée, moyennement accessible	Non traité donc pas de données
Q5 (Synergie, antagonisme)	Signalé de manière exceptionnelle	Rubrique prévue, bien renseignée si le produit est trouvé	Rubrique non prévue, données indirectes	Information très souvent documentée, moyennement accessible	Non traité donc pas de données

forte toxicité des formes organiques est également vraie pour l'étain.

Enfin, s'agissant des substances organiques certaines ont un nom chimique (toluène, xylène) même s'il ne correspond pas exactement à la nomenclature, alors que "Arochlor" est davantage un nom commercial, bien qu'un n° CAS soit attribué à l'Arochlor 1260.

Ces particularités ont amené un très mauvaise performance générale des banques spécialisées dans lesquelles certains produits n'ont pas pu être localisés, empêchant par là même toute information sur les données disponibles à leur sujet. Dans le cadre de l'étude, les investigations n'ont pas été poussées davantage car l'objectif est bien de savoir si un non-spécialiste peut ou non (moyennant la recherche de synonymes communs) identifier ou non une information (tableau V). En fait, il serait toujours possible de localiser l'information en recherchant dans plusieurs banques, et tout particulièrement en disposant de listes complètes de n° CAS, dans certains cas, seule voie d'accès aux banques de langue anglaise.

Les bases HSDB et ECDIN ont des notes 3 lorsque le produit a pu bien être circonscrit : mercure, cadmium, cuivre, toluène ou xylène par exemple. En revanche, même pour ces produits, on peut avoir (pour ECDIN) une note 0 si on n'a pas pu trouver la bonne entrée. Dans le cas de ces banques, en général très riches, il est vraisemblable que des moyens d'accès détournés devraient être trouvés.

La complexité du scénario 3 impliquerait, en recherche réelle, une synergie entre différentes sources documentaires ainsi qu'un travail préparatoire très minutieux.

Tableau VII - Scénario n° 4 : synthèse des notes obtenues par les banques de données

Banque	Note moyenne totale (sur 20)	Note moyenne des notes > 1	Note moyenne des notes > 2	Commentaires
FPA	2,2	1,6	1,2	3 substances manquantes, 1 non renseignée.
HSDB	5,4	4,6	3,8	Bonnes performances si le produit est trouvé.
ECDIN	2,4	1,0	0,6	Faible dans le domaine des données chimiques, produits non trouvés.
AFEE	0,0	0,0	0,0	Banque inadéquate pour cet objectif.
CAS	N.D.	Réputé correct	Réputé correct	Non utilisée

Tableau VIII - Scénario n° 6 : synthèse des notes obtenues par les banques de données

Banque	Note moyenne totale (sur 20)	Note moyenne des notes > 1	Note moyenne des notes > 2	Commentaires
FPA	1,5	0,8	0,0	10 substances sur 13 manquantes, 1 non renseignée.
HSDB	6,4	4,6	3,5	Performances moyennes à bonnes si le produit est trouvé.
ECDIN	2,4	1,9	1,2	Faible dans le domaine des données chimiques, produits non trouvés.
AFEE	0,8	0,0	0,0	Banque inadéquate pour cet objectif, n'apporte pas de compléments.
CAS	N.D.	Réputé correct	Réputé correct	Non utilisée

Une stratégie possible serait de s'appuyer sur FPA et STN/CA pour la partie nomenclature et données chimiques (ainsi que les réactions possibles, pour la partie synergie).

L'essentiel des recherches de données pourrait alors être effectué sur ECDIN ou AQUIRE, en complétant l'information sur HSDB et AFEE dont des documents sélectionnés pourraient alors être lus (tableau VI)

### Scénarios 4, 5 et 6

Les scénarios 4, 5 et 6 doivent pouvoir être traités par un ingénieur d'intervention d'agence de bassin, qui n'a qu'un temps limité à consacrer à la recherche documentaire. Aussi, la simplicité et la rapidité des interrogations sont des éléments capitaux. Par ailleurs, les réactifs mis en jeu peuvent être, soit des composés dont le nom courant est identique (ou proche) de la nomenclature (oxyde de titane, trichloroéthane), ou correspondant à une gamme générique à dénomination technique, par exemple : amidon cationique.

Selon le cas, l'information sera ou non obtenue en fonction de la seule capacité à trouver le synonyme et donc la dénomination rigoureuse, voire la traduction en anglais permettant d'approcher le synonyme ou la dénomination.

Les scénarios comportent respectivement 5 substances et 3 questions, 3 substances et 1 question, 13 substances et 3 questions.

Les réponses, scénario par scénario, sont regroupés au tableau VII

S'agissant des performances en termes de réponse aux questions, FPA et HSDB donnent des réponses similaires pour des données chimiques, mais HSDB (où la recherche est plus pénible) contient davantage de substances que FPA. ECDIN est pauvre dans ce domaine. FPA est non pertinent pour les toxicités.

Une recherche avec STN/CA donnerait de bons résultats, mais à un coût trop élevé pour des questions routinières. Elles pourraient constituer une banque interrogée a priori et dont les résultats seraient mis à disposition après mise en forme.

S'agissant du scénario 5, les résultats de HSDB se confirment : note de 16,7/20, pour les notes > 2 (ECDN 5 et FPA 0 dans les mêmes conditions). Dans le cas de FPA, il s'agit uniquement du fait que les rubriques prévues ne sont pas remplies. Ce scénario ne comportant qu'une substance, on n'a pas jugé possible de faire un tableau des notes moyennes.

S'agissant enfin du scénario 6, les performances s'analysent comme indiqué aux tableaux VIII et IX.

Tableau IX - Scénario n° 6 : synthèse des réponses des banques de données aux questions

Rappel de la question	FPA	HSDB	ECDIN	AFEE	CA
Q1 (Toxicités aiguës et long terme)	Produits non trouvés	Rubrique prévue, renseignée si le produit est trouvé	Rubrique prévue, renseignée si le produit est trouvé	Banque mal adaptée à cette question	Non traité donc pas de données
Q2 (Solubilités)	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique prévue, renseignée si le produit est trouvé	Rubrique prévue, renseignée si le produit est trouvé	Banque mal adaptée à cette question	Non traité, mais banque spécialisée de ce sujet
Q3 (Biodégradabilité)	Rubrique prévue, souvent renseignée	Rubrique prévue, renseignée si le produit est trouvé et organique	Rubrique prévue, renseignée si le produit est trouvé et organique	Banque mal adaptée à cette question	Non traité, mais banque spécialisée de ce sujet

Tableau X - Scénario n° 7 : synthèse des notes par les banques de données

Banque	Note moyenne totale (sur 20)	Note moyenne des notes > 1	Note moyenne des notes > 2	Commentaires
FPA	5,2	3,1	0,0	Rubriques mal renseignées, une substance manquante.
HSDB	6,6	5,0	0,9	Performances moyennes à bonnes si le produit est trouvé.
ECDIN	6,7	5,6	0,9	Performances moyennes à bonnes si le produit est trouvé.
AFEE	5,0	0,0	0,0	Banque inadéquate pour cet objectif, n'apporte pas de compléments.
CAS	5,0	5,0	N.D.	Estimé

Dans le cas de ce dernier scénario, seules les banques FPA et surtout HSDB (et probablement STN/CA pour partie) apportent des données pertinentes. En termes de données exploitables, aucune banque ne donne satisfaction car la mise en œuvre d'HSDB par un ingénieur d'intervention est pénible et paraît excessive. AQUIRE de son côté n'apporterait d'information que pour la question 1 des toxicités.

### Scénario 7

Le scénario 7 privilégie la fourniture de réponses utilisables dans le cas de pollutions accidentelles.

Il comporte 8 questions relatives à 4 produits. Il a été analysé en détail précédemment et la synthèse figure tableau X.

FPA est commode et rapide mais ne donne pratiquement pas d'information, sauf en ce qui concerne les aspects analytiques, ce qui ne correspond pas à son nom (fichier des polluants accidentels).

HSDB donne des réponses assez complètes, sauf pour les traitements des eaux, mais la base est peu exploitable pour obtenir des réponses rapides ; en revanche, certaines données y sont les plus approfondies et pourraient être exploitées moyennant un délai de 3 à 4 heures.

ECDIN donne des réponses complètes (trop?), sauf pour les traitements des eaux, le temps de consultation manuel est totalement prohibitif mais, avec le programme de traitement, le temps d'obtention des seules réponses pertinentes est

réduit à moins d'une heure pour les deux substances.

Les autres bases n'ont pas été analysées de ce point de vue. Seule STN/CA et associées pourraient apporter des réponses complémentaires pertinentes, mais à un coût certainement prohibitif.

En pratique, on ne peut imaginer une procédure de recherche de réponse d'urgence que si et seulement si une préparation rigoureuse des interrogations est prévue, préparation qui implique l'amélioration de certaines procédures et une formation ad hoc des opérateurs.

## Évaluation globale

Il s'avère clairement qu'aucune banque de données répond de manière satisfaisante à une situation réelle (sauf HSDB, scénario 5). En fait, les banques testées ont des intérêts complémentaires :

FPA : est bon marché, simple d'accès, structurée, mais pratiquement vide. Elle pourrait répondre à une grande partie des besoins si elles était complétée en nombre de rubriques, enrichie en substances et surtout que les rubriques soient renseignées.

HSDB : est relativement bon marché, peu structuré et très riche. L'absence de structuration en fait un outil de base ou un outil complémentaire. C'est la banque la mieux pourvue en informations "tout azimuts".

ECDIN : est relativement bon marché, bien structurée et très riche. La structuration permet de filtrer les résultats obtenus qui sinon seraient totalement inexploitable. Elle est mieux pourvue en informations biologiques que HSDB.

AQUIRE : est relativement bon marché, bien structurée et très riche. La structuration permettrait de filtrer les résultats obtenus qui sinon seraient totalement inexploitable. Elle est la plus complète en informations biologiques mais ne comporte pas de données d'environnement général des substances. Elle ne peut donc pas constituer une banque de remplacement.

AFEE : comporte beaucoup d'informations de base. C'est principalement un outil de constitution de banques plus élaborées, notamment en ce qui concerne les aspects des interactions environnementales des substances. Mais cela implique un gros travail de dépouillement, d'autant plus que l'option "signalétique"\* des microrésumés oblige à remonter au document.

STN/CA : Cette banque comporte la plus grande richesse d'informations purement chimiques et de chimie industrielle. Elle est en revanche très complexe d'approche et excessivement coûteuse\*\*. Il est toutefois clair que certaines informations, parfois nécessaires, ne peuvent être trouvées que sur ce serveur. Son accès doit faire l'objet d'une centralisation vers un organisme très bien formé, les procédures et l'habileté à questionner étant une conditions essentielle d'économie.

Résumé du rapport : Miren Helou

Agences de l'Eau - Secrétariat : Office International de l'Eau, 21, rue de Madrid, 75008 Paris. Tél. : (1) 45.22.14.67. Fax : (1) 40.08.01.45. Étude disponible dans les agences de l'eau au prix de 160 F.

\*Cette critique de l'option citée n'a de valeur que dans le contexte de l'analyse des besoins des agences et dans le strict cadre de l'étude. Cette option présente par ailleurs de nombreux avantages qui ne sont pas développés ici.

\*\*Une bonne partie des interrogations sur cette banque n'ont pas été effectuées pour des raisons budgétaires. Par ailleurs, il ne serait pas raisonnable, dans le contexte réglementaire des agences de préconiser l'usage ouvert d'un service très cher payé après coup.

# EN BREF

## RISQUES DE CANCER AUX FAIBLES DOSES

Le Centre International pour une Écologie Scientifique (CIES, cf. L'Actualité Chimique, 1993, n°1 p. 70) a organisé le 10 mai 1993 à Paris un séminaire international qui a réuni 72 cancérologues, épidémiologistes, chimistes, biomathématiciens et médecins pour discuter la question suivante :

"Est-ce que le concept de la relation dose-effet linéaire reste un modèle valable pour l'évaluation du risque lié aux faibles doses de cancérogènes ?"

Ce séminaire était présidé par le Pr. Bruce N. Ames, directeur du Centre National des Sciences de la Santé et de l'Environnement (Berkeley, États-Unis). Les scientifiques présents ont adopté, par consensus, la déclaration suivante que

nous reproduisons avec l'autorisation du CIES\*

**Les évaluations actuelles du risque de cancer basées sur l'extrapolation depuis les fortes doses vers les faibles doses sont scientifiquement non fondées.**

. Les causes vraisemblables de cancer chez l'homme deviennent de mieux en mieux connues. Les principales sont le tabac, les régimes déséquilibrés, certains états infectieux chroniques et des facteurs génétiques. En outre, l'exposition au soleil et les expositions professionnelles peuvent être responsables d'un faible pourcentage des cancers humains.

La pollution semble n'avoir qu'une incidence mineure (sensiblement moins de 1 %). Pourtant, les préoccupations du public en matière de pollution sont très

importantes en grande partie à cause des tests de cancérogénèse chez l'animal.

. De faibles niveaux d'agents cancérogènes d'origine naturelle sont omniprésents dans l'environnement, dans l'air que nous respirons et dans la nourriture que nous consommons. Aussi est-il impossible d'imaginer qu'on puisse assurer à l'homme des conditions d'exposition absolument nulle à de telles substances chimiques ou aux radiations naturelles. Le risque zéro ne peut pas être atteint.

. Les progrès importants réalisés dans les techniques d'analyse et de mesure permettent aujourd'hui la mise en évidence de concentrations extrêmement faibles, souvent un million de fois plus faibles qu'il y a 20 ans, de toutes substances, aussi bien d'origine naturelle que produites par l'homme.

. Les tests de cancérogénèse chez l'animal, qui sont effectués à la dose maximale tolérée (DMT), conduisent à des interprétations fausses selon lesquelles des substances chimiques trouvées cancérogènes à de fortes doses sont susceptibles d'être cancérogènes à de faibles doses chez l'homme. Ils sont effectués généralement à partir de substances chimiques de synthèse et des polluants industriels ; cependant, la moitié des substances chimiques naturelles qui ont été testées à la DMT se sont révélées cancérogènes pour les rongeurs. Une explication vraisemblable de cette fréquence élevée de résultats positifs dans les tests de cancérogénèse sur l'animal est due à la mort cellulaire induite et à sa compensation par la prolifération cellulaire. Cet effet aux fortes doses n'intervient pas aux doses faibles. En tout cas, 99,99 % des pesticides que nous absorbons sont présents à l'état naturel dans les plantes pour les protéger des insectes et des autres prédateurs. Plus de la moitié de ces pesticides naturels, testés sur l'animal à des doses élevées, se révèlent cancérogènes chez les rongeurs. Réduire notre propre exposition aux 0,01 % restants, des substances chimiques pures ou en mélange, à la fois est extrêmement coûteux et ne réduit pas l'incidence du cancer.

. La raison pour laquelle nous pouvons consommer une extraordinaire variété de substances chimiques naturelles cancérogènes pour les rongeurs tient au fait que les animaux sont extrêmement bien défendus contre toutes les substances chimiques par de nombreux systèmes généraux de défense, dont la plupart sont induits (beaucoup d'entre eux se déclenchent quand ils sont sollicités). Ils ont une efficacité égale contre les substances chimiques naturelles et synthétiques. Aussi, les animaux sont très bien défendus aux basses doses. On ne doit pas s'attendre, et d'ailleurs on ne trouve pas de différence générale de cancérogénocité entre les substances chimiques synthétiques et naturelles.

. Une proportion importante de cancérogènes chez les rongeurs ont vraisemblablement une dose seuil en dessous de laquelle on n'observe aucun effet pathologique. Les scientifiques doivent définir les mécanismes cancérogènes propres à chaque substance. Les niveaux acceptables doivent être révisés en fonction de l'avancement de notre compréhension de ces mécanismes. Le risque doit être estimé en se référant aux preuves disponibles et non pas en s'appuyant sur la politique du pire.

. Les méthodes mathématiques utilisées pour extrapoler aux faibles doses les effets observés sur l'homme et l'animal à des concentrations élevées de cancérogènes, basées sur la linéarité, ont conduit à des prévisions de mortalité très largement exagérées. Ces méthodes n'ont jamais été vérifiées grâce à l'expérimentation clinique. L'idée qu'il existe une "épidémie" de cancers causés par les substances chimiques synthétiques d'origine industrielle est fautive. L'élévation constante de l'espérance de vie dans les pays développés fournit une preuve supplémentaire de cette erreur. C'est le progrès constant de la recherche scientifique et de la technologie qui continuera à allonger l'espérance de vie et à améliorer le bien-être des hommes.

. Ceux qui ont la responsabilité de légiférer ne doivent pas négliger les risques et les coûts entraînés par leurs décisions.

Les "faux positifs" (substances supposées, à tort, de causer des cancers à faible dose) compromettent en fait la santé dans la mesure où elles détournent, d'usage plus utile, les ressources et conduisent à une réduction de notre standard de vie. Il y a compétition entre les risques : la société doit distinguer entre les vrais risques et les risques hypothétiques.

*\*Centre International pour une Écologie Scientifique, 10 avenue de Messine, 75008 Paris. Tél. : (1) 45.62.20.03. Fax : (1) 45.80.00.50.*

#### ENTREPRISES POUR L'ENVIRONNEMENT : PREMIERS RÉSULTATS

Créée le 5 mars 1992, Entreprises pour l'Environnement a rendu publics les premiers résultats des actions engagées.

#### Réhabilitation du site pollué de Sermaise

Dès le 30 mars 1992, Entreprises pour l'Environnement signait avec l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) un accord qui l'engageait notamment à contribuer, à hauteur de 15 millions de francs par an, à la remise en état de sites pollués pour lesquels aucun responsable solvable n'avait pu être identifié.

Les travaux de réhabilitation du site de Sermaise (Essonne), financés à 45 % par Entreprises pour l'Environnement, ont pu débuter dès le mois de juillet 1992.

En 1993, Entreprises pour l'Environnement apporte sa contribution à la deuxième phase de la réhabilitation de Sermaise, et à la première tranche de la friche industrielle Rodanet à Ballancourt (Essonne).

#### Vers une société plus respectueuse de l'environnement

Au-delà de sa contribution à la réhabilitation de certains sites pollués, Entreprises pour l'Environnement s'est donné pour mission de mobiliser l'ensemble des acteurs, et en particulier les entreprises, en partenariat avec l'administration et le monde des élus, sur les problèmes d'environnement en général.

L'un des objectifs majeurs de l'association est, notamment, de faire progresser le management des problèmes d'environnement. Elle doit pour cela contribuer à mettre au point des outils d'analyse, de jugement, d'aide à la décision, qui soient pertinents et incontestés par les professionnels comme par le grand public.

C'est dans cet esprit que les membres d'Entreprises pour l'Environnement ont mené, au sein de commissions spécialisées, des travaux qui ont déjà débouché sur des initiatives et des projets :

1/ Création d'une méthodologie pour déterminer les véritables priorités écologiques.

2/ Mise au point, puis publication en novembre 1993, d'un ouvrage de référence sur les instruments de gestion de l'environnement les plus efficaces.

3/ Contribution à la mise en œuvre d'un système d'information sur l'environnement (SIE).

Plusieurs expériences pilotes seront mises en place (agglomération, département, région) dont l'une pourrait être lancée avant la fin de l'année 1993.

4/ Réalisation d'un module d'information, de sensibilisation et de formation à l'environnement (MISE). Il est destiné aux agents d'exécution, de maîtrise, aux techniciens et aux cadres. Il sera disponible dès décembre 1993.

5/ Mise au point de données techniques et scientifiques dont l'importance peut être considérable pour le développement économique des entreprises, sur des questions telles que :

. dépenses publiques de R & D en environnement dans un certain nombre de pays ;

. état de l'art dans l'incinération/valorisation thermique des déchets ;

. méthodologie de réhabilitation des sols.

6/ Propositions d'adaptation et d'amélioration

ration du système actuel d'assurance des entreprises en responsabilité civile face aux risques de pollution, en fonction des récentes évolutions jurisprudentielles et réglementaires internationales.

Une étude de faisabilité d'un nouveau système de garantie est en cours et pourrait déboucher sur une mise en œuvre dès le second semestre 1994.

*Entreprises pour l'Environnement, 5, Esplanade Charles de Gaulle, 92733 Nanterre Cedex. Tél. : (1) 47.24.64.55. Fax : (1) 47.24.61.77.*

## DÉFORESTATION

Une part importante de la croissance du taux de gaz carbonique dans l'atmosphère est attribuée à la "déforestation", notamment à la disparition de la forêt tropicale amazonienne. Cette question n'est pas la plus claire parmi toutes celles actuellement fréquemment évoquées par l'écologie militant (*cf L'Actualité Chimique, 1993, n°1, p.36*)

La revue *Science* a publié (vol. 260, 25 juin 1993, p. 1905) les résultats d'une étude sur la disparition de la forêt en Amazonie entre 1978 et 1988, étude réalisée par examen de 210 photographies prises par satellite. La principale conclusion est, certes, une confirmation du phénomène, mais à une vitesse nettement plus faible que les estimations précisément publiées : 15 000 km<sup>2</sup>/an (au lieu de 50 à 80 000 km<sup>2</sup>/an). Le World Resources Institute avait publié en 1990, en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (l'estimation la plus pessimiste, soit 80 000 km<sup>2</sup> détruits chaque année en Amazonie, soit la moitié de la déforestation mondiale (estimée à 165 440 km<sup>2</sup>/an). Les auteurs de l'article de *Science* (D. Skole et C. Tucker) ajoutent qu'il faut de plus tenir compte que beaucoup de zones forestières détruites (non précisées) sont le siège d'un reboisement qui absorbe le gaz carbonique de l'atmosphère beaucoup plus qu'une forêt à l'équilibre.

Il est dommage que cet article n'aille pas jusqu'à recalculer l'impact supposé de la déforestation sur l'"effet de serre".

R.H.

humaine détruisant la couche d'ozone continuent d'augmenter, mais à une vitesse beaucoup plus lente que par le passé. C'est ce que révèle une étude américaine de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

Une équipe de scientifiques dirigée par Elkins a étudié la croissance troposphérique des deux composés CFC 11 et CFC 12 au cours des 15 dernières années, en analysant plus de 4 980 échantillons d'air soigneusement confinés et en collectant des données fournies par les stations de surveillance de la NOAA installées en Alaska, à Hawaï, aux Samoa américaines et dans l'Antarctique, ainsi que par d'autres organismes partenaires du Colorado, du Canada et d'Australie.

Entre 1977 et 1984, le taux de croissance globale moyen était d'environ 9 parts par trillion par an (ppt/a) pour le CFC 11 et d'environ 17 ppt/a pour le CFC 12. Entre 1985 et 1988, ce taux est passé à environ 11 ppt/a pour le CFC 11 et à environ 20 ppt/a pour le CFC 12, reflétant la plus grande utilisation de ces deux produits.

Depuis 1988, en revanche, c'est-à-dire juste après la première signature du Protocole de Montréal, les taux de croissance ont décéléré rapidement, a noté l'équipe de chercheurs. En mars de cette année, la croissance globale était à 3 ppt/a pour le CFC 11 et à 11 ppt/a pour le CFC 12.

L'accord international signé par 24 pays lors d'une conférence organisée en 1987 à Montréal appelait à réduire de moitié la production des CFC jusqu'en l'an 2 000. Plus récemment, ces pays et d'autres se sont mis d'accord pour arrêter la production en 1996. Il restera cependant une production limitée pour des applications essentielles, telles que les inhalateurs médicaux, et des dérogations pour certains pays en voie de développement.

*DuPont de Nemours Int., Vivian Sheridan, CP 50, CH-1218 Grand-Saconnex/Genève, Suisse. Tél. : +41 22 717 52 74. Fax : +41 22 717 60 77.*

## ELF ATOCHEM : UNE GAMME COMPLÈTE DE SUBSTITUTS DES CFC.

Cette gamme de substituts des CFC est commercialisée sous la marque Forane. De nouvelles solutions sont en développement constant afin d'offrir aux clients l'éventail de substituts le plus diversifié possible.

Forane 134a : En 1992, Elf Atochem a démarré une unité de 9000 t sur le site de Pierre-Bénite, en France, la plus impor-

tante d'Europe. De plus, la construction d'une unité de 18 000 t est programmée à Calvert City aux États-Unis ; son démarrage est prévu pour 1995.

Forane 143a : En mai 1993, Elf Atochem a lancé une production industrielle de Forane 143a à Calvert City. Cette unité a bénéficié des apports technologiques de l'atelier 141/142b déjà existant.

Forane 125 : Elf Atochem fabriquera début 1994 des Forane 125 en Europe. La production industrielle démarrera en 1995.

Forane 32 : Elf Atochem exploite une unité pilote de Forane 32 sur le site de Pierre-Bénite. La production industrielle est prévue en Europe pour 1995.

Distinction :

Cette société a reçu le 26 octobre le trophée Gestion de l'Environnement, remis par le ministère de l'Environnement. Elle a été sélectionnée à la suite d'une enquête sur la politique environnementale de l'entreprise, réalisée auprès des 2000 premières entreprises implantées en France.

*Elf Atochem, 4, cours Michelet La Défense 10, Cedex 42, 92091 Paris-La-Défense. Tél. : (1) 49.00.70.29. Fax : (1) 49.00.80.50.*

## DÉCONTAMINATION DES ÉMISSIONS GAZEUSES

Air Products a livré à ce jour en Europe 35 systèmes de récupération des solvants fonctionnant sur le principe de la condensation et destinés aux technologies d'induction et au domaine médical. Ces systèmes sont connus sous le nom Cryocondap(R) (en Grande-Bretagne Cryosolve).

Cette expérience a permis de développer un système doté de différents composants standard, qui constitue la solution idéale aux problèmes d'émissions gazeuses dans l'industrie chimique.

Les émissions résultant de réactions et de procédés de distillation sont inférieures aux valeurs de la législation allemande "TA-Luft".

Pour atteindre des valeurs de pureté conformes à l'air TA par condensation ou réfrigération, le procédé Cryo-Condap(R) utilise, entre autres, l'azote liquide. Comme ce dernier n'entre pas en contact avec les émissions gazeuses, il peut ensuite être employé à l'état gazeux pour d'autres procédés.

*Air Products, Tour Pleyel, Centre Paris Pleyel, 93521 Saint-Denis Cedex. Tél. : (1) 48.09.74.38. Fax : (1) 48.09.75.48.*

## RALENTISSEMENT DE LA CROISSANCE DES CFC DANS L'ATMOSPHÈRE

Les concentrations dans l'atmosphère de deux produits chimiques d'origine

**INCINÉRATION PROPRE**

L'injection sèche de bicarbonate de sodium Bicar dans les fumées d'incinérateurs des déchets ménagers permet :

- d'atteindre des taux d'épuration des fumées très élevés (supérieurs à 98 % pour l'acide chlorhydrique et à 95 % pour le dioxyde de soufre), ce qui garantit au minimum le respect des normes européennes relatives aux fumées rejetées par les incinérateurs,
- d'obtenir des sels résiduels sodiques, recyclables par l'industrie chimique après épuration,
- de réduire presque totalement les déchets ultimes à mettre en décharge de classe 1.

Solvay a décidé de développer en France l'utilisation de ces nouvelles technologies en partenariat avec la Compagnie Générale de Chauffe, en créant une structure commune, le GIE ERG-service.

Ce GIE proposera aux exploitants français d'incinérateurs d'ordures ménagères des collectivités territoriales un service global de traitement des fumées d'incinération d'ordures ménagères, basé sur l'utilisation du bicarbonate de sodium, Bicar.

*Solvay France, 12, cours Albert 1er, F-75383 Paris Cedex 08. Tél. : (1) 40.75.80.00. Fax : (1) 45.63.57.28.*

**INCINÉRATION PAR L'UNITÉ MOBILE D'INCINÉRATION (UMI)**

Le procédé d'incinération de l'UMI consiste à disperser le déchet à incinérer, liquide ou solide broyé, dans une solution aqueuse contenant un agent tensioactif - ainsi qu'un argent carburant le cas échéant - à la transformer en mousse faiblement pressurisée, et ensuite à la transférer dans un four cyclone fonctionnant à l'oxygène, en vue de sa destruction. Mousse, oxygène, four cyclone peuvent, selon les objectifs poursuivis lors de la destruction des déchets, être pris ensemble et séparément.

La mobilité de l'UMI constitue également un élément essentiel dans l'intérêt du procédé.

Les procédés s'étendent à de nombreux types de déchets :

- déchets à broyer sous eau pour des motifs de sécurité,
- déchets liquides multiples non miscibles, de viscosités variables, co-incinérables éventuellement avec des solides dispersés,

- déchets difficiles à transférer par des techniques de pompage classiques,
  - déchets à bas pouvoir calorifique,
  - déchets, dont le traitement des fumées conduit, en cas d'incinération à l'air, à des installations importantes et coûteuses,
  - déchets nécessitant de hautes températures pour leur postcombustion.
- Face à une stratégie de traitement total des déchets sans tri ni manutention, qui reste trop aléatoire pour être éventuellement industrielle, STMI et ses partenaires ont opté pour une solution de "fluidification" ou pseudo-homogénéisation des déchets. Comme le coût d'exploitation est estimé aux environs de 3000-3500 F/m<sup>3</sup>, ce procédé s'adresse à des déchets spécifiques, à forte toxicité dont le traitement doit conduire au respect des nouvelles normes de rejet dans l'environnement.

*Renseignements : Lexeme, Anne Texier, Bertile Verdillon. Tél. : 78.92.98.93. Fax : 78.42.17.98.*

**ANALYSEUR DE NITRATE DANS LES EAUX POTABLES**

La division Polymetron de Zellweger propose un nouvel analyseur de nitrates dédié à la mesure en continu dans les eaux potables (eaux souterraines, procédés de dénitrification, mélange de plusieurs sources de concentrations différentes).

Le principe de fonctionnement de l'analyseur de nitrates 8893 repose sur une réduction préalable des nitrates en nitrites sur une colonne de zinc, puis sur une analyse ampérométrique des nitrites formés. Cette méthode a été choisie car elle offre une mesure d'excellente qualité pour un coût d'acquisition et de maintenance faible. Les principaux avantages de l'analyseur sont les suivants :

- Méthodes ampérométrique à potentiel réglé (3 électrodes) donnant une grande stabilité de la mesure.
- Autonettoyage de l'électrode de mesure.
- Compensation automatique de la température d'échantillon.
- Choix de la gamme de mesure : 0-50 mg/l, 0-100 mg/l, 0-200 mg/l.
- 3 alarmes : seuil bas et haut, alarme système (défaut appareil).
- Vraie calibration automatique (sélection connue en nitrates).
- Reproductibilité et précision < 2 %.
- Autonomie d'un mois de l'analyseur sans intervention ni entretien.

*Zellweger Division Polymetron, 33, rue du Ballon, 93166 Noisy le Grand Cedex. Tél. : (1) 43.05.70.00. Fax : (1) 43.05.77.08.*

**CLUB CRIN ENVIRONNEMENT : INVENTAIRE**

Au sein du club CRIN Environnement, présidé par Paul-Henri Bourrelier, un groupe de travail est consacré à l'écotoxicologie. Celui-ci, animé par Roger Cabridenc, directeur scientifique de l'Ineris, s'est attaché à dresser un inventaire des besoins de l'industrie française dans ce domaine. Une seconde partie de ses travaux fera bientôt le point sur l'éventail des prestations offertes par les laboratoires français, tant publics que privés.

Les participants ont également insisté sur la nécessité d'organiser une meilleure concertation autour des programmes nationaux et européens en matière d'écotoxicologie et de fournir plus de moyens financiers aux experts français participant aux négociations communautaires, à la demande des pouvoirs publics.

*Roger Cabridenc, INERIS, Parc technologique Alata, BP 2, 60550 Verneuil-en-Halatte. Tél. : 44.55.63.18. Fax : 44.55.66.99.*

**AQUALYS, PEINTURES DANS LE RESPECT DE L'ENVIRONNEMENT**

Diluable à l'eau et sans odeur, Aqualys se décline en quatre produits : Aqualys Brillant tendu pour application en extérieur ou intérieur, Aqualys Velours poché, Aqualys Satin tendu et Aqualys Mat monocouche en intérieur unique-ment.

D'une mise en œuvre simplifiée, Aqualys s'applique à la brosse, au rouleau ou au pistolet directement sur les supports préparés ou sur une couche d'impression Lisseprim pour les supports absorbants ou anciens. Sa consistance thixotropique lui assure une application aisée, sans coulure ni reprise.

Bien que diluable à l'eau, Aqualys de Beissier s'affirme tout aussi performante qu'une peinture en phase solvant. Rapidement sèches, les quatre versions de la gamme présentent une remarquable résistance aux diverses agressions (un atout non négligeable dans les lieux très fréquentés) et bénéficient d'une excellente lessivabilité. De plus, les outils et machines peuvent être nettoyés à l'eau aussitôt après leur utilisation.

*Beissier, 125, bis rue de Reuilly, 75012 Paris. Tél. : (1) 44.74.81.00. Fax : (1) 43.47.37.81.*

# HISTOIRE DE LA CHIMIE



R.B. Woodward  
1979  
(document Crystal Woodward)

## Le rôle du plaisir esthétique ou l'art dans la chimie organique dans l'œuvre de R. B. Woodward

Crystal Woodward\*

### Avertissement

Le document ci-dessous est tout à fait exceptionnel : c'est un témoignage qu'apporte la fille de R.B. Woodward sur son père. Non pas un simple témoignage biographique, mais une analyse artistique de la démarche de ce chimiste exceptionnel.

Crystal Woodward l'a écrit dans un français merveilleux, auquel nous n'avons apporté que de très légères retouches, qu'elle a approuvées. Nous n'avons de même modifié en rien certains passages, que des chimistes de profession auraient sans doute souhaité corriger, notamment, dans la citation de Frank Westheimer (la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle n'a vraiment pas été aussi pauvre en synthèses qu'il le dit, et p. ex. la synthèse biomimétique de la tropinone par Robinson reste un modèle de simplicité et de beauté). Mais l'essentiel n'est pas là : il est dans le témoignage et dans l'originalité de l'analyse.

Le Dr Crystal Woodward est spécialiste de l'art en psychothérapie. Elle s'intéresse aux problèmes des langages non verbaux et à la psychologie des processus de création, et elle a développé, en analyse artistique, un système de "langage visuel". Elle montre son attachement à notre pays puisqu'elle y exerce son activité d'artiste et d'enseignante. Nous la remercions de nous avoir confié ce manuscrit.

N.B. On trouvera quelques pages intéressantes sur une exposition itinérante préparée, par le Beckman Center for the History of Chemistry de Philadelphie: "Robert Burns Woodward et l'Art de la Synthèse Organique", dans *Chem. & Eng. News*, 4 mai 1992, 21-23. Cette exposition n'a pas été présentée en France.

La Rédaction

Robert Burns Woodward (1917-1979) a reçu le prix Nobel de chimie en 1965 pour "sa contribution à l'art de la synthèse organique". Il a consacré sa vie à la chimie, et on a dit de lui qu'il était le plus grand chimiste organicien de son temps.

Né près de Boston aux États-Unis, il avait monté un laboratoire chez lui alors qu'il n'avait pas dix ans. Deux ans plus tard, il avait réalisé toutes les expériences décrites dans le "Gattermann", le manuel classique allemand de chimie organique expérimentale.

Robert Burns Woodward était mon père. Dans cet article, je me contenterai d'évoquer l'aspect artistique de son œuvre : comment l'art peut-il trouver sa place dans la chimie ? Quel était le rôle du plaisir esthétique dans le travail de Woodward ? Cependant, un obstacle nous rend difficile d'apprécier sa démarche : la chimie reste un monde clos pour le non-chimiste. Toutefois, un aspect important peut nous aider : la chimie elle-même reconnaît qu'elle ressemble à l'art. En 1860, Marcelin Berthelot écrivait, en parlant de la chimie et de la synthèse organique : "*La chimie crée son objet. Cette faculté créatrice, semblable à celle de l'art lui-même, la distingue essentiellement des sciences naturelles et historiques... Les sciences expérimentales ont le pouvoir de réaliser leurs conjectures...[elles] créent leur objet, en conduisant à découvrir par la pensée et à vérifier par l'expérience les lois générales des phénomènes*" [1].

Cent ans plus tard, Woodward a contribué à donner à ce propos un contenu réel. Si le chimiste, par sa pensée, crée son objet, qu'est-ce que cela implique quant aux rapports sujet-objet ? S'agit-il d'une interpénétration ? Comment cela est-il compatible avec les contraintes de l'objectivité scientifique ?

Dans la physique du XX<sup>e</sup> siècle, les concepts de complémentarité et d'incertitude ont eu un grand retentissement sur notre

\*École d'Art de Lacoste, 84710 - Lacoste.

conception de cette objectivité ; la physique dialogue avec la philosophie, pour élargir notre compréhension non seulement de la matière, mais aussi de l'esprit humain. Jusqu'à présent, la chimie organique est restée en dehors de ces discussions. Pourtant, une observation attentive de l'œuvre d'un maître dans son "art" peut montrer qu'elle ouvre également des perspectives sur nos façons de penser et de connaître le monde extérieur, et nous-mêmes.

Pour approcher cet univers qu'est la chimie organique, réservé "seulement aux initiés", comme le dit Woodward, je présenterai cette chimie comme un langage, en citant quelques points clés. De là, nous pourrions voir des parallèles se dessiner avec d'autres langages artistiques : la poésie et la peinture. Ensuite, j'indiquerai quelques attitudes de Woodward, et les aspects dynamiques de son processus de création. Nous aborderons ainsi le paradoxe que cachait ce processus, parce qu'au centre de sa démarche objective figuraient des dynamiques d'interpénétration sujet-objet, ainsi qu'un fort contenu affectif.

### Résumé historique

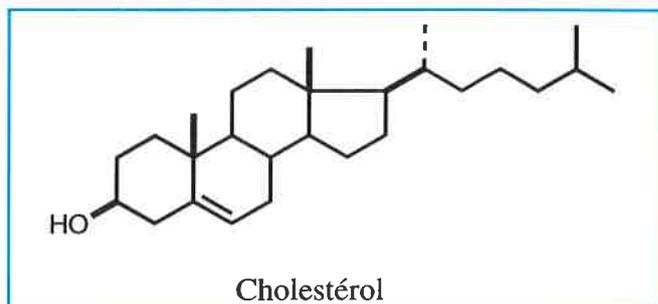
Normalement, il nous faudrait commencer par parler de la chimie et de la synthèse organique, et de la place de Woodward dans le contexte de l'histoire de la chimie. Pour ne pas allonger mon propos, je renverrai les personnes intéressées à une étude plus approfondie [2] et à un article en préparation sous le titre "Science as an Art". Mais il suffira, ici, de rappeler comment un des collègues de mon père à l'université Harvard, Frank Westheimer, décrivait l'œuvre de Woodward :

*"On se souviendra de Robert Burns Woodward comme de l'un des plus grands chimistes organiciens de tous les temps, avec August Kekulé et Emil Fischer. Ce qu'il a accompli pendant sa carrière étonnante, cela n'a été rien moins que de rendre rationnel le processus par lequel les chimistes organiciens réalisent la synthèse des molécules complexes de la vie.*

*Une analyse des derniers cent ans nous aidera à mettre ses découvertes en perspective. Pendant la deuxième moitié du XIXe siècle, la théorie structurale et stérique de la chimie organique - une des généralisations intellectuelles les plus brillantes de l'humanité - a été développée principalement par Kekulé, Butlerov, Couper, Pasteur, van't Hoff et Le Bel. Pourtant, au cours de la première moitié de ce siècle, la plupart des principaux praticiens n'accordaient que peu d'attention au domaine nouveau constitué par cette chimie du XIXe siècle.*

*C'est Woodward qui a donné le coup d'envoi à une véritable révolution méthodologique. En remodelant complètement la synthèse, il n'a pas seulement inclus les acquis obtenus dans la connaissance des mécanismes de réaction, mais il a aussi su profiter du potentiel de l'instrumentation électronique, dès ses débuts, en introduisant la physique comme arme de la chimie. Par ces changements majeurs de stratégie, il a montré par exemple comment déterminer les structures de composés comme la strychnine, comment comprendre la biosynthèse des stéroïdes, et comment accomplir des synthèses fabuleuses de pro-*

*duits naturels complexes en une fraction seulement des heures de travail exigées auparavant pour des tâches beaucoup plus simples. Il a illustré la puissance de ces méthodes avec les synthèses de la quinine, du cholestérol, de la strychnine, de la réserpine, de la chlorophylle, de la vitamine B12, et de nombreux autres produits naturels moins connus mais importants. Dans toutes ces recherches, il a montré comment contrôler avec précision la stéréochimie - l'arrangement des atomes dans l'espace - à chaque étape. Même si Woodward est surtout connu pour ses synthèses spécifiques, la synthèse intellectuelle à laquelle il est parvenu est un exploit encore plus extraordinaire. Il a créé une méthodologie cohérente pour prévoir les synthèses de molécules biologiquement actives très compliquées et les réaliser ; après qu'il eut démontré comment utiliser la théorie et l'instrumentation pour planifier et réaliser ces synthèses, beaucoup de chimistes de talent, partout dans le monde, ont prouvé qu'ils pouvaient eux aussi accomplir de pareilles merveilles, en utilisant les mêmes méthodes.*



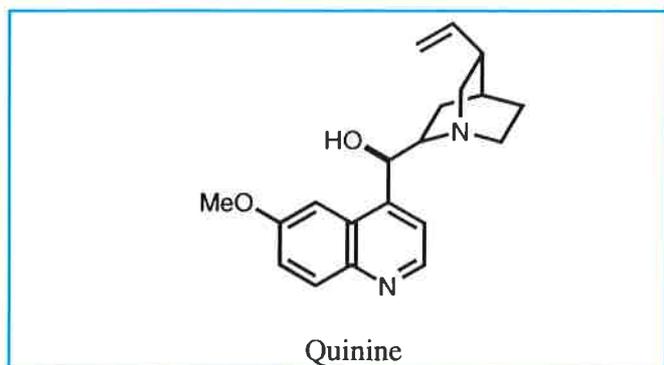
*Mais aucun des scientifiques qui ont maîtrisé les mêmes problèmes n'a pu égaler son style : il avait une élégance dans sa chimie, dans ses conférences, dans ses publications, qui lui venait naturellement et qui était aussi unique que la synthèse elle-même.*

*L'essence de son style s'exprimait le plus clairement dans les synthèses elles-mêmes, dans sa manière d'assembler les molécules d'une façon harmonieuse, de planifier chaque étape pour qu'elle conduise naturellement à la suivante ; c'était une sorte d'art qui combinait l'inévitabilité et la surprise, comme la grande musique classique. Dans son discours aussi, le style était là. Ainsi, ses séminaires du jeudi soir commençaient vers 20 heures 30 et continuaient tard dans la nuit ou même jusqu'au petit matin, avec probablement les discussions de chimie organique les meilleures et les plus profondes qu'ont ait jamais entendues où que ce soit. Un exposé sur une synthèse particulière commençait par un dessin au coin en haut à gauche du tableau, et finissait en bas à droite ; toute la surface était couverte de formules développées artistiquement, l'essentiel étant renforcé par des craies de couleur, et le tout donnant l'impression d'être prêt à être publié.*

*En plus d'avoir apporté l'étincelle qui a provoqué une révolution dans la synthèse, Woodward a contribué de façon décisive avec Roald Hoffmann à la théorie de la chimie organique des dernières décennies en établissant les lois de la conservation des symétries orbitales. Ces lois ont conduit à un très grand nombre de recherches depuis une quinzaine d'années" [3].*

## L'art de la synthèse

L'aspect "artistique" figurait dans tous les domaines du travail de Woodward, mais c'était dans la synthèse qu'il s'était développé au plus haut degré. A l'époque de sa jeunesse, il n'existait guère de technique générale de synthèse. Avant d'imaginer la synthèse d'une molécule naturelle en laboratoire, encore faut-il connaître sa structure ; l'approche de la synthèse est souvent un procédé qui part de la structure complète postulée et la dissèque en constituants de base pour les rassembler ensuite. C'est pendant la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle que les chimistes sont arrivés à concevoir l'aspect structural des molécules en imaginant que les atomes étaient attachés entre eux dans les molécules par des liaisons. Tout jeune, Woodward était déjà fasciné par ce concept de liaisons, et il avait une forte aptitude à appréhender l'aspect structural de la chimie. A l'âge de 12 ans, il avait élaboré un plan de synthèse de la quinine, qu'il devait effectivement synthétiser à 27 ans, mais selon une démarche plus complexe que celle qu'il avait imaginée dans sa jeunesse.



### La subtilité du concept structural

Woodward s'adressait rarement à un auditoire de non-chimistes. Cependant, en 1963, il avait donné en Inde une conférence intitulée "L'art et la science dans la synthèse des composés organiques". Cette conférence nous fournit plusieurs perspectives sur son art. Il y parle de la "subtilité du concept structural" et donne l'exemple de la réserpine :

*"Les 6 atomes de carbone marqués d'un astérisque montrent chacun un point où un petit changement dans l'agencement des liaisons conduirait à une autre molécule, donc à une autre forme de matière, sans qu'il y ait eu de changement ni du nombre, ni de la nature des atomes"*.

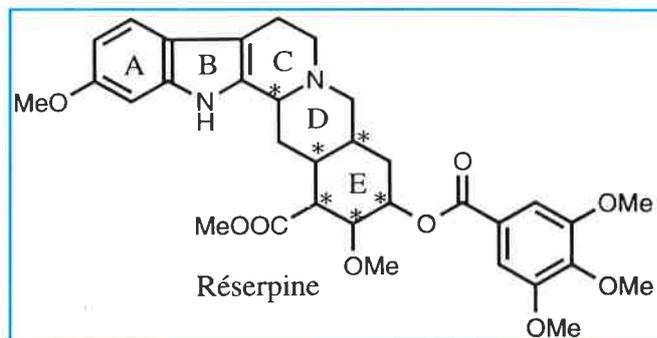
Il a expliqué qu'une synthèse procède par étapes, par une suite de petits changements, et que chaque étape dépend du succès de la précédente.

A l'époque moderne, en chimie, le concept de liaison a évolué vers une notion plus fluide, où la liaison est décrite comme un partage d'électrons, et ceci a conduit à une meilleure compréhension des réactions chimiques, indispensable au chimiste de synthèse, qui procède en orchestrant ces réactions.

*"Les transformations d'une forme de matière en une autre", a dit Woodward, "ont lieu à cause des collisions des molécules. L'art de la synthèse s'appuie essentiellement sur une planifi-*

*cation de la structure, de manière à établir des contraintes envers ces mouvements moléculaires, pour effectuer les changements voulus et en empêcher d'autres."*

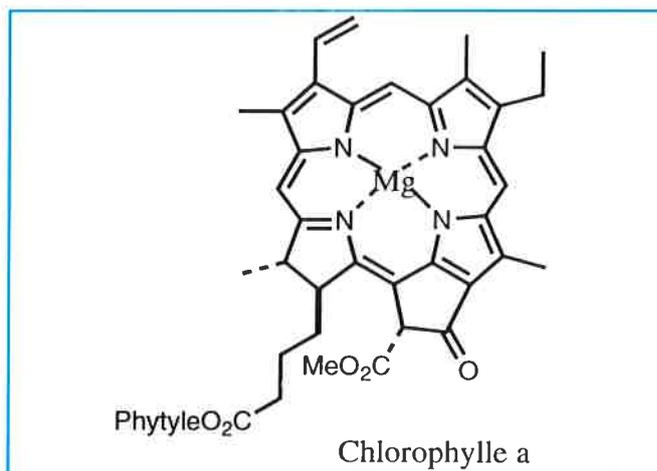
Pour Woodward, l'établissement et l'exploitation de tels "rapports spatiaux de proximité contribuent plus que tout autre moyen à la puissance et à la beauté des schémas de synthèse."

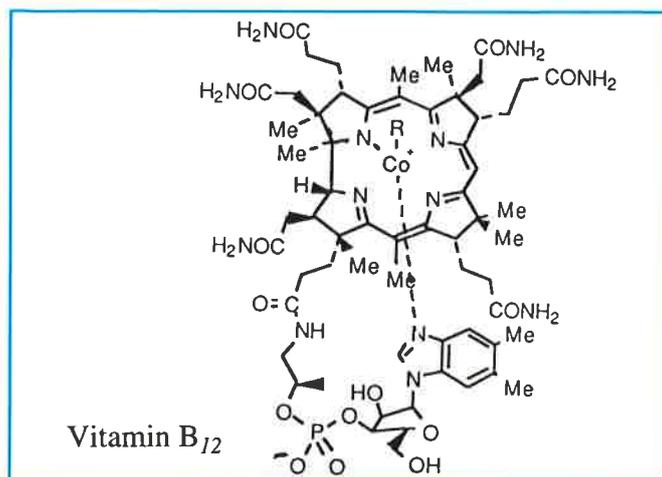


### Visualisation des structures complexes

Chez Woodward, le sens de la beauté se trouvait donc et dans sa contemplation des structures (aspect statique), et dans la planification des réactions qu'il élaborait (aspect dynamique), et il construisait mentalement les structures de molécules complexes pour envisager comment elles pouvaient se prêter à la palette des transformations possibles. Il avait une capacité extraordinaire de visualisation. Pour chacune de ses synthèses, il faisait énormément de dessins des structures moléculaires, pour déterminer le cheminement des étapes par lesquelles on pourrait arriver à la synthèse totale en laboratoire. Il pouvait se concentrer pendant de longues heures sur le même détail. En l'étudiant, il dessinait de nombreuses fois toute la structure dans laquelle se trouvait ce détail. Page après page, il explorait des essais, des étapes. Les structures étaient parfois accompagnées d'une simple phrase, avec un point d'exclamation (p. ex. "Eureka !"), ou une partie était soulignée en rouge. La finesse de ces dessins démontre sa rigueur, la profondeur de sa pensée, et en même temps ses grandes capacités artistiques.

Il subsiste des milliers de pages de ces dessins dans les archives de l'université Harvard. Woodward les avait rangés par ordre chronologique ; mais ces dessins sont sur un papier de couleur





crème, et non neutralisé, et ils commencent à se détériorer ; on envisage de les désacidifier pour les préserver.

Son regard minutieux était soutenu par une mémoire exceptionnelle, qui lui permettait de faire appel à tout un stock de détails qu'il absorbait par la lecture des revues de chimie et par ses conversations avec d'autres chimistes. Il éprouvait beaucoup de plaisir à établir des corrélations entre différentes molécules ; souvent, un projet nouveau présentait des aspects structurels ou dynamiques qui figuraient déjà dans une ou plusieurs de ses synthèses précédentes. Par exemple, sa synthèse de la chlorophylle, en 1960, l'avait amené à se préoccuper déjà de la synthèse de la vitamine B<sub>12</sub>, un énorme projet mené plus tard à bien par son groupe de Harvard et celui d'Eschenmoser à Zürich, car la vitamine B<sub>12</sub> est une "cousine" plus complexe de la chlorophylle. Il avait aussi un véritable talent pour trouver le point clé dans un fatras d'informations, où d'autres n'avaient pas vu clair.

### Rigueur et imagination

A l'université Harvard, et après 1962 chez Ciba en Suisse, Woodward dirigeait des groupes de chercheurs de très haut niveau, qui exécutaient selon ses directives les expériences conduisant aux synthèses ; il y fallait une grande rigueur, et de pensée et d'expérimentation, pour accomplir le grand nombre d'étapes nécessitées par ces synthèses.

Mais ce n'était pas seulement une question de rigueur. Pour Woodward, l'imagination était également importante ; il disait que, si la nature peut nous instruire, il fallait quand même "lâcher la bride à l'imagination". Par là, il voulait dire que, si la nature crée un composé par une voie biosynthétique déterminée, il n'est pas question d'envisager de synthétiser cette molécule en laboratoire uniquement en copiant cette biosynthèse : le chimiste doit inventer ses propres voies et transformations. Les synthèses totales de Woodward visaient des substances naturelles, mais il reconnaissait au chimiste un autre objectif : créer des substances nouvelles, inexistantes dans la nature. En fait, parfois, des "intermédiaires", c'est à dire des substances que Woodward avait créées comme étapes au cours d'une synthèse, étaient de cette catégorie. Il a dit : "le chimiste peut créer ... toute une variété de substances entièrement nou-

velles..., et peut avoir pour objectif la création d'une forme de matière qui posséderait des propriétés nouvelles, ou bien les mêmes propriétés que celles des molécules connues, mais à un degré supérieur." Ainsi en est-il d'une molécule, la chloroquine, qui ressemble à la quinine mais est une substance nouvelle, préparée synthétiquement en laboratoire, et qui est supérieure à la quinine pour le traitement du paludisme. Woodward ajoutait : "C'est ici un domaine entièrement créatif... [avec] une opportunité sans limite pour l'art et l'imagination".

### Tactique du cycle

Woodward s'intéressait au fait que, dans la nature, l'une des "techniques" de la biosynthèse soit l'utilisation d'un cycle d'atomes servant, de même qu'une liaison interatomique, à apporter des contraintes aux mouvements moléculaires. Il a donc appliqué cette technique pour la synthèse des substances naturelles, en développant ce qu'on pourrait appeler sa "tactique du cycle". Dès sa première synthèse, celle de la quinine (en 1944), il a utilisé cette tactique ; cela lui a permis d'accomplir la synthèse de molécules d'une complexité auparavant inaccessible aux synthétistes. Cette tactique du cycle est pour une grande part responsable de l'élégance des synthèses de Woodward ; cette qualité est particulièrement évidente dans ses synthèses de la strychnine, de la réserpine, de la chlorophylle et de la vitamine B<sub>12</sub>.



En 1963, dans une conférence prononcée chez Ciba en Inde, Woodward a parlé de cette tactique, en analysant les principaux procédés qu'il utilisait pour limiter la mobilité de fragments moléculaires. Parfois, il s'agissait de construire un cycle ou un groupe d'atomes qui empêchait des réactions indésirables, à un moment crucial de la synthèse ; ensuite, en coupant ce cycle adventice, il pouvait placer, avec une précision surprenant, un seul atome à sa destination. Ou bien, il introduisait dans le substrat "un groupe d'atomes qui vont attirer une autre molécule avec laquelle on cherche à effectuer une réaction", et cela "sert de plate-forme pour effectuer des modifications". De plus, dans sa planification du processus synthétique, Woodward élaborait comment utiliser les autres atomes du cycle adventice, en les incorporant dans les étapes suivantes de la synthèse au lieu de s'en débarrasser. Là, l'économie de la démarche rejoignait l'élégance de la planification.

Dans ses notes de préparation pour une conférence sur la synthèse, Woodward a écrit : "la synthèse n'est pas obligée de se limiter à des processus constructeurs, car il peut être avantageux aussi de construire trop, et ensuite d'enlever". Nous

voyons ici s'établir un parallèle avec la peinture : parfois le peintre, après avoir peint une couche de couleur ou des images, les recouvre ou les détruit, pour en intégrer un détail ou une partie de cette création antérieure dans les étapes suivantes ; cette superposition des couches, par l'enchevêtrement des différents niveaux de signification, conduit à un approfondissement du sens de l'œuvre.

### Une contrainte physique sur la réalité

Pour Woodward, le plaisir esthétique qu'il ressentait était lié au fait que la chimie correspond à un monde réel, un monde physique. Au début de ses années universitaires au Massachusetts Institute of Technology, il était tenté par l'idée de faire des études d'architecture, et de modifier son choix initial de la chimie, pour choisir à la place les mathématiques, mais finalement il choisit la chimie. Dans sa conférence donnée à l'occasion du Cope Award [4], il a expliqué que, même s'il aimait dans la mathématique ses structures et ses transformations élégantes autant que sa précision et sa beauté, *"c'étaient les éléments sensoriels qui avaient joué un rôle important dans son attirance pour la chimie"*. Dans la pratique de la chimie, il aimait *"les cristaux, les liquides et les couleurs, les récipients de toutes formes et de toutes tailles utilisés dans les expériences de chimie ; de plus, les idées peuvent être belles, logiques, élégantes, imaginatives, etc. en elles-mêmes, mais qu'elles n'ont purement et simplement aucune valeur si elles ne peuvent être effectivement applicables au seul environnement physique qui soit le nôtre. En bref, elles sont bonnes seulement si elles marchent.. Personnellement, [il aimait] beaucoup ce défi particulier posé par la contrainte physique à l'imagination"* [4].

Si l'on considère la chimie comme ayant un langage, ce langage contient des aspects sensoriels. Le chimiste, en lisant par exemple la formule constitutive d'un composé (p. ex.  $H_2O$ ) sait qu'il a certaines propriétés qui auront des effets spécifiques dans l'expérimentation ; il sait quelle couleur ou quelle odeur il peut avoir ; en plus, il lit dans la formule constitutive une structure : c'est un pictogramme qui représente la molécule dans sa disposition dans l'espace.

Penser dans ce langage pluridimensionnel est différent de penser dans le langage verbal ; les aspects sensoriels et structuraux peuvent engager le chimiste dans des dynamiques de pensée similaires aux autres langages structurels et artistiques comme la peinture, la sculpture et la poésie. Comme Woodward faisait appel à des techniques que la chimie organique n'avait pas encore intégrées dans ses démarches, il a élargi la "panoplie des représentations" du langage chimique : il n'y avait pas seulement différentes sortes de formules, de cristaux, de couleurs, de solutions, etc., mais aussi des spectres et des graphes, de multiples mesures à prendre en compte.

Pour Woodward, se concentrer sur un problème chimique revenait à faire mouvoir son esprit au travers de toute une collection de représentations. Picasso a fait la remarque que, pour lui, c'était moins le contenu que le mouvement de sa pensée qui l'intéressait dans son processus artistique [5] ; nous pourrions croire que Woodward lui aussi trouvait un plaisir esthétique

dans le mouvement de sa pensée dans le langage chimique, et dans sa capacité à trouver non seulement comment aboutir à des résultats efficaces, mais aussi élégants. De plus, le chimiste étudie les mouvements moléculaires afin de pouvoir élaborer et diriger une séquence de réactions qui l'amènent à son but, la synthèse totale d'une substance. Woodward éprouvait un plaisir réel dans cette combinaison d'être en même temps et le créateur, et celui qui est guidé et "porté" dans sa pensée par sa connaissance de ce mouvement et des "courants" des réactions synthétiques.

### Perspectives d'enfance

Le psychanalyste Winnicott a décrit les étapes du développement de l'enfant, avant la différenciation soi-monde. La mère présente à l'enfant des objets qui correspondent à ses besoins : d'abord son sein, puis d'autres objets. L'enfant a l'impression d'avoir "créé" ces objets, que l'on appelle "objets transitionnels", en même temps qu'il les a trouvés. De tels objets servent de pont entre le soi dans son état de non-différenciation et le monde extérieur, dont l'enfant se sentira finalement distinct. Mais le paradoxe, de ne pas distinguer entre créer et trouver, sert de base à la créativité : l'artiste arrive à prolonger l'illusion de ce paradoxe, en étant nourri par l'impression qu'il crée une partie de son monde. Dans son "objet transitionnel", l'œuvre d'art, l'artiste se tisse le moi et le non-moi, l'intérieur et l'extérieur, le proche et le lointain, dans des synthèses nouvelles. Woodward aussi créait "comme si" il créait une partie de son monde ; dans ses synthèses, "moi", la pensée, sa planification des réactions, et "non-moi", la nature, les lois des réactions chimiques sont enchevêtrés, unis. Mais chez lui le paradoxe de l'équivalence du créé et du trouvé va un peu plus loin, et l'illusion devient réalité car ce qu'il créait faisait déjà partie du monde, étant donné que la molécule synthétique "créée" doit correspondre exactement à la même molécule "trouvée" dans son état naturel. Dans les mains de Woodward, la chimie du XXe siècle devient un nouveau "médium" ou langage artistique, avec cette particularité que, dans le processus créateur, sujet et objet s'interpénètrent, de même que dans l'objet réalisé, le sujet pourtant "présent" sera caché, comme s'il était absent.

### La réaction de Diels-Alder : vers les lois de la conservation orbitale

Dans son œuvre, l'artiste est souvent engagé dans la recherche d'un idéal, d'une expression idéale de son être ou de son esprit dont la réalisation lui fournit un plaisir esthétique. Woodward a découvert très jeune qu'il avait du talent pour la chimie. A l'âge de 10 ans, il avait obtenu et étudié des revues allemandes de chimie, et après qu'il eut prédit l'explication d'une certaine réaction chimique, il reçut un numéro où se trouvait un article dans lequel deux chimistes décrivaient cette réaction et en donnaient la même explication que lui. Woodward était très excité : "C'était comme si une idée que j'avais eue pourrait être amenée à la réalité". Il était très enthousiaste, car il avait trouvé ce qu'il avait déjà "créé" lui-même. Cette expérience le

conforta dans sa confiance en lui-même vis-à-vis des "idées qu'il pourrait avoir dans le futur" en chimie [4]. Cette disposition à l'enthousiasme est restée permanente sa vie durant, si bien qu'un collègue a fait la remarque qu'il "*était resté perpétuellement jeune... et quand il parlait de la chimie, ses yeux scintillaient comme des étoiles*" [6].

La réaction de Diels-Alder, des noms des deux chimistes qui l'ont décrite, a marqué Woodward, comme il l'a dit lui-même plus tard. De plus, l'intérêt qu'il avait eu pour cette réaction dès son plus jeune âge l'a conduit au deuxième point fulgurant de son œuvre scientifique, l'étude des réactions. En 1962 et 1964, en collaboration avec Roald Hoffmann, un chimiste théoricien, il a élaboré la loi de la conservation de la symétrie orbitale. Cette loi constitue une extension des principes qui régissent les liaisons des systèmes statiques aux systèmes dynamiques et interactifs ; elles permettent au chimiste de prédire le résultat des réactions chimiques. Pour ce travail, Hoffmann a reçu en 1981 le prix Nobel, auquel Woodward aurait été associé s'il avait été encore en vie.

### Créer une présence : devenir un père dans la chimie

Le père de Woodward était mort quand Robert avait seulement un an. La situation de sa mère était précaire et, bien qu'elle se soit remariée, ce mariage ne dura pas et il n'y eut pas d'autre enfant. Pour Woodward, la chimie était très probablement une façon de créer une présence, afin de faire face à l'absence de son père. La recherche d'une réalisation de l'esprit ou de soi-même idéalisée était pour Woodward réalisée dans la chimie, et c'était aussi une façon de concrétiser et d'intérioriser les traits d'un père idéal absent - les aspects d'un superego, d'une autorité. Il est significatif que, dans sa vie, l'œuvre de Woodward l'ait fait devenir une sorte de "père" de la chimie moderne. Mais en même temps, cette dévotion à la science et à sa carrière scientifique l'absorbait complètement, si bien qu'il n'avait que très peu de temps pour sa propre famille (marié deux fois, deux enfants sont nés de chaque mariage). La plus grande partie de son temps se passait dans son bureau et dans son laboratoire à Harvard. Peut-être que pour lui, être un père dans la chimie nécessitait d'être un père absent de la maison, dynamique qu'on peut supposer liée à sa propre expérience pendant son enfance : pour trouver le père, il lui fallait le créer, en lui-même et dans les synthèses des molécules élaborées et exécutées avec élégance.

### Une alchimie moderne

Cette dévotion à son travail et à la finesse de son œuvre créait autour de Woodward, même pendant sa vie, une atmosphère de légende. Parlant de lui, un de ses chercheurs postdoctoraux a écrit :

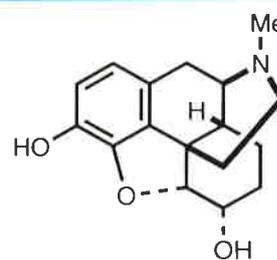
*"être en présence de Woodward était pour nous comme, pour de jeunes prêtres, être reçu en audience par le Pape. Il avait une aura de grandeur quand il nous bénissait de son élégance créatrice et qu'il nous montrait les chapelles Sixtine de l'architecture chimique"* [7].

Parmi ses collègues et dans ses groupes de recherche régnait l'idée, exprimée parfois avec humour et même sous forme de blagues, que Woodward était surhumain, et tous (y compris Woodward) disaient que, dans leur capacité à créer des substances naturelles ou toutes nouvelles, les chimistes organiciens étaient semblables à des dieux. Sous l'humour, nous voyons ici affleurer l'ancien thème de l'alchimie, revenu à la surface de la chimie moderne, selon lequel chercher les substances idéales engage le chimiste dans un processus de transformation (de "transmutation") de lui-même : en transformant les matières brutes en or, c'est en fait l'or de l'âme que l'on cherche.

### Pureté de la matière, pureté de l'esprit

L'insistance de Woodward pour la pureté correspond à cet état d'esprit. Ce qui l'intéressait était ce qu'il appelait "la science pure", même si son travail avait des applications pratiques. Par exemple, sa synthèse de la réserpine a été adoptée par une société chimique car cette substance sert dans le traitement de désordres nerveux et mentaux. Mais pour lui, le but et la joie se trouvaient dans la contemplation des structures, dans l'explication des lois de la matière, dans l'élaboration de séquences de transformations qui soient élégantes et qui permettent la synthèse voulue.

La pureté a aussi un rôle dans les étapes de la synthèse, car toutes les substances intermédiaires doivent être "pures", et leur pureté se manifeste souvent par leur cristallisation. Pour Woodward, son appréciation de la beauté d'un cristal était due, non seulement à son apparence extérieure, mais aussi à sa "signification" intérieure, à la démonstration qu'il donnait de sa pureté.



Morphine

La légende de Woodward était renforcée par son élégance, tant dans son travail que dans sa vie personnelle. Prenons par exemple sa préférence pour la couleur bleue. Je me souviens, quand j'étais petite, des jours où mon père regardait le ciel bleu pur, au-dessus de notre maison dans la banlieue proche de l'université Harvard, en s'exclamant sur la beauté de ce "bleu lumineux". Son costume bleu foncé, sa cravate bleu-clair, sa série d'autos bleues, faisaient partie d'une sorte de mythe ; même, ses étudiants ont, une année, peint en bleu sa place de parking près du laboratoire.

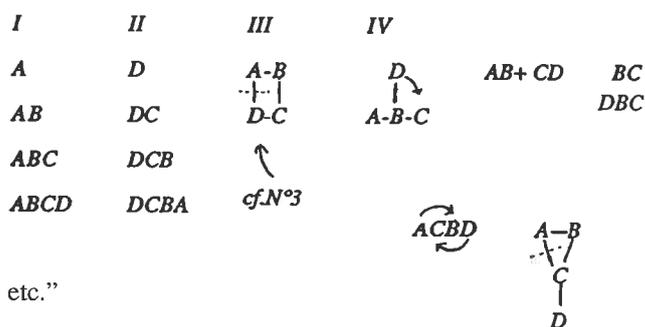
Il y avait une sorte de raffinement dans sa façon d'arranger son bureau à l'université et, après son deuxième divorce, son appartement. Dans ses articles et ses conférences, Woodward utilisait un langage presque littéraire ; ses phrases élégantes, son vocabulaire parfois inattendu reflétaient la précision et la complexité, - et l'élégance - de ses structures moléculaires. Et il soulignait d'une touche dramatique \*, les tensions et les joies que vivait son groupe de recherche dans leur saga vers un but lointain.

\* Par exemple, on n'oubliera pas le début de l'article du J. Am. Chem. Soc. décrivant la synthèse de la morphine et commençant par l'exclamation "morphine !". Qu'on est loin du style froid presque toujours de rigueur !

### Penser dans le langage de la chimie : se mouvoir à travers une gamme de représentations

Le rapport qu'avait Woodward avec la chimie pouvait-il être comparable à celui qu'entretient le poète avec tout un domaine de sens dans le langage poétique ? Qu'est la "poésie" de la chimie ? Dans les notes de préparation pour une conférence sur la synthèse que nous avons déjà mentionnées, Woodward déclare : "Écris les formules de toutes les façons possibles. Chaque façon peut suggérer des possibilités différentes". Et : "en cherchant le procédé de construction, penser aux molécules comme dynamiques, tordre, faire tourner, construire, casser des liaisons, rouler, plier, etc.". Dans la marge, il a noté de telles possibilités :

"A-B-C-D, [puis] méthode



Une telle démarche montre l'engagement de Woodward dans ce qu'il appelait "la subtilité du concept structural", et peut aussi nous rappeler le poète expérimentant avec l'arrangement des lettres dans un mot ou des mots dans un poème : un tout petit changement donne une signification tout autre, tout comme cela se produit en chimie lors de la transformation d'une substance en une autre. Par de telles expérimentations, le poète peut revivre dans le présent des modes de jeu qu'il a connus dans son enfance, quand il expérimentait des combinaisons multiples pour en arriver à des sons et des sens nouveaux. Comme le "mot" chimique est pluridimensionnel, pictographique et structural autant qu'alphabétique, la "poésie chimique" pourrait-elle inclure aussi des aspects comparables aux dynamiques structurales de la poésie verbale tels le rythme, la

rime, l'accentuation, etc., ces techniques par lesquelles des niveaux sensoriels et corporels entrent dans le langage pour le faire vivre et pour régénérer l'expérience vécue, qui sinon serait ossifiée par le langage, comme l'écrit Cassirer [8] ?

### Par l'art, un sentier vers l'éternité (ou art et transmutation personnelle)

Par l'art, l'enfance de l'artiste autant que ses émotions, son image du corps et son rapport au monde, sont transformés non seulement pour revivre, mais pour se transcender, pour atteindre à des significations nouvelles. Peut-on dire que pour Woodward aussi, son art en chimie avait cet effet, et que son plaisir esthétique était dû à la transmutation personnelle que cela lui procurait ? En parlant de ses années universitaires au Massachusetts Institute of Technology, il disait que la chimie avait "préempté" toutes ses autres activités (1973). C'était comme si l'art s'était transféré lui-même, non seulement par sa pensée mais aussi par son corps, dans le domaine de la chimie, dans ses opérations, dans son langage. Il n'aimait pas du tout l'exercice physique, comme si son mouvement corporel était intériorisé par sa capacité à visualiser les structures chimiques et les imaginant disposées sous divers angles, comme si l'art pouvait "marcher" d'un point à l'autre à l'intérieur du paysage moléculaire. Un chercheur postdoctoral de son groupe a d'ailleurs observé qu'entendre le rythme des pas de Woodward dans le couloir à son arrivée au laboratoire rappelait sa façon de "penser" la progression des étapes de la synthèse [9]. Sa manière de s'adonner à de longues heures de concentration, de se détacher de la vie familiale et quotidienne, tout cela contribuait à casser, à dépasser les limites du moi personnel, pour essayer d'atteindre à une intelligence ou à des lois universelles. Mais d'autre part, il fumait beaucoup, et dormait peu ; à la longue, son corps ne pouvait plus tenir. Woodward est mort d'une crise cardiaque à 62 ans. Tout en s'élevant à l'état des "dieux", il avait quand même un grand respect pour la nature, reconnaissant qu'il fallait travailler avec elle. Quand il réussissait à accomplir lui-même la synthèse d'une substance que la nature produit par ses propres mécanismes, il était ému, comme si dans ces moments-là il touchait l'éternité. Et c'est là qu'il voulait être : dans la profondeur de son travail, où il trouvait son repos.

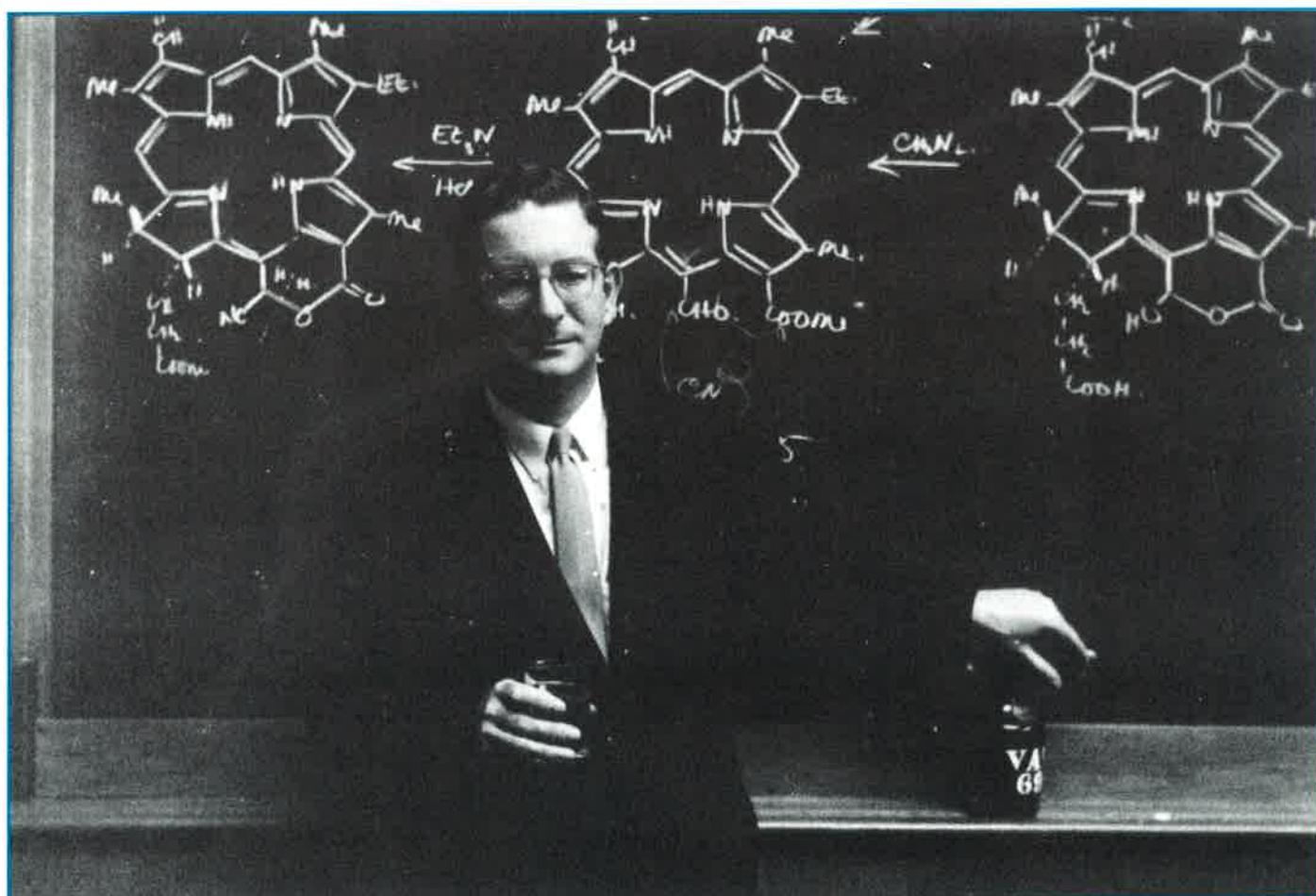
#### Références

- [1] Berthelot M., Chimie organique fondée sur la synthèse, 1860, tome 2, 811-812.
- [2] Woodward C., in Art and Elegance in the Synthesis of Organic Compounds, Robert Burns Woodward, H. Gruber, D. Wallace eds., Oxford University Press, 1989.
- [3] Westheimer F.H., Harvard Memorial Service, 1979.
- [4] Woodward R.B., A.C. Cope Memorial Award Lecture, 1973.
- [5] Cité dans Gilbert Rose, The Power of Form, International Universities Press, 1980.
- [6] Tishler M., American Chemical Society Meeting, août 1981 (cassette ACS).
- [7] Scheinbaum M., in R.B Woodward, In Memoriam, Harvard University, 1979.
- [8] Language and Myth, Dover, 1953.
- [9] Hayakawa K., in R.B. Woodward, In Memoriam, Harvard University, 1979.

## Contributions scientifiques majeures de R.B.Woodward

Synthèses	Structures	Méthodes synthétiques
1944 - Quinine	1945 - Pénicilline	1947 - Polypeptides
1950 - Patuline	1948 - Strychnine	1961 - Peptides
1951 - Cholestérol, cortisone	1949 - Patuline	
	1952 - Terramycine, Auréomycine	<b>Théories biogénétiques</b>
1954 - Lanostérol, acide lysergique, strychnine	1954 - Cévine	1948 - Alcaloïdes indoliques
1956 - Réserpine	1956 - Magnamycine	1953 - Cholestérol
1960 - Chlorophylle	1958 - Gliotoxine	1956 - Macrolides
1962 - Tétracyclines	1960 - Oléandomycine	<b>Chimie organique générale</b>
1963 - Colchicine	1963 - Streptonigrine	1941 - Règles empiriques pour les spectres UV des cétones conjuguées
1965 - Céphalosporine C	1964 - Tétrodotoxine	1952 - Structure et aromaticité du ferrocène et des métallo-cènes
1972 - Vitamine B <sub>12</sub>		1961 - Règle empirique structure/dispersion rotatoire des cétones (règle des octants)
1973 - Prostaglandine F <sub>2a</sub>		1965 - Conservation de la symétrie orbitalaire (règles de Woodward-Hoffmann).
1981 - Érythromycine*		

\* La synthèse de l'érythromycine a été achevée par son groupe à Harvard.



R.B. Woodward, 1960 (document Jean-Marie Lehn).

Il y a cent ans....

Dans le Bulletin de la Société Chimique de Paris

(aujourd'hui Bulletin de la Société Chimique de France)

**Sur la fabrication de l'encre typographique, par A.-M. Villon**

(Soc. Chim., 3e série, T. IX, 1893, p. 781).

L'encre typographique ordinaire est un mélange de vernis, d'huile de lin et de noir de fumée. Dans les encres plus perfectionnées on fait entrer, dans leur composition, du bleu de Prusse pour abattre le jaune de l'huile de résine, du savon de résine, certaines résines et du siccatif.

La préparation de l'encre typographique comprend essentiellement cinq opérations :

- 1° La purification de l'huile de lin ;
- 2° La cuite de l'huile ;
- 3° La préparation du noir de fumée ;
- 4° Le mélange de l'huile, des divers ingrédients et du noir ;
- 5° Le broyage de l'encre.

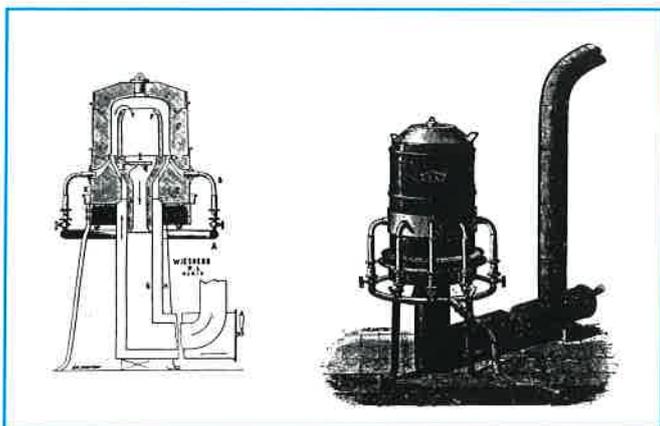
...On emploie, dans la fabrication des vernis, l'huile de lin vieille d'un an ou deux. Chez M. Lorilleux, grand fabricant d'encres d'imprimerie, à Puteaux, l'huile de lin est mise au repos pendant deux ans, dans des réservoirs placés dans un local à température constante, et on la soutire cinq ou six fois pendant ce laps de temps. Dans les imprimeries qui fabriquent elles-mêmes leur vernis, on place les fûts d'huile inclinés de façon que le fond portant le robinet se trouve plus élevé que l'autre. A la réception de l'huile, on laisse les fûts trois mois dans cette position, dans un local à 15°, et on la soutire dans un autre fût disposé de même : on procède ainsi à quatre tirages successifs dans l'espace de douze à quinze mois.

...Pendant longtemps on a dégraissé l'huile avec des croûtes de pain et des oignons. Cette opération, fort singulière et complètement inexplicable au point de vue chimique, est encore pratiquée dans beaucoup d'ateliers...

**Recherches sur les couleurs de grand feu, par M. A. Bigot**

(Soc. Chim., 3e série, T. IX, 1893, p. 1018).

... A la manufacture de Sèvres, MM. Lauth et Vogt se sont servis du four Perrot, qu'ils ont modifié, pour leurs recherches sur les couleurs de grand feu. Mais cet appareil présente plusieurs inconvénients, entre autres son défaut de symétrie.



Récemment, M. Seger, directeur de la manufacture de porcelaine de Berlin, a construit un four à gaz avec récupération partielle de la chaleur. C'est cet appareil que j'ai modifié, aidé par les conseils de M. Vogt, directeur de la manufacture nationale de Sèvres, et grâce à la collaboration de M. Lequeux, successeur de M. Wiessneg.

... Cet appareil ne m'a pas seulement servi à la fusion des émaux, à la cuisson des grès et des porcelaines, mais aussi à la fusion des métaux et à la reproduction des minéraux.

... Mesure de la température

Les mesures que j'ai faites jusqu'à présent ont été surtout des mesures pratiques, faites avec des substances n'indiquant que le maximum de la température. J'ai employé les montres fusibles de M. Lauth et celles de M. Seger, des porcelaines de provenances différentes. Deux heures suffisent pour atteindre la température de 1300°. au bout de quatre heures, on obtient la fusion du palladium, soit 1500°. A ce moment, certains kaolins, renferment un peu de mica, se transforment en grès, et les pièces réfractaires de l'appareil commencent à se vitrifier. Jusqu'à présent aucun four à gaz n'avait permis d'obtenir d'aussi hautes températures sans introduction d'air comprimé.

... J'ai d'abord employé dans ces recherches le four à récupération qui, m'a permis, en quelques mois, de trouver toute une gamme de couleurs nouvelles. Puis ces expériences ont été répétées, dans un four industriel disposé de façon à être chauffé en flamme oxydante ou en flamme réductrice ; chaque couleur a été ainsi reproduite une dizaine de fois, dans des fourneaux différentes et les résultats ont toujours été trouvés concordants.

Les essais dans le four à gaz ont été faits au laboratoire de mon illustre maître, M. Friedel, et si j'ai pu les mener à bonnes fin c'est grâce à ses conseil éclairés et à ses encouragements. Je tiens à lui en exprimer ici ma profonde reconnaissance.

**Sur le parfum de la violette. L'irone et l'ionone, par MM. F. Tiemann et Paul Krüger.**

(Soc. Chim., 3e série, T IX, 1893, p. 986).

Extraction du parfum de la violette. - La racine d'iris, les fleurs et la racine de la violette contiennent de très faibles quantités du principe odorant qui est peu volatil. l'extraction s'est faite industriellement dans les fabriques de Haarmann et Reimer, à Holzminden, et de Laire et Cie, à Paris, à partir de la racine d'iris.

Cette racine est épuisée par un dissolvant organique approprié : on se sert de préférence de l'éther ou de la ligroïne\*, l'alcool ayant l'inconvénient de dissoudre en même temps le glucoside de l'iris ou iridine. Ce mode de traitement n'altère pas l'amidon contenu dans la plante. On distille ensuite l'extrait éthéré dans un courant de vapeur.

La partie volatile de l'extrait, dans laquelle se trouve le parfum, est soumise, après un lavage à la soude, à un entraînement

fractionné par la vapeur d'eau. On sépare ainsi un peu d'aldéhyde oléique, des substances alcooliques à odeur désagréable, un éther oléique et du myristate de méthyle  $C^{13}H^{27}CO^2CH^3$  qui cristallise de ses solutions dans l'alcool méthylique en masses blanches fusibles au-dessous de  $10^\circ$ , bouillant à  $295^\circ$  sous la pression normale.

Pour obtenir le parfum de l'iris à l'état de pureté, on dissout dans l'alcool la partie volatile de l'extrait éthéré, et on saponifie à froid par la potasse alcoolique les éthers myristique et oléique. La solution alcoolique est jetée rapidement dans l'eau et épuisée à l'éther. On entraîne l'extrait ainsi obtenu à la vapeur, en rejetant toujours les dernières portions, et l'on recueille finalement une huile formée principalement d'une cétone, l'irone, et d'un peu d'aldéhyde oléique dont on se débarrasse par une ébullition avec l'eau et l'oxyde d'argent...

\*NDLR. *Ligroïne : mélanges d'hexanes et d'heptanes (essence de pétrole, essence minérale, benzine).*

**Fermentation alcoolique des topinambours, sous l'influence des levures pures ; Lucien Lévy (C.R., 1893, t. 116, p. 1381) Soc. Chim., 3e série, T. IX, p. 1060).**

L'auteur a appliqué aux topinambours la méthode déjà employée avec les grains et les betteraves, c'est-à-dire la fermentation au moyen de levure pure de vin.

On a employé la levure de Romané Conti.

... Le moût qui doit être soumis à la fermentation est stérilisé par trois ébullitions faites à vingt-quatre heures d'intervalle les

unes des autres, puisensemencé avec de la levure précédente ou mieux avec un levain constitué par une culture de cette levure dans de moût d'orge acidulé et non houblonné. Dans ces conditions, la fermentation se met plus rapidement en marche ; le passage d'un courant d'air stérilisé active la fermentation de telle sorte qu'à la température de  $20$  à  $25^\circ$  elle est terminée en trois jours.

On soumet le liquide ainsi obtenu à une première distillation, en recueillant un volume d'alcool égal à la moitié du volume du vin, puis à une seconde distillation dans les mêmes conditions. Enfin, le flegme est rectifié par distillation fractionnée à l'aide d'un appareil à boules.

Au début, il passe une petite quantité d'aldéhyde, puis un liquide alcoolique marquant  $90^\circ$  centésimaux, doué d'une odeur piquante et de propriétés réductrices ; ce liquide, qui passe de  $77^\circ,5$  à  $78^\circ$ , représente  $50/0$  du poids de l'alcool total.

De  $79^\circ$  à  $79^\circ,5$ , distille un liquide de très bon goût marquant  $92-93^\circ$ , renfermant  $76$  centièmes de l'alcool total.

A  $80^\circ$ , passe un liquide d'odeur moins parfaite, mais constituant encore un alcool bon goût, contenant les  $16$  centièmes de l'alcool total.

Enfin, plus haut, passe un liquide à odeur butyreuse, renfermant  $1,6$  centième de l'alcool total.

Ces résultats, comparés à ceux de l'industrie, ou à ceux d'une fermentation produite par la levure de boulangerie ordinaire, sont nettement plus avantageux, comme qualité et comme rendement.

## “Il y a 200 ans Lavoisier”

### Paris, 3 janvier-10 février 1994

### Exposition à la Chapelle de la Sorbonne

Organisée par l'Académie des sciences dans le cadre du Bicentenaire de la mort d'Antoine-Laurent de Lavoisier, cette exposition illustrera, de façon concrète et vivante, les diverses facettes de Lavoisier dont l'activité et l'éclectisme nous étonnent encore :

- sa personnalité,
- son rôle politique de “grand commis de l'État” tant auprès de la monarchie, à la Ferme générale et à la Régie des Poudres et Salpêtres, qu'auprès du gouvernement révolutionnaire,
- son action de réformateur (réforme de la Ferme générale avec Turgot, intérêt pour les théories des physiocrates, réflexion sur la réforme de l'instruction publique, etc.),
- son rôle à l'Académie des sciences,
- son rôle scientifique novateur avec la révolution chimique (décomposition et synthèse de l'eau, réfutation du phlogistique, découverte de l'hydrogène, étude de la respiration, établissement d'une nouvelle nomenclature chimique, Traité élémentaire de Chimie, etc.),
- son rôle d'urbaniste et d'hygiéniste public,
- l'époque et le contexte politique, économique et social dans lesquels se sont déroulées sa vie et son action (notamment pour la période prérévolutionnaire et révolutionnaire).

L'exposition présentera des documents d'archives originaux extraits, pour la plus grande partie, du très riche fonds Lavoisier des Archives de l'Académie des sciences, mais aussi de grands établissements nationaux de conservation (Archives nationales, Bibliothèque nationale), des livres imprimés, des instruments de laboratoire provenant de la collection Lavoisier du Musée national des techniques du Conservatoire National des Arts et Métiers, des documents iconographiques, etc.

Renseignements : Christiane Demeulenaere. Tél. : (1) 44.41.43.86.

## LA VULGARISATION SCIENTIFIQUE

Collection Que sais-je ?  
Pierre Laszlo  
PUF, Paris, 1993

Professeur de chimie organique à l'École polytechnique, Pierre Laszlo a déjà publié une dizaine d'ouvrages de haut niveau, donc sûrement pas destinés au "grand public". C'est dire qu'il n'est pas un spécialiste, un professionnel de la vulgarisation. Il en parle dans ce petit livre en observateur extérieur, comme un mélomane le ferait de musique, un peintre de dimanche de l'école impressionniste. "La vulgarisation comme forme d'art" pourrait être un sous-titre adapté.

Les dimensions réduites de l'ouvrage ont imposé à l'auteur une concision de style, qualité fort appréciée d'une collection, devenue si populaire qu'on se serait attendu à ce qu'elle soit flatterusement analysée comme excellent exemple de vulgarisation réussie en langue française. Cette discrétion apparaît d'autant plus comme un oubli que tout l'ouvrage est marqué d'une admiration (justifiée) à l'égard de quelques auteurs américains, admiration qui apparaît toutefois comme trop exclusive. On en vient à se demander ce que l'auteur appelle au juste "vulgarisation", s'il ne réduit pas ce thème flou à une conception personnelle, subjective.

D'entrée, P. Laszlo rappelle la distinction nietzschéenne entre visions apollinienne et dionysiaque, pour aborder son sujet avec la seconde, laissant à d'autres le souci d'un traitement plus encyclopédique, plus systématique. P. Laszlo nous propose une réflexion libre, peu soucieuse des bornes qu'imposeraient de rigoureuses définitions. Concision et opinions vigoureuses sur un terrain mal délimité ne peuvent que conduire à des oublis, voire à des injustices. Mais qu'importe, si cela accroît l'intérêt de la lecture ? On sait bien qu'un "Que sais-je ?" ne saurait épuiser un sujet. S'il suscite intérêt, questions, critiques et désir d'en savoir plus, il a rempli sa mission, sa fonction d'outil de vulgarisation.

Les concepts "vulgariser", "vulgarisation" sont par essence flous. Partons des définitions données par *Le Petit Larousse* : vulgariser, c'est rendre accessible (une connaissance, une idée) au grand public, faire connaître, partager. La "vulgarisation" est l'action de mettre des connaissances techniques et scientifiques à la portée des non-spécialistes, du plus grand nombre. On peut constater que de telles définitions contiennent trois facteurs de confusion :

- De quelles "connaissances" ou "idées" parle-t-on ?
- Qu'est-ce que le "grand public" ?
- Ne faudrait-il pas distinguer les moyens de communication utilisés ?

P. Laszlo traite presque exclusivement des livres et des articles de revue. Il glisse rapidement sur la télévision en regrettant "la grande absence d'émissions de vulgarisation scientifique", toutefois il reconnaît que "la télégenie d'Hubert Reeves détermine en partie la vogue de ses ouvrages". La distinction n'est pas suffisamment faite entre l'information sur l'actualité qui fait entrer le journalisme scientifique dans l'ensemble flou de la vulgarisation et les articles de commentaires que l'on trouve de plus en plus fréquemment dans la grande presse, souvent excellents, parfois discrédités par un catastrophisme complaisant (Seveso, Three Miles Island, ...).

Il existe d'innombrables moyens de communication, de la conférence aux attractions de Disneyland, du livre d'enfant aux films d'entreprise. Citons la pièce de théâtre "*Les palmes de Monsieur Schutz*" qui, après 1 000 représentations à Paris, mériterait une ... palme à titre de la vulgarisation des conditions de la découverte de la radioactivité et du radium. La seule question des musées des sciences mériterait un "Que sais-je ?" pour elle seule, alors que moins de deux pages ne lui sont consacrées. En bref, P. Laszlo ne se soucie guère de distinguer le fond et la forme dans son commentaire. C'est en ce sens que son ouvrage dans sa première partie n'est pas "apollinien". Comment définit-il la vulgarisation ? "Associer un lecteur à la connaissance en train de se faire". Une comparaison avec la définition du *Petit Larousse* montre la volonté de l'auteur

d'évoluer à sa guise dans un univers aux limites imprécises.

Tout ce qui précède est moins une critique qu'un avertissement au lecteur qui ne manquera pas de se laisser entraîner par un excellent style n'excluant pas les formules fortes ("le grand public est fait de grands enfants"), voire polémique : le début du 20<sup>e</sup> siècle est "une période où le mandarinat parisien fait des ravages. Pour ne prendre que l'exemple de la chimie, déjà considérablement affaiblie par le diktat de Marcelin Berthelot à l'encontre de l'enseignement de la théorie atomique, la Sorbonne est fermée aux personnalités de premier rang". "La chimiste Bianka Tchoubar soutient en 1946 sa thèse de doctorat. Elle échoue à convaincre son premier patron, Marc Tiffeneau, de la nécessité d'une interprétation théorique. Elle l'insère néanmoins, pour se heurter à une totale incompréhension de la présidente du jury, Mme Ramart-Lucas (...). Le déclin de la science française a coïncidé avec la montée d'un mandarinat obscurantiste (...). Du côté des journalistes, un verbiage prétentieux, d'allure philosophique, dénigre implicitement la science expérimentale. La schizophrénie est totale. Les scientifiques sont confinés dans le "fait expérimental". Et les beaux esprits sont parqués dans les idées générales, sans support concret."

C'est partial, sans doute, quelque peu éloigné du sujet, sûrement, mais c'est décourageant. On souhaite lire des mises au point aussi clairement exposées.

P. Laszlo est un esthète. Il nous fait partager sa conviction que l'efficacité d'un article ou d'un livre traitant de questions scientifiques pour des non-spécialistes dépend de ses qualités esthétiques. Une bonne moitié de son livre consiste en une analyse systématique (donc apollinienne) de tous les éléments d'un texte (vocabulary, styles, illustrations, présentations, etc). Les erreurs à éviter sont présentées sur des exemples bien choisis. Tous les scientifiques doivent nécessairement communiquer à autrui - supérieurs collègues, étudiants, publics - des idées ou des résultats expérimentaux. Ils pourront tirer grand profit de la lecture attentive de ce petit livre.

Exemples :

“Un bon titre doit être bref, provocateur, mi-sérieux, mi-opaque, mémorable”. Et de citer “Le hasard et la nécessité” de J. Monod, “Les trois premières minutes” de S. Weinberg, etc.

Soulignons une remarquable convergence avec le récent éditorial de P. Caro (*L'Actualité Chimique*, 1993, 2, 5) qui disait, “si l'on veut aujourd'hui “vulgariser” la chimie, la rendre aimable, il faut la romancer ou la poétiser, la sortir de son “look” scolaire, inventer des récits, des comédies, des personnages, les rendre familiers, les insérer dans l'imaginaire du lecteur”.

La rédaction de *L'Actualité Chimique* a beaucoup appris dans ce petit livre. Elle souhaite que tous les manuscrits qu'elle recevra désormais soient inspirés par la mise en application des préceptes de P. Laszlo. C'est dire combien chaleureusement elle recommande de les lire.

R. H.

#### BIOLOGICAL PROPERTIES OF METAL ALKYL DERIVATIVES (vol. 29)

Série “Metal ions in biological systems”  
*Helmut Sigel, Astrid Sigel.*  
Marcel Dekker, 1993, relié, 482 p.

La vingtième année d'existence de l'importance série de revues biochimiques “*Metal ions in biological systems*”, dirigée par Helmut et Astrid Sigel (université de Bâle) est marquée par la parution de son volume numéro 29 : “*Biological properties of metal alkyl derivatives*”.

Cet ouvrage est consacré aux divers aspects biologiques et biochimiques des dérivés alkyl-métal (ou métalloïdes) générés dans l'environnement, soit selon la voie biogéochimique, soit par l'activité industrielle, dans des proportions relatives qui dépendent de la nature de l'élément. La plupart du temps les micro-organismes anaérobies sont responsables des biométalalkylations observées.

Après deux chapitres généraux consacrés à la bioalkylation des éléments lourds et aux problèmes d'analyse des organométalliques dans l'environnement, les dérivés alkylés des éléments : germanium,

étain, plomb, arsenic et antimoine, sélénium et tellure, ainsi que cobalt (dérivés de la vitamine B12) sont traités dans des chapitres séparés, dont on appréciera la richesse de la documentation. On peut regretter que, pour des raisons matérielles, les très importants organo-mercuriques n'aient pu être traités ici ; ils n'apparaîtront que dans un prochain volume.

Pour le nickel, un chapitre très original à vocation à la fois biologique, biochimique et biophysique traite de la formation de méthane par les bactéries et analyse, particulièrement, le rôle fondamental que joue le coenzyme F430 (complexe tétrahydrocorphine de nickel) avec la formation d'intermédiaire Ni - CH<sub>3</sub>

Le dernier chapitre de ce volume a pour sujet la biosynthèse des halométhanes (méthylation des halogénures X- en CH<sub>3</sub>Cl, CH<sub>3</sub>Br, CH<sub>3</sub>I) qui constitue, quantitativement, la première source de pollution atmosphérique et marine en halogénure d'alkyle. Il n'est pas besoin de souligner l'importance planétaire de ces problèmes et l'utilité de telles revues susceptibles de stimuler de nouvelles voies de recherche dans des domaines encore trop peu développés.

Ce nouveau volume, dans lequel on retrouve l'aspect pluridisciplinaire généralement très remarqué dans toute la série, peut être apprécié aussi bien par les spécialistes que par des chimistes aux préoccupations assez éloignées des problèmes biochimiques.

Michel Maumy

#### GUIDE POUR LA MISE EN PLACE DE L'ASSURANCE QUALITÉ DANS UN LABORATOIRE D'HYDROLOGIE

*ASLAE (Commission Aqual)*  
Technique et Documentation-Lavoisier,  
1993, 194 p., 249 F

L'objectif de cet ouvrage est parfaitement résumé dans le titre. Il s'agit en effet d'un guide, c'est-à-dire d'un document auquel on pourra se référer pour avoir une précision sur un point particulier. Ce guide est destiné à faciliter la tâche des responsables de laboratoires qui désiraient instituer l'assurance qualité dans leur éta-

blissement. Il se présente donc comme une longue suite de conseils et de recommandations permettant de s'assurer que l'on n'oublie rien d'important. Ce guide comprend quinze chapitres qui traitent chacun d'une question bien particulière : la gestion de la qualité, la présentation du laboratoire, les relations avec l'extérieur, le personnel, les locaux, les prélèvements, la réception des échantillons, le matériel, les produits et les matériels consommables, les analyses, les bulletins d'analyse et la facturation, les archives, la traçabilité, les gestions des situations d'urgence.

Pour chacune des questions traitées, les auteurs donnent les définitions ou les descriptions lorsque cela est nécessaire. Ils indiquent les questions à examiner ou à mettre en place et les points à vérifier. Des exemples viennent illustrer certains thèmes. Quant aux fichiers et aux procédures, ils sont indiqués sur des pages spéciales afin de les distinguer du reste de l'ouvrage.

Le style est volontairement concis, sans fioriture aucune. Il s'agit le plus souvent de check-lists permettant de s'assurer que rien n'a été oublié. L'ouvrage est consacré essentiellement aux aspects techniques et comptables que l'on rencontre dans un laboratoire de contrôle. Comme l'indique la liste des sujets abordés, les auteurs ont été complets sur ces deux aspects et le responsable d'un laboratoire de contrôle trouvera là une aide précieuse pour introduire l'assurance qualité. Mais, toutes les grandes fonctions d'un laboratoire ne sont pas abordées. Les fonctions commerciales et financières qu'un laboratoire indépendant peut rencontrer ne sont pas traitées. Cela est bien dommage et restreint le champ d'application de l'ouvrage. On peut regretter aussi que les actions de progrès, comme l'adoption d'une nouvelle technique d'analyse ou le choix d'un nouvel appareil d'analyse, ne soient qu'à peine esquissées. Il faut également signaler l'absence de bibliographie.

Ce livre sera utile à tous ceux qui doivent mettre en place l'assurance qualité dans un laboratoire de routine n'ayant pas à prendre en compte les problèmes commerciaux ou financiers. D'un coup d'œil, ils pourront vérifier que les principales dispositions assurant la qualité ont bien été prises en compte.

Jacques Goupy

**GUIDE DES UNITÉS DE MESURE**

Jacques Libois

De Boeck-Wesmael, Bruxelles, 1993, broché, 140 p., 95 F

Ce recueil est avant tout un instrument de travail qui permet d'employer, d'écrire et de manipuler des unités du système international et leurs symboles sans risques d'inexactitudes. Il est destiné aux enseignants du secondaire, des écoles professionnelles et techniques, aux techniciens et aux étudiants du 1er cycle en sciences appliquées.

Mémento pour l'étudiant, il rappelle les conventions d'écriture, ce qu'il faut éviter d'écrire, les unités légales, présente la définition des unités, la précision des étalons et, sous forme de tableaux, la conversion des unités.

Ce guide des unités de mesure, destiné aux jeunes, sera également utile à tous ceux qui veulent se remettre en mémoire quelques définitions ou facteurs de conversion.

**ÉNERGIE, POLLUTION, ENVIRONNEMENT. LES ÉLÉMENTS DU DÉBAT**

Claude Ronneau

De Boeck - Wesmael, Bruxelles 1993, broché, 171 p., 125 F

L'excellente collection "Science-Éthiques-Sociétés", qui comprenait déjà une douzaine d'ouvrages traitant de grands thèmes d'actualité (manipulations génétiques, euthanasie, comités d'éthique, etc.), nous propose une étude de Claude Ronneau sur les relations entre énergie et environnement dans un esprit délibérément prospectif. Le sujet est, certes, très banal, ayant été abordé dans d'innombrables textes, certains très savants, la plupart dérisoires. Ce nouveau livre nous apparaît remarquable, car Claude Ronneau réussit à couvrir très complètement une vaste problématique en demeurant précis, concis et rigoureux, dans un style toujours clair. Le niveau des connaissances requises est limité, disons, en deçà de celui espéré pour un bachelier moyen.

L'expression "problématique", que nous venons d'utiliser eut été préférable au

substantif "débat", placé en sous-titre, qui est bien réducteur. Ce n'est pas un, mais de multiples interrelations scientifiques, technologiques, écologiques, économiques, humaines, constituant autant de débats bien actuels, que Claude Ronneau présente avec un exceptionnel sens pédagogique.

Autant dire qu'il s'agit d'un excellent ouvrage de vulgarisation qui ne confond pas simplification et simplisme, clarté et superficialité, interrogation et polémique. Tous les problèmes (on les sait nombreux, graves et difficiles) sont abordés. Les enjeux sont exposés. Les lecteurs, qui veulent en savoir plus, sont orientés, au terme de chaque chapitre, vers une documentation récente, raisonnablement accessible.

On peut souhaiter que ce livre soit largement diffusé dans les classes terminales de lycées, les écoles d'ingénieurs et les universités et, même, qu'il figure dans les bibliothèques personnelles des étudiants et de tout citoyen soucieux de comprendre l'un des éléments déterminants de l'évolution en cours de l'histoire humaine.

Claude Ronneau est professeur à l'Université Catholique de Louvain (Belgique) dont il dirige le laboratoire de chimie inorganique et nucléaire et où il dispense un cours sur la pollution et l'atmosphère. Il est donc très compétent pour aborder ce vaste et ambitieux sujet. Il le fait sans esprit militant, mais cela ne l'empêche nullement d'émettre maintes opinions et conclusions. Mais n'hésitons pas à en reproduire quelques-unes pour susciter une lecture plus complète de l'ouvrage.

D'entrée, Claude Ronneau ne dissimule pas ses sympathies pour le mouvement écologique. Voilà ce que l'on peut lire dans le tout premier paragraphe : "Les députés Écolo (*sic*) (au Parlement européen) sont vingt-huit à offrir au monde politique le fruit de leur expérience (...). Ils ont fini par s'imposer parce qu'ils ont réussi à convaincre qu'ils proposaient une alternative crédible au développement technologique débridé". Après une telle introduction, on pourrait s'attendre à un pamphlet partisan. Il n'en est rien. Au terme de l'ouvrage, on peut légitimement mettre en doute la crédibilité d'une quelconque alternative. Tout au plus est-on convaincu de devoir faire cesser le caractère "débridé" des développements socio-économiques (la démographie, par exemple).

Comment ne pas adhérer à l'affirmation que "l'énergie solaire n'est pas une *énergie alternative*, mais bien au contraire, elle est l'*énergie fondamentale* sans laquelle aucune vie sur terre n'aurait jamais pu exister. C'est peut-être jouer sur les mots mais, en réalité, ce sont les énergies artificielles, dérivées de combustibles fossiles, qui sont des solutions alternatives au solaire ?". Ceci étant dit, on peut lire une centaine de pages plus loin, cette autre évidence : "L'énergie solaire n'est relativement gratuite et abondante que si on se satisfait des caprices du temps et qu'on ne désire pas en profiter la nuit, ni surtout l'hiver ! Si l'on veut un meilleur service, durable, régulier, alors la note à payer enflé à la mesure des exigences et devient bien vite prohibitive".

A propos des dioxines "dont les émissions (dans l'atmosphère) ont surtout été attribuées à l'industrie chimique". Il est remarqué que, du fait de leur piètre rendement, "les foyers domestiques au charbon émettent, en absolu, plus de dioxines que les grosses installations industrielles. La fumée de cigarette en contient aussi (...), cela pourrait donner à réfléchir aux fumeurs." Toutefois, "Jusqu'à présent, il n'a jamais été possible de détecter, chez les personnes exposées aux dioxines, un quelconque accroissement de l'incidence des cancers ou des malformations à la naissance imputable à ces substances."

L'énergie nucléaire occupe, bien naturellement, une place importante dans ce livre. Affirmant que "nous ne pouvons juger de l'importance d'une nuisance qu'après l'avoir quantifiée et comparée à ce dont nous accable la nature", Claude Ronneau rappelle la diversité et l'ampleur des irradiations naturelles et relativise sur les conséquences de l'exposition aux rayonnements ionisants : "aucun effet génétique n'a jamais été attribué de manière univoque chez l'être humain à une irradiation accidentelle ou professionnelle".

Particulièrement intéressante est l'analyse des conséquences de l'accident de Tchernobyl. Sont présentées successivement les "vérités" soviétique, ukrainienne, de la presse occidentale, de la télévision, des biologistes, enfin celle du rapport de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (1991) ("probablement le compte rendu le plus détaillé et le plus objectif qui ait jamais été produit sur l'accident"). Voici quelques conclusions de ce rapport : "La dose à laquelle va être

exposée la population, durant les prochaines 50-70 années, ne dépassera pas 20 à 30 % de la dose provenant des radiations naturelles. La majorité de la population a reçu une dose égale à celle qu'un patient reçoit lors d'une radiographie normale. En Ukraine, il y avait 1 630 femmes enceintes : aucune anomalie inhabituelle n'a été observée, ni dans le déroulement de la grossesse, ni durant l'accouchement, ni dans l'état de santé des nouveaux nés, etc." Claude Ronneau écrit par ailleurs, "Dans des pays européens, le risque sanitaire *maximum* attribuable à l'accident de Tchernobyl équivaut, dans le pire des cas à ce que nous aurions pu encourir en fumant, en plus, cinq cigarettes."

On comprend que, dépassant ses sympathies "écologique", Claude Ronneau conclut que "l'énergie nucléaire, bien que controversée, est une (des) possibilités (qui) doit entrer en ligne de compte dans les analyses coût-bénéfice qui soutiennent les débats en matière d'environnement".

Après avoir discuté les sources solaires, éoliennes, hydrauliques d'énergie, parlé avec sympathie des "fermes énergétiques" (mais, "quel revirement pour l'Europe agricole !"), et des économies d'énergie et de matériaux, rejeté le charbon comme solution d'avenir, à cause de l'effet de serre ("bien que la réalité d'un accroissement de l'effet de serre soit loin d'être démontrée"), Claude Ronneau semble s'accrocher à l'espoir d'une mise en service de la fusion nucléaire de l'hydrogène qui "se dessine aujourd'hui comme, il y a une quarantaine d'années, la fusion de l'uranium". On peut ne pas partager cet optimisme, mais alors comment répondre à l'avertissement par lequel ce livre s'achève : "En fin de compte, si rien ne change, nos enfants ou petits-enfants risquent d'être les témoins impuissants de l'écroulement d'une planète Terre écrasée sous le poids d'une espèce un peu particulière... ?" Un livre à méditer.

R. H.

\*\*\*

## LIVRES PARUS

**Les Liposomes. Aspects technologiques et pharmacologiques**

sous la direction de J. Delattre, P. Couvreur, F. Puisieux, J.R. Philippot, F. Schuber.  
272 p., 310 F.  
EM Inter/Éditions Inserm, 1993.

**France-Plastiques 1993-1994**

(annuaire officiel des plastiques).  
1500 p., 616 F.  
CEPP Publications, Paris, 1993.

**Structure and Biological Effects**

(vol. 81, Structure and Bonding).  
Relié, 201 p., 168 DM.  
Springer-Verlag, 1993.

**Génie des procédés**

sous la direction de A. Storck, G. Grevillot.  
272 p., 250 F.  
Tec & Doc - Lavoisier, 1993.

**Le guide international des banques de données sur les brevets et les marques**

279 p., 370 F.  
FLA Consultants, Paris, 1993.

**Structure électronique et liaison chimique**

(collection Enseignement de la chimie)  
sous la direction de J.R. Lalanne.  
Broché, 319 p., 220 F.  
Masson, 1992.

**Chimie générale Mc Quarrie/Rock**

(3e édition)  
Broché, 1 100 p., 475 F.  
De Boeck Université, 1992.

**Foundations of Organic Chemistry**

par Michael Hornby, Josephine Peach.  
96 p., relié : 14,99 £, broché : 4,99 £.  
Oxford Science Publications, 1993.

**The Chemistry of Natural Products**

(2e édition)  
sous la direction de R.H. Thomson.  
Relié, 560 p., 89 £.  
Chapman&Hall, 1993.

**Séquencage des acides nucléiques**

sous la direction de L. Maillet-Baron, T. Soussi.  
Broché, 256 p., 420 F.  
Tech et Doc-Lavoisier, 1992

**Drug Stereochemistry Analytical Methods and Pharmacology**

(2e édition), sous la direction de Irving W. Wainer.  
Relié, 432 p., 165 \$  
Marcel Dekker, 1993.

**Chimie des couleurs et des odeurs**

par M. Capon, V. Courilleau, C. Valette.  
Broché, 255 p., 125 F (+ 25 F de frais d'envoi).  
Culture et Techniques (IUFM, Nantes), 1993.

**Dictionary of Inorganic Compounds**

sous la direction de J. E. Macintyre.  
Relié, 5400 p. (5 vol.), 2750 £.  
Chapman & Hall, 1992.

**Dictionary of Analytical Reagents**

Relié, 1184 p., 595 £.  
Chapman&Hall, 1993.

**Nouvelles structures de matériaux**

sous la direction de J-C. Lévy.  
Broché, 200 p., 180 F.  
Masson, 1993.

**Guide des unités de mesure. Un mémento pour l'étudiant**

par Jacques Libois.  
Broché, 140 p., 95FF.  
De Boeck - Université, 1993.

**Guide des déchets toxiques en quantités dispersées.**

110 F.  
Afinege (Puteaux), 1993.

**Remedical Processes for Contaminated Land**

sous la direction de Malcom Pratt.  
148 p., 23 £.  
ICHEM, Rugby 1993.

**Guide de l'eau 1993-1994**

Relié, 950 p., 1 100 F.  
Pierre Johanet et Fils, 1993.

**France Composites 1993**

Broché, 472 p., 280 F.  
CEPP Publications, Paris, 1993.

**"Les composites dans l'art", gardiens de la mémoire et matériaux du futur**

220 p., 480 F.  
Centre de Promotion des composites, Paris, 1993.

## APPAREILS

### Spectromètres portables sur site

Le Spectroport, système d'analyse maniable, caractérisé par ses petites dimensions, en plus d'une excitation standard "arc" pour un contrôle anti-mélange rapide, peut être équipé d'un générateur "étincelle". Jusqu'à 20 éléments peuvent être sélectionnés selon des besoins spécifiques. L'élément délicat carbone peut être analysé. Parmi ses caractéristiques, notons : calcul automatique de la moyenne et des sigmas absolus et relatifs sur un nombre quelconque de mesures, impression de rapports de tri, stockage des résultats d'analyses, traitement des valeurs stockées.



L'appareil recherche une nuance ou confirme la nuance affichée en explorant sa banque de données qui peut être créée et modifiée selon les besoins particuliers. Autre nouveauté : le spectroflame Modula, un spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif pour l'analyse élémentaire simultanée et séquentielle.

*Spectro France, 1, rue Colonel Chambronn, 69005 Lyon-Bron. Tél. : 78.41.01.33. Fax : 72.37.06.49.*

### Quatre spectrophotomètres proches UV-visible

La société Safas présente ces spectrophotomètres, munis d'un monochromateur

à réseau de type Ebert à barre sinus, et d'un barillet de filtres anti-parasites, ils assurent une lumière parasite inférieure à 0,1 % à 340 nm, et inférieure à 0,5 % sur toute la plage spectrale. La plage spectrale est en standard de 330 à 1000 nm, et le courant d'obscurité est automatiquement compensé. Un filtre de calibration de longueurs d'onde est intégré, permettant leur contrôle et leur calibration. Le modèle 320 DKA est muni d'un clavier et d'un afficheur à cristaux liquides rétro-éclairé ; il permet la mémorisation de 30 protocoles d'analyse, et son fonctionnement est entièrement automatique, avec RS 232, sortie imprimante et sortie analogique en standard. Ces appareillages sont livrés en standard avec housse et une boîte de 6 tubes pour spectrophotométrie.

Safas annonce la parution de trois catalogues destinés à tous les laboratoires travaillant en UV-visible, en infrarouge ou en absorption atomique.

Catalogues disponibles sur simple demande.

*Safas, 10, quai Antoine 1er, 98000 Monaco Principauté. Tél. : 93.30.21.08. Fax : 93.30.91.08.*

### Spectromètre simultané de fluorescence des rayons X

Le spectromètre simultané PW 2600 est destiné à mesurer la composition chimique des solides, poudres et liquides. De forme compacte, il se caractérise par une technologie avancée de la source d'excitation, le tube à rayons X superprofilé SST (Super-Sharp Tube). Il est spécifiquement destiné aux analyses fiables de routine dans l'industrie telle que la production de métaux ferreux et non ferreux. Il est apte à identifier simultanément et en quelques secondes jusqu'à 28 éléments.

Piloté par ordinateur sous la dernière version du logiciel X40, conçu pour le traitement des données analytiques quantita-

tives, semi-quantitatives et qualitatives, il effectue des cycles complets d'analyse sans intervention manuelle.

On peut installer un goniomètre mobile, entièrement sous vide, qui présente pour la première fois une optique à cristaux courbes interchangeable et un système de détection optique directe de position (DOPS). Ceci permet d'obtenir une sensibilité aux éléments légers comparable à celle obtenue par la méthode des canaux fixes. Il présente une rapidité et une souplesse d'adaptation optimales pour procéder à des déterminations d'éléments non standard ou à des études spectrales.

*Philips, Division Science et Industrie, 105, rue de Paris, BP 105, 93003 Bobigny Cedex. Tél. : (1) 49.42.81.53. Fax : (1) 49.42.80.30.*

### Le ColorQuest II

Après le succès de son ColorQuest, la société HunterLab annonce le lancement d'un nouveau spectrophotomètre à sphère d'intégration : le ColorQuest II.

Il bénéficie de diverses améliorations techniques :

- Un porte-échantillon à mobilité linéaire et à multiples positions permet de placer de façon optimale n'importe quel type d'échantillon. Il reste en position ouverte et se referme par un serrage mécanique contrôlé (mise en place aisée de cuves de quartz très fragiles).



- Sur la face avant se trouve :
  - . le réglage de position du port spéculaire (inclus ou exclu) simplifiant l'utilisation et permettant des mesures rapides et précises,
  - . le choix d'exclure ou d'inclure des UV lors de mesures.
- Le logiciel associé à ColorQuest II détecte la position du filtre UV, celle du port spéculaire et ainsi, évite toute erreur de mesure.
- Très accessible pour l'utilisateur, le vaste compartiment de transmission du ColorQuest II reçoit tous supports spéciaux et facilite les mesures de toutes plaques de plastique transparentes avec une grande reproductibilité. Ainsi, en utilisation intensive, l'utilisateur change les échantillons sans perte de temps avec une grande précision.

HunterLab, Euro CAP, 19, rue de l'Université, 93160 Noisy-le-Grand. Tél. : (1) 43.04.20.20. Fax : (1) 43.04.16.63.



aux différentes demandes des utilisateurs. L'unité peut évoluer, par addition de différents éléments, vers un système entièrement automatisé (utilisation 24 h/jour). La colonne chromatographique, de 300 mm de diamètre intérieur, est équipée de la technologie de la compression axiale dynamique (DAC). La configuration de la colonne est "inversée" (tête en bas). Cette configuration permet la pleine utilisation du système d'automatisation, incluant les opérations de remplissage et de vidage de la colonne et évite ainsi à l'opérateur tout contact avec les solvants organiques utilisés.

La longueur maximale du lit chromatographique est de 600 mm, pour un volume de 38 litres. Des capacités de production de 500g/inj. sont normalement atteintes avec ce système.

Prochrom SA, M.A. Olalde, BP 9, F-54250 Champigneulle. Tél. : 83.31.22.44. Fax : 83.31.20.51.

### Générateur autonome de gaz de laboratoire pour spectromètre IR-TF

Le générateur Balston 74-5041 permet de purger les spectromètres IR-TF avec un gaz de haute pureté. La vapeur d'eau est éliminée à - 70 °C de point de rosée sous pression et le CO<sub>2</sub> à moins de 1 ppm. Il dispense donc l'opérateur de recourir à l'utilisation de bouteilles d'azote, chères et peu pratiques.

Ce générateur est constitué d'éléments issus de la plus haute technologie : com-

presseur sans huile, préfiltres, filtres finaux et sécheur d'air éliminant le CO<sub>2</sub>. L'ensemble de ce système délivre un gaz de purge exempt de particules et de liquides en suspension de taille supérieure à 0,1 micron, avec un débit de purge aussi élevé que celui fourni par l'azote.

Balston, The Filter Systems Division of Whatman, BP 255, 4, avenue de la Créativité, 59665 Villeneuve D'Ascq. Tél. : 20.47.38.39. Fax : 20.47.30.48.

### Nouvelles perspectives en microscopie

Olympus propose un nouveau concept de la microscopie : BX-Système qui succède à la gamme BH2.

Deux statifs de base sont proposés au choix :

- le BX 50 équipé d'une lampe halogène 100 W pour toutes les méthodes d'observation et la photomicrographie.

- le BX 40 équipé d'une lampe halogène 30 W pour les besoins courants du laboratoire.

Olympus propose également deux nouveaux systèmes en photomicrographie : PM30 et PM20. Ils remplacent les systèmes PM10 AD et PM10 ADS de réputation bien établie.

Réaliser des prises de vues parfaites dans les conditions les plus défavorables, telle est la tâche dont s'acquittent les systèmes PM30 et PM20.

Outre le contrôle automatique d'exposition, des algorithmes spécifiques permettent d'optimiser les résultats.

L'interface RS-232C intégrée permet la connexion sur imprimante ou sur PC, assurant à distance le déclenchement de l'obturateur et le réglage des données.

SCOP, 27-33, rue d'Antony, Silic 165, 94533 Rungis Cedex. Tél. : (1) 45.60.23.00. Fax : (1) 46.86.76.14.

### Un diffractomètre de poudres à rayons X multifonctions

Le X'PERT-MPD que Philips a présenté au salon de la Physique 93 est un diffractomètre de poudres multifonctions intégrant un ensemble d'innovations technologiques :

- Un goniomètre  $\theta$ - $\theta$  à codage optique conçu pour mesurer directement l'angle

### Améliorations des performances pour le FT-IR System 2000

Les nouveaux System 2000 de base de Perkin Elmer sont livrés avec des performances améliorées pour les deux critères les plus importants d'un spectrophotomètre FT-IR. La résolution a été portée en standard à 0,3 cm<sup>-1</sup> (option 0,15 cm<sup>-1</sup> et le rapport signal/bruit a été porté jusqu'à mieux que 30.000/1 RMS, 6.000/1 pic à pic pour une mesure de 5 s à 4 cm<sup>-1</sup> de résolution (détecteur DTGS, séparatrice KBr). Ces améliorations fournissent au spectroscopiste une sensibilité sans rivale pour une utilisation en routine. Le logiciel fonctionnant dans un environnement Windows 3.1 ajoute à la facilité d'utilisation de l'ensemble.

Perkin Elmer, BP 304, 78054 Saint-Quentin-en-Yvelines Cedex. Tél. : 30.85.63.63. Fax : 30.85.63.00.

### Chromatographie liquide haute performance

Prochrom présente son nouveau système de chromatographie liquide haute performance destiné à la production industrielle. LC 300.100 I, est conçu pour s'adapter

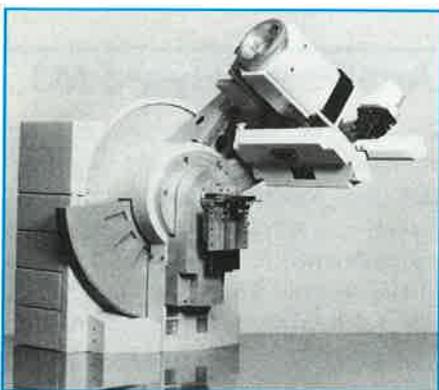
2  $\theta$ , pour le fonctionnement en  $\theta$ - $\theta$  ou en 2  $\theta$ , éliminant toutes les erreurs dues aux phénomènes mécaniques.

- Un tube à rayons X avec une isolation haute-tension en céramique et non plus en verre, présentant des avantages innovants : une meilleure stabilité et reproductibilité de la position du point de focalisation, une réduction du poids et de la taille de l'ensemble tube-gaine ainsi qu'une diminution des risques de pannes du tube particulièrement dans les environnements humides. Un système de "surveillance" piloté par ordinateur permet d'augmenter la durée de vie du tube.

- Une console ergonomique, avec une enceinte de protection, comporte le "tableau de pilotage" du diffractomètre, un générateur de rayons X haute fréquence, l'électronique de commande avec microprocesseur et une étagère pour les accessoires.

- Le logiciel d'acquisition de données et d'analyse mis au point pour le X'PERT-MPD fonctionne sous MS-Windows. Il peut aussi contrôler simultanément deux diffractomètres permettant ainsi à deux opérateurs une utilisation véritablement indépendante, sans interférence.

*Philips, Division Science et Industrie, 105, rue de Paris, BP 105, 93003 Bobigny Cedex. Tél. : (1) 49.42.81.53. Fax : (1) 49.42.80.30.*



## Lyophilisateur de recherche

Un nouveau lyophilisateur de recherche avec un piège séparé en châssis monobloc, de conception compacte, est présenté par Usifroid.

Disponible avec des surfaces d'étagères allant de 0,13 m<sup>2</sup> jusqu'à 0,65 m<sup>2</sup> avec une capacité de piégeage de 12, 25, 37 kg,

le lyophilisateur Blueline peut être ou non équipé d'un système de bouchage.

Un choix de contrôles par microprocesseur, du plus simple au plus sophistiqué, incluant un enregistreur, est proposé avec également l'option simple compresseur, double compresseur, ou compresseurs en cascade pouvant être refroidis soit par eau soit par air.

Les cuves de lyophilisation et de condensation sont munies de portes en Plexiglass avec une mécanique de fermeture très simple. L'accès à la machinerie se fait par les panneaux latéraux facilement démontables.

*Usifroid, BP 123, 28-30, rue Claude Bernard, 78312 Maurepas. Tél. : 30.13.18.70. Fax : 30.62.54.77.*

## Homogénéisateurs de laboratoire

Le modèle L4R de Silverson est un agitateur - homogénéiseur - émulseur - déintegrateur - disperseur à haute vitesse et à usages multiples incorporant un dispositif électrique pousse-bouton pour la montée et la descente de l'appareil sur son support.

La tête de travail rotor/stator Silverson a une triple action positive : cisaillement hydraulique, cisaillement mécanique dans l'entrefer rotor/stator et circulation intense de l'ensemble du bain. Spécialement dessinée, elle rend l'appareil polyvalent et permet de réaliser, selon le stator utilisé (5 fournis), aussi bien la simple agitation que l'homogénéisation, l'émulsion, la suspension, la dispersion ou même le broyage.

Avantages du nouveau L4R :

- une efficacité améliorée,
- un moyen facile et précis pour prévoir les performances des plus grandes machines industrielles dans des conditions de travail identiques.

*Seris, 7, quai des Platanes, 91280 Saint-Pierre du Perray. Tél. : (1) 60.75.23.09. Fax : (1) 60.75.95.78.*

## Thermomètre infrarouge

Ircon lance un nouveau thermomètre infrarouge sans contact, le Modline 4 Série 43, optimisé en vue de son utilisation



pour des films plastiques transparents de faible épaisseur.

La surveillance et le contrôle précis de la température constituent un facteur essentiel dans tout procédé de fabrication ou de traitement des plastiques. Une technologie sans contact telle que l'infrarouge est idéalement adaptée à cet usage car elle permet une surveillance permanente de la température sans interrompre ou perturber le procédé. Le thermomètre Série 43 est sensible à une bande étroite de radiations infrarouges centrée autour de 3,43 microns et possédant une largeur de bande de + 0,07 microns, c'est-à-dire celle où l'émissivité infrarouge de la plupart des polymères est maximale.

Parmi les matières dont on peut mesurer la température à l'aide de la Série 43, figurent notamment le polyéthylène, polybutylène, le polyuréthane, les vinyles et le nylon ainsi que les cires, les huiles et de nombreuses matières organiques.

*Ircon, BP 57, 77312 Marne-la-Vallée, Cedex 2. Tél. : (1) 60.06.78.67. Fax : (1) 60.06.28.00.*

## Sonde de conductivité inductive

La division Polymetron de Zellweger, lance son nouveau capteur de conductivité modèle 8335, utilisant le principe inductif.

Une construction totalement en PVDF autorise un fonctionnement permanent jusqu'à 140 °C, une réponse rapide en température et une pression maximale d'utilisation de 10 bar.

La version CIP pour l'industrie de la biotechnologie et l'industrie alimentaire est conçue pour être biologiquement sûre et stérilisable. Les versions pour autres applications industrielles permettent le montage en écoulement ou en immersion.

Zellweger, Division Polymetron, 33, rue du Ballon, 93166 Noisy-le-Grand Cedex. Tél. : (1) 43.05.70.00. Fax : (1) 43.05.77.08.

## Filtration aqueuse

Whatman International lance FilterCup, un nouveau type d'instrument jetable pour rendre la filtration aqueuse plus commode et plus sûre.

Les FilterCups sont recommandés pour filtrer des acides faibles ou dilués, des bases, des alcools aliphatiques ou d'autres solutions aqueuses. Ils sont peu coûteux et orientés sur des applications où la commodité, le temps et la prévention des contaminations sont des points cruciaux. Ils sont un moyen idéal lorsqu'il s'agit de filtrer de grandes quantités d'échantillons.

Ils se composent d'une chambre en polystyrène de grande capacité comprenant un filtre monobloc pourvu d'un média filtrant à choisir parmi sept qualités de cellulose et six de microfibres de verre. Toutes offrent une surface filtrante de 31,2 cm<sup>2</sup>.

Bien que conçus pour des emplois multiples, ils sont principalement destinés à la filtration sous vide. C'est pourquoi le FilterCup est encliquetable sur une base en polypropylène FilterCup réutilisable. Cette base est compatible avec les flacons et les adapteurs courants de filtration sous vide.

Whatman International Ltd., Whatman House, St Leonard's Road, 20/20 Maidstone, Kent ME16 0LS, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (622) 676670. Fax : +44 (622) 677011.

## Un filtre à seringue de faible volume

Anatop IC est un filtre à seringue de 0,2 m disponible en 10 et 25 mm de diamètre. Il contient la membrane inorganique Anopore unique en son genre. Outre la structure micrométrique de ses pores et sa composition inorganique, cette membra-

ne présente un taux d'extractibles négligeable et une excellente efficacité de filtration. La combinaison de la membrane Anopore, de son boîtier en polypropylène sans pigments spécialement conçu et l'absence d'adhésifs assure une efficacité incomparable pour les applications délicates.

Whatman International Ltd., Whatman House, St Leonard's Road, 20/20 Maidstone, Kent ME16 0LS Grande-Bretagne. Tél. : +44 (622) 676670. Fax : +44 (622) 677011.

## Coffrets de mise au point d'applications d'extraction en phase solide

Chaque coffret contient 60 dispositifs d'extraction, soit cinq fois douze supports différents allant de C<sub>18</sub> à l'échange d'ions. Ces coffrets sont disponibles sous forme de colonne, ou sous forme de cartouche utilisée conjointement à une seringue.

Deux de ces coffrets sont disponibles avec des dispositifs d'extraction munis d'un filtre unique en son genre. Ceux-ci apportent l'avantage de permettre la filtration et l'extraction en phase solide en une seule opération.

Whatman International Ltd., Whatman House, St Leonard's Road, 20/20 Maidstone, Kent ME16 0LS, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (622) 676670. Fax : +44 (622) 677011.

## Dosage et distribution exacte de l'eau ultrapure

Avec le nouveau dispensateur de circulation Seralplus - une nouvelle unité de prélèvement flexible - Seral Systèmes d'eau ultrapure offre une innovation de pointe pour le système de post-traitement Seralpur PRO 90 CN.

Le système possédant une prise d'eau centrale est en mesure - grâce à un second robinet de prélèvement - de doser et distribuer exactement des quantités d'eau ultrapure minimales. Un tuyau flexible en spirale élastique assure une plus grande liberté de mouvement et un rayon d'action élargi. Le nouveau procédé de



recirculation exclut le danger d'une auto-contamination à l'intérieur de ce distributeur-doseur. De plus, un filtre à diaphragme 0,2 µm, monté en aval, retient de manière fiable les particules et les microorganismes. Il peut ainsi assurer la production et le prélèvement de l'eau ultrapure pour les méthodes d'analyses délicates telles que chromatographie en phases liquide sous haute pression (HPLC), spectroscopie atomique (AAS) et chromatographie ionique (IC). La qualité de l'eau ultrapure produite répond aux normes internationales telles que ASTM-1, CAP et NCCLS. La conductivité est de 0,055 µS/cm (18,2 Mohm.cm) à 25 °C, avec une teneur en TOC de < 20 ppb.

Seral Erich Alhäuser GmbH, Postfach 551, Industriegebiet Struth, D-56235 Ransbach-Baumbach, Allemagne. Tél. : +49 26 23 - 8 91 0. Fax : +49 26 23 - 8 91 2 20.

## Analyseur Hygro M3

Le nouvel analyseur Hygro M3 de General Eastern permet la mesure simultanée des trois paramètres fondamentaux de l'analyse hygrométrique des gaz : température de rosée, température sèche et pression. Cet appareil est un véritable calculateur qui détermine, à partir de ces mesures extrêmement précises, tout paramètre du diagramme de l'air humide (T° humide, enthalpie, rapport de mélange, ppm, g/m<sup>3</sup>, etc.).



Une fonction utilisateur peut être définie à partir des 20 données disponibles et d'opérateurs arithmétiques. La fonction utilisateur se programme via interface RS 232, et peut être affectée au menu de n'importe laquelle des trois fenêtres d'affichage. Les paramètres mesurés ou calculés peuvent être attribués librement et indépendamment aux 3 sorties analogiques, aux 3 relais d'alarmes et aux données transmises par liaison série.

*Elcowa, 16, rue J. Siegfried, BP 2476, 68057 Mulhouse Cedex. Tél. : 89.43.54.58. Fax : 89.42.85.50.*

## Tension interfaciale dynamique

Le tensiomètre Krüss DVT-10 mesure la tension interfaciale en dehors des conditions d'équilibre, par la méthode du volume de goutte.

Cette technique permet ainsi d'évaluer l'efficacité d'un tensio-actif dans des conditions dynamiques telles que le nettoyage de surfaces solides, le dégraissage lors d'un lavage et d'une émulsification. Dans tous ces cas, de nouvelles interfaces huile/eau sont créées rapidement et donc une mesure en conditions dynamiques donne les informations complémentaires essentielles à une caractérisation complète du tensio-actif.

Grâce à un capteur optique, le microprocesseur central du DVT-10 détecte les intervalles de temps entre le décrochage de chaque goutte.

Le débit de liquide délivré par la pompe à seringue étant connu, le volume de chaque goutte peut ainsi être déterminé.

Enfin, les valeurs de tension interfaciale sont calculées et directement affichées par le DVT-10. La conception originale du capillaire (diamètre 254  $\mu\text{m}$ ) offre une reproductibilité des valeurs de l'ordre de 1 % sans avoir à corriger celles-ci.

*Krüss GmbH (France), 38-40 avenue Jean-Jaurès, 91120 Palaiseau. Tél. : (1) 69.81.94.94. Fax : (1) 69.81.95.48.*

## Transmetteur d'humidité relative RH/RHT

La série des transmetteurs RH (humidité relative) et RHT (humidité relative + tem-

pérature) est constituée d'appareils compacts et fiables utilisant les technologies les plus avancées en la matière.

L'élément sensible % HR est à base d'une couche mince d'un polymère résistif dont on mesure la résistance, non pas en surface mais dans l'épaisseur. Il est très peu sensible à la présence de contaminants de surfaces.

La plage de fonctionnement est de 0 à 99 % HR sans condensation pour l'hygrométrie et de -40 à +80 °C pour la température. Pour chaque application, il existe des configurations différentes.

*Elcowa, 16, rue J. Siegfried, BP 2476, 68057 Mulhouse Cedex. Tél. : 89.43.54.58. Fax : 89.42.85.50.*

## Détermination de substances nocives dans le sol



Pour la détection de substances nocives dans le sol, une technique particulière a été développée : la sonde Dräger Stitz pour la mesure de l'air du sol

Associée aux tubes Dräger à indication directe ou échantillonneurs, cette sonde constitue un dispositif de mesure extrêmement simple, rapide et économique.

Ce dispositif récemment développé n'est pas seulement utilisé pour le repérage d'anciennes décharges. Bien plus, il sert actuellement à effectuer des contrôles réguliers dans le sol de zones à risques ; des stations-service jusqu'aux grandes industries.

*Dräger Industrie, 3, route de la Fédération, BP 141, 67025 Strasbourg Cedex. Tél. : 88.40.76.76. Fax : 88.40.76.67.*

## Comptage/ granulométrie

Multisizer IIe, la toute dernière version du compteur Coulter, autorise l'analyse de suspensions plus concentrées tout en conservant la qualité du comptage absolu, grâce à de nouveaux circuits de traitement du signal dérivés des applications médicales. Un index de saturation situé sur l'instrument permet d'effectuer la mesure dans des conditions optimales.

Travaillant sur une plage de 0,4 à 1200  $\mu\text{m}$  avec une résolution extrême, il reste le seul instrument capable de mesurer le volume exact des particules - indépendamment de leur forme ou de leurs propriétés optiques - et ce avec une sensibilité de 0,05  $\mu\text{m}^3$ .

Coulter Série LS est une gamme nouvelle basée sur la diffraction de Fraunhofer et la diffusion de Mie. Destinée à la recherche comme au contrôle, elle offre la plus grande dynamique de mesure du marché : de 0,1 à 900  $\mu\text{m}$  en une seule plage, sans changement de lentille.

Partant d'un banc optique commun : LS 100 (0,4 à 900  $\mu\text{m}$ ) ou LS 130 (0,1 à 900  $\mu\text{m}$ ), trois modules d'échantillonnage peuvent se connecter et se permuter instantanément pour répondre à tous les cas de figure :

- Analyse en milieu aqueux : module standard.

- Grand volume de liquide pour une meilleure représentativité de l'échantillon.

- Capacité de maintien en suspension de particules très denses.

- Analyse en milieu organique : module de haute sécurité pour solvants.

- Volume de liquide et masse d'échantillon réduits. Possibilité de recyclage des solvants. Sonde ultrasonique.

- Analyse sur poudres dans l'air : module voie sèche.

- Dispersion simple et efficace sans projections extérieures.

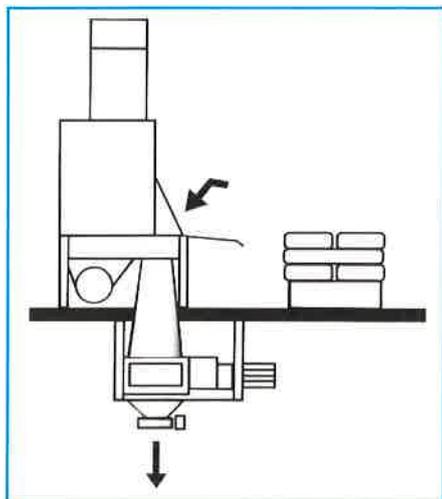
*Coultronics, 29, avenue Georges Pompidou, 95580 Margency. Tél. : (1) 34.27.20.00. Fax : (1) 34.16.12.23.*

## Réduction des blocs, des morceaux et des agglomérats

Le désagglomérateur "Nibleur" (Gericke, Argenteuil) peut réduire des agglomérats jusqu'à 250 mm de côté ou des morceaux plus grands avec une faible consommation d'énergie. Le nibleur comporte des grilles de différentes tailles permettant de produire des granulés de 2 à 25 mm.

Le réducteur fonctionne avec une vitesse circulaire faible.

On choisit le type d'appareil selon le débit souhaité et selon la taille des blocs ou morceaux à y insérer.



Une autre application type du nibleur est le recyclage des déchets périmés comme, par exemple, celui des produits alimentaires ou chimiques.

Gericke, 7, rue Guy Moquet, ZI du Val-d'Argent, F-95100 Argenteuil. Tél. : (1) 39.98.29.29. Fax : (1) 39.82.29.74.

## Le doseur répartiteur pondéral

Le doseur répartiteur pondéral permet un dosage de haute précision sur une largeur donnée : soit pour saupoudrer sur des tapis, soit pour alimenter des mélangeurs ou des enrobeurs.

Un système de réglage rapide de la "fente" de saupoudrage permet une adaptation de l'appareil, soit à la surface à saupoudrer, soit à la taille du mélangeur à alimenter.

Tous types de produits peuvent être ainsi dosés : sucre, sel, amidon, riz soufflé, talc, poudre colmatante, fromage râpé, etc.

Ce matériel déjà installé dans des industries agro-alimentaires et chimiques est entièrement démontable et permet un nettoyage très rapide.

Pari, 18, avenue du Bois Préau, BP 31, 92502 Rueil-Malmaison Cedex. Tél. : (1) 47.08.92.09. Fax : (1) 47.14.13.11.

## Électrovalve à grand débit

Les électrovalves Bacosol 3/2 voies Universelle à grand débit fonctionnent indifféremment en version normalement fermée ou ouverte. Elles sont recommandées pour les applications industrielles exigeant performances, robustesse et fiabilité. Ce type d'électrovalves a la particularité d'avoir ses raccordement uniquement sur le corps de valve. La versatilité de la gamme Bacosol permet l'emploi de fluides de toutes natures sous pression ou dépression. Les électrovalves Bacosol sont particulièrement adaptées aux automatismes contrôlés par microprocesseurs ou automates programmables.

Les applications typiques sont notamment les automatismes de tous types, la commande de cylindres hydrauliques ou pneumatiques comme sélecteur de circuits, valves de mélange, les machines d'emballage, l'industrie alimentaire, les machines à imprimer pour le déplacement du papier, les techniques du vide industriel, les techniques d'analyse, la chimie, etc...

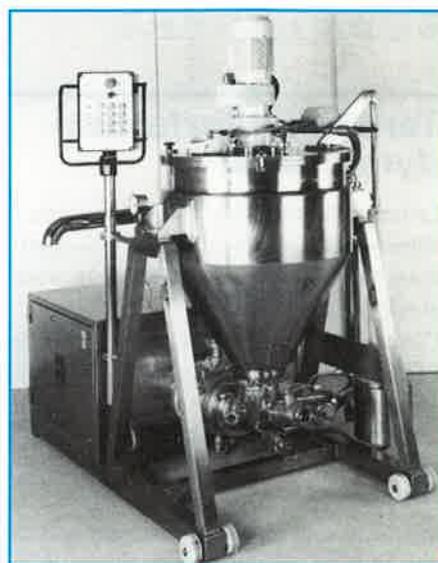
Fluid Automation Systems, ZI des Grands Prés, 1108, avenue de Colomby, BP 213, 74304 Cluses Cedex. Tél. : 50.98.40.99. Fax : 50.98.12.14.

## Installations de procédé

Dans l'installation de procédé Frymix, le processus de fabrication se déroule entièrement sous vide. L'installation est équipée d'un agitateur à deux sens de rotation (marche avant/arrière). Le système de broyage disperseur/émulsionneur de la Frymix se compose d'un rotor et stator denté, tournant à contre-sens, intégrés dans l'entraînement du racleur. Il est possible de régler l'écartement de disper-

sion/émulsion. Le réglage en continu de l'entraînement du rotor permet, de plus, de modifier la finesse de cisaillement ou de la maintenir à l'intensité choisie.

L'installation Frymix peut être employée pour la fabrication de n'importe quel produit liquide, crémeux ou pâteux. Cette installation de procédé est surtout utilisée pour la production de pommades, crèmes, lotions, sirops, pâtes dentifrice, sauces émulsionnées de toutes sortes (avec ou sans morceaux), etc.



L'installation de procédé Delmix est une machine à émulsionner sous vide qui permet de produire des émulsions et des suspensions de viscosités très diverses. Le produit part de la cuve pour passer plusieurs fois par une tête émulsionnante avant d'être ramené dans la cuve. La tête émulsionnante occupe une place centrale dans tout le procédé. Elle se comporte d'un rotor et d'un stator, tous deux pourvus d'une denture spéciale adaptée au produit. Ce système permet d'obtenir des finesses de dispersion extrêmes et des gouttelettes d'un diamètre minime (par exemple des gouttes d'huiles d'un diamètre inférieur à 5 µm).

Cette installation de procédé est surtout employée pour la production de mayonnaise, de sauces salade, de ketchup, de pâtes à tartiner, de crèmes pharmaceutiques et cosmétiques, d'assouplissants, de lotions, etc.

Fryma-Maschinen AG, Postfach 235, CH-4310 Rheinfelden, Suisse. Tél. : +41 61/831 60 75. Fax : +41 61/831 20 00.

## Un système d'étiquetage polyvalent et portable

Brady LS 2000 est un système d'étiquetage polyvalent et portable alliant confort d'utilisation et impression de qualité. Les étiquettes à sélectionner dans une gamme de 215 formats et 15 matériaux sont adaptées au repérage des fils et des câbles, au marquage de blocs de jonction, à l'étiquetage de composants et de cartes électroniques, à l'identification des panneaux de contrôle ou de produits divers.

Le chargement/déchargement automatique des étiquettes évite le gaspillage et un système automatique de guidage permet de les sortir par l'arrière de l'imprimante. Le moteur pas-à-pas assure un chargement rapide des étiquettes et maintient un positionnement précis de l'impression sur celles-ci grâce à un système de détection optique automatique.

Les informations sur l'étiquette avant impression sont visualisées sur un écran LCD de quatre lignes et vingt caractères. La tête "navette" du système garantit une impression de haute résolution comparable à celle d'une imprimante matricielle à 24 aiguilles.

*Brady, 2, place, Marcel Rebuffat, BP 362, Parc de Villejust, 91959 Les Ulis Cedex. Tél. : (1) 69.31.19.20. Fax : (1) 69.31.10.68.*

## Lampe UV germicide haute pression

La société Berson France, spécialisée dans le traitement de l'eau par rayons ultraviolets, élargit sa gamme de lampes UV.

La nouvelle lampe B 4000 haute pression offre une puissance germicide exceptionnelle correspondant à une dizaine de lampes basse pression classiques.

Les stérilisateurs UV Berson haute pression peuvent être équipés de cette nouvelle génération de lampes.

De tels systèmes sont destinés à traiter des débits importants de plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/h d'eau potable, usée et industrielle, avec seulement quelques lampes B 4000, ce qui rend l'installation très compacte.

Les dépôts sur les gaines de quartz, qui masquent les rayons UV, sont éliminés grâce au système de nettoyage intégré par simple poignée à tirer, sans interrompre le traitement et sans utiliser de produits chimiques.

La maintenance est donc réduite à son strict minimum puisqu'elle consiste à changer ces lampes B 4000 une fois par an sans avoir à vidanger l'appareil.

*Berson, 31, bd de Port-Royal, 75013 Paris. Tél. : (1) 43.31.15.31. Fax : (1) 43.31.36.79.*

# PRODUITS ET MATÉRIAUX

## Bayferrox : concevoir en couleur

Avec plus de 40 tonalités (jaune, orange, rouge, ocre, différentes nuances de brun, noir etc.), les pigments Bayferrox constituent le groupe de pigments le plus important pour la coloration du béton. La gamme est complétée par les pigments blancs, Bayertitan, le Vert oxyde de chrome et les pigments Lumière (10 tonalités allant du jaune au bleu en passant par le vert).

Une nouvelle brochure présente, à l'aide de nombreuses illustrations en couleur, une série d'ouvrages de construction internationaux réalisés avec les Bayferrox. Ces exemples de réalisations illustrent l'étendue de la gamme et les possibilités d'application quasi illimitées de ces oxydes de fer synthétiques qui vont des pavés, tuiles et articles finis en béton aux murs anti-bruit en passant par l'asphalte, les briques, les mortiers et les crépis. La brochure est adressée sur demande

*Bayer AG, K-ÖA/FP, D-51368 Leverkusen, W4, Allemagne. Fax : +49 0214/30-66426. (Référence n° PK 5112).*

## Secteur textile

Le bleu Acramin FFG 150 % et le bleu marine Acramin FBC 150 % de Bayer sont deux pigments destinés à l'impression offrant des avantages en matière de stockage et d'élimination des fûts, grâce à leur concentration portée à 150 %. Le bleu Acramin FFG 150 % permet en outre d'obtenir une nuance plus vive tirant moins sur le vert.

L'Acraconz BNP est un épaississant pouvant être pompé sans problème et dont le gonflement est retardé ; il a été spécialement mis au point par Bayer AG pour les installations de dosage entièrement automatiques utilisant une seule pompe d'alimentation pour les épaississements destinés à l'impression pigmentaire.

L'adouçissant Acramin SID de Bayer est une version perfectionnée de l'Acramin SI. Ce nouvel adouçissant à base de silicose pour l'impression pigmentaire est auto-émulsifiant et ne charge pas les rejets gazeux.

*Bayer AG, Konzernverwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen, Alle-*

*magne. Tél. : +49 214) 30-1. Fax : +49 214) 30 89 23.*

## Composés d'ammonium quaternaire CAQ

Les qualités désinfectantes et bactéricides des ammoniums quaternaires sont bien connues. Les CAQ sont solubles dans l'eau et facilement absorbables sur les surfaces formant une barrière protectrice. Ces tests conviennent au contrôle des solutions désinfectantes qui sont utilisées dans le domaine des industries pharmaceutiques et de transformation alimentaire. Leur application convient également au contrôle des eaux de refroidissement qui ont été traitées avec des algicides à base d'ammonium quaternaire pour assurer que les niveaux de traitement soient maintenus.

Il s'agit d'une méthode titrimétrique où le sulfate polyvinylique stabilisé est le titrant, et la toluidine bleue est utilisée pour indiquer la fin de réaction.

Les tests sont effectués avec des ampoules auto-remplissantes, donc rapi-

dité, simplicité et fiabilité. Chaque ampoule contient le réactif pré-dosé scellé sous vide pour assurer une durée de conservation pratiquement illimitée. Chaque coffret contient 30 tests. Des recharges sont disponibles.

*Interma-Chemetrics, Les Sablières, route de Maubec, 84580 Oppède. Tél. : 90.76.81.18. Fax : 90.76.85.69.*

## Film polyester à surface dure

L'Autoflex Antiglare serait le film polyester à surface dure le plus avancé du marché, du point de vue technique. Il répond aux combinaisons les plus recherchées de propriétés optiques pour les applications des claviers à membranes, des platines et plaques signalétiques. Son brillant de surface a été réduit à 45 % (mesure selon un angle de 60°) pour fournir une surface véritablement anti-éblouissante tout en maintenant une transparence optimale afin d'éliminer la distorsion des graphiques sur les affichages LCD/LED.

Le Fototex N Supermatt, vernis texturant, a été spécialement conçu pour les applications associées aux plaques destinées à l'industrie automobile. Il fait appel à un séchage azote/UV pour aboutir à des niveaux de brillant très bas et à un blanchiment minimal des graphiques en noir.

*Autotype International Ltd., Grove Road, Wantage, Oxon, OX12 7BZ, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (235) 77.11.11. Fax : +44 (235) 77.11.96.*

## La technique d'injection de gaz assure la rigidité d'un support d'écran en ABS

Le bourrelet qui entoure ce support d'écran en Novodur P2H-AT, ABS de Bayer AG, contribue largement à la rigidité de l'ensemble. La technique d'injection de gaz a permis de réaliser les rebords et la poignée sous forme de profilé creux, fermé et rigide. Cette technique réduit le poids et le temps de cycle tout en évitant les retassures.

*Bayer AG, Konzernverwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen, Allemagne. Tél. : +49 (214) 30.70.16. Fax : +49 (214) 30.6.64.26.*

## Électrodes pH/redox

La nouvelle génération d'électrodes Orbisint développée par la société Endress + Hauser pour le process a été conçue afin de pallier aux risques de contamination et de colmatage.

Que ce soit pour une électrode de pH, redox ou de référence, le principe Orbisint est un renforcement de la protection de l'élément de référence.

Un système de long pont électrolytique protège l'élément interne de référence (Ag/AgCl/KCl) vis-à-vis des toxiques. Noyé dans un électrolyte solide Polytex, ce principe de protection se trouve renforcé.

Un anneau en PTFE remplace le diaphragme problématique en céramique.

Sa porosité assure le contact électrique entre le Polytex, et le milieu. Peu enclin au colmatage par sa non-polarité, il justifie l'utilisation de l'électrode en milieu alimentaire.

Orbisint, est aussi une nouvelle gamme de verres pour travailler dans les plages de pH et de températures très larges.

*Endress+Hauser, 3, rue du Rhin, BP 150, 68331 Huningue Cedex. Tél. : 89.69.67.68. Fax : 89.69.48.02.*

## Émulsions alkydes

DSM Résines, la division résines du groupe chimique néerlandais DSM, introduit actuellement en France les émulsions alkydes. L'utilisation de ces matières premières (marque déposée Uradil) représente une percée dans la production de peintures à base d'eau.

*DSM Resins bv, Postbus 615, 8000 AP Zwolle, Pays-Bas, M. D. Versloot. Tél. : +31 38 284911. Fax : +31 38 284284.*

## Pompe pour le traitement des produits chimiques

Entièrement composée de Teflon PFA HP, cette pompe élimine le risque de

contamination ionique des produits chimiques ultrapurs utilisés dans la fabrication de semi-conducteurs et de produits pharmaceutiques, chimiques et biomédicaux.

Cette nouvelle pompe à commande pneumatique, appelée Ultrapure est fabriquée par la société Asti de Courbevoie. Elle a été adoptée dans le cadre du projet Jessi d'Eurêka, consortium regroupant des sociétés qui se sont engagées à fabriquer des puces à 64 Mo.

La pompe nécessite un minimum d'entretien puisqu'elle ne comporte ni parties métalliques sensibles à la corrosion, ni arbre rotatif ou presse-étoupe susceptibles de provoquer des fuites. Le mécanisme à commande pneumatique est accessible de l'extérieur, ce qui évite l'ouverture inutile du système et la contamination éventuelle des éléments internes de la pompe.

La version PFD2 de la pompe a un indice de fluidité réglable entre 0 et 20 L/min. Elle est capable de traiter des liquides de grande pureté, qu'ils soient corrosifs, inflammables ou stérilisés, à des températures comprises entre 0 et 100 °C.

*Asti, 13, av. de la République, 92400 Courbevoie. Tél. : (1) 43.33.17.70. Fax : (1) 43.34.06.66. 43.45.28.19.*

## Solvant pour encres "cold set"

Exxon Chemical vient d'élargir sa gamme d'Exx-print pour satisfaire la demande du marché des encres "cold set", et pour améliorer la viscosité dans les encres pour journaux.

Le nouveau solvant distille entre 300 et 330 °C. Son point d'aniline est 76 °C. Sa teneur moyenne en aromatiques polynucléaires est de 0,1 % en poids et les analyses n'ont pas relevé de présence de benzo-a-pyrène. Selon le projet de directive européenne sur les substances dangereuses, le produit ne sera pas classé substance cancérigène.

*Exxon Chemical, 31, place des Corolles, La Défense 2, Adresse postale : Cedex 31, 92098 Paris La Défense. Tél. : (1) 49.03.51.13. Fax : (1) 49.03.50.73.*

## Vainqueur au jeu de quilles grâce au polyuréthane

Le Baydur GS, système coulable de polyuréthane à base de matières premières de Bayer AG, permet désormais de réaliser également des boules pour le jeu de

quilles. La production en une seule coulée est plus rapide et plus économique qu'avec les résines phénolées.

Ce système PUR compact présente une masse volumique constante. Les boules testées en Allemagne par des joueurs de quilles de 1<sup>re</sup> division sont maniables, résistantes au choc et peuvent être produites dans toutes les dimensions et

teintes usuelles, y compris en coloris fluorescents.

En outre, le Baydur GS se prête à la réalisation de boules destinées par exemple au billard et au jeu italien de la "boccia".

*Bayer AG, Konzernverwaltung, Öffentlichkeitsarbeit, D-51368 Leverkusen. Tél. : +49 (214) 30-1. Fax : +49 (214) 308923.*

## PROTECTION - SÉCURITÉ

### Recharges et cartouches de filtre

Cabot Safety a lancé sa gamme de recharges et de cartouches de filtre Multi Star. Prévue pour une protection contre une grande variété de gaz, vapeurs, poussières, fumées, brumes de pulvérisateurs et pesticides, la gamme Multi Star est destinée à pratiquement toutes les applications.

Les nouvelles recharges légères, solides et résistantes sont en acier inoxydable ou en polymère de haute performance et conçues pour s'adapter aux applications individuelles.

Des grilles de charbon en aluminium qui allient résistance et légèreté sont incorporées aux recharges tandis qu'une couche absorbante de charbon actif de conception unique assure une protection idéale avec une faible résistance à l'air dans toutes conditions d'utilisation. La performance optimum est atteinte grâce à l'addition d'un élément filtre à particules en accordéon constitué de fibres de verres à haute capacité de rétention.

Les recharges de filtre Multi Star sont conformes aux normes EN141, EN143 ou EN371, selon l'application. Leur filetage est conforme à la norme EN148/1re partie.

*Cabot Safety Limited, First Avenue, Poynton, Stockport, Cheshire, England. Tél. : +44 625.878320. Fax : +44 625.877348.*

### Le demi-masque respiratoire Flexi-Star

Le Flexi-Star est muni de deux adaptateurs de filtres permettant d'employer une

large gamme de cartouches filtrantes. Il répond à la norme EN140.

Utilisé avec la gamme Multi Star de cartouches filtrantes, qui sont conformes aux normes EN141 et EN143, le Flexi-Star peut s'utiliser dans une grande variété d'environnements à risque. Selon le type de cartouche utilisée, ses applications comprennent les milieux à concentration limitée en gaz, vapeurs et particules toxiques que l'on trouve dans les industries chimiques, les processus d'électrolyse, de nettoyage et de dégraissage, les produits agrochimiques, les adhésifs, les peintures et vernis, le décapage à l'acide, les plastiques renforcés, les laboratoires, les industries de la réfrigération, ainsi que les encres et teintures.

*Cabot Safety Limited, First Avenue, Poynton, Stockport, Cheshire, SK12 1FJ, Grande-Bretagne. Tél. : +44 (625) 878320. Fax : +44 (625) 877348.*

### Pour la prévention des risques industriels

Grande Paroisse, filiale d'Elf Atochem, participe à une étude de danger du complexe chimique du Sud-Est toulousain. A cette occasion, elle effectuera un lacher de gaz à partir de son site de Toulouse (Haute-Garonne). Cette opération est réalisée par l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) sud-ouest, en collaboration avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (IMFT).

L'étude consiste à simuler la dispersion de polluants atmosphériques (accidents, ruptures de canalisation de gaz toxiques...) et de mettre en corrélation les résultats avec la micro-météorologie

locale (vents dominants, chaleur...), en utilisant comme traceur un effluent gazeux inoffensif : l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>).

Les micro-stations météorologiques viennent d'être installées. Les recherches doivent permettre de déterminer finement les coefficients de transfert atmosphérique en fonction de la turbulence atmosphérique. Ainsi, les résultats obtenus contribueront à se prémunir contre les accidents industriels.

*Elf Atochem, La Défense 10, Cedex 42, 92091 Paris-La -Défense. Tél. : (1) 49.00.80.18. Fax : (1) 49.00.80.50.*

### L'AEL au HCFC 123 passe à 30 ppm

DuPont de Nemours vient de fixer à 30 ppm la limite acceptable d'exposition (acceptable exposure limit ou AEL) au HCFC 123. L'AEL est la valeur moyenne du niveau de sécurité auquel peut être exposé un ouvrier durant une semaine normale de 40 heures.

Ce relèvement de l'AEL à 30 ppm est le résultat de plusieurs études de suivi menées depuis la fixation provisoire de l'AEL à 10 ppm en 1991. Il se base sur les nouveaux enseignements tirés d'études d'ergonomie, de neurotoxicité et de reproduction, corroborés par des essais d'inhalation sur deux ans et des essais de toxicité sur 90 jours menés avant 1991.

Le réfrigérant HCFC 123, également connu sous le nom de "Suva" est actuellement utilisé comme substitut au CFC 11 dans des installations de climatisation.

*DuPont de Nemours Int. S.A., Vivian Sheridan, Case Postale 50, CH-1218 Grand-Saconnex/Genève, Suisse. Tél. : +41 22 717 52 74. Fax : +41 22 717 60 77.*

# N É C R O L O G I E

## Charles Sadron (1902-1993)



C. Sadron fut un des créateurs de la science des macromolécules après la deuxième Guerre mondiale.

Charles Sadron est né à Cluis (Indre) en 1902 ; après avoir passé l'agrégation, il est nommé professeur de lycée à Strasbourg et, à côté de son enseignement, il prépare, dans le célèbre laboratoire de Pierre Weiss, une thèse sur les propriétés magnétiques des alliages, thèse qu'il soutient en 1932. Toujours intéressé par les nouveaux domaines, il s'oriente vers les problèmes d'hydrodynamique et obtient une bourse qui lui permet de passer 18 mois (1933-1934) au laboratoire de von Karman à Pasadena. De retour à Strasbourg, où il est nommé professeur en 1937, il met au point un appareil de mesure de la biréfringence d'écoulement et, avec une petite équipe, il se lance dans l'étude de l'effet Maxwell que présentent les solutions de substances que l'on appellerait maintenant macromoléculaires. Durant cette période, il fait faire de grands progrès à la théorie de l'effet Maxwell, mais surtout il s'intéresse aux macromolécules et essaie d'établir une systématique qui permette de déterminer les dimensions et la forme de ce nouveau type de produit.

Cette activité est brutalement arrêtée par la guerre durant laquelle l'université de Strasbourg est repliée à Clermont-Fer-

rand, d'où il est déporté en novembre 1943 avec un certain nombre de professeurs et d'étudiants de l'université.

Revenu à Strasbourg après la Libération, Sadron n'a perdu ni son dynamisme ni son énergie et se lance dans la création d'une équipe pluridisciplinaire chargée d'étudier tous les aspects de cette science naissante qui va de la biologie aux préoccupations industrielles. Le CNRS crée, en 1947, le Centre d'Étude de Physique Macromoléculaire (CEPM) puis, en 1954, le Centre de Recherches sur les Macromolécules (CRM) dont Sadron assure la direction jusqu'en 1967. Il a animé une équipe qui atteint 200 personnes et prit rapidement une stature internationale. Le premier problème qui se posait était de mesurer les dimensions moléculaires des macromolécules, qu'elles soient sous forme de chaînes flexibles ou de particules rigides. Par différentes techniques, on pouvait déterminer un certain nombre de paramètres suivant la méthode appelée "analyse homogène" mise au point par C. Sadron. Ce problème de caractérisation était justifiable des mêmes méthodes, que les macromolécules soient biologiques ou synthétiques ce qui explique la cohabitation dans le même bâtiment d'équipes travaillant dans ces deux domaines. Cette cohabitation devint de plus en plus difficile à mesure que les activités se diversifiaient, ce qui a exigé la séparation en deux instituts, l'un consacré aux macromolécules d'intérêt industriel (les polymères synthétiques), qui resta à Strasbourg, l'autre aux macromolécules biologiques (le Centre de Biophysique Moléculaire, CBM à Orléans) dont Sadron, qui entre temps avait été nommé professeur au Muséum d'Histoire naturelle, assura la direction et au développement duquel il participera bien après sa mise à la retraite.

De très nombreux élèves de C. Sadron occupent des positions éminentes dans l'industrie et dans l'enseignement supérieur. Sa personnalité et son enthousiasme ont eu une profonde influence sur les nombreux chercheurs qui ont eu l'occasion de travailler avec lui. Pour n'en citer qu'un J.B. Donnet, actuel président de la Société Française de Chimie, faisait partie de la première équipe du CEPM.

Ce court résumé de la carrière de C. Sadron est fort incomplet car il ne men-

tionne pas ses multiples activités pour organiser la vie scientifique en France, les relations avec l'industrie et la collaboration internationale. Je ne citerai que la Société de Chimie physique dont il assura la vice-présidence puis la présidence (1952-1964).

C. Sadron fut un grand chercheur et un grand patron. Il reçut les plus hautes distinctions nationales et internationales. Il était commandeur de la Légion d'honneur et titulaire des prix Hollweck et Jaecker. Son décès affecte tous ceux qui l'ont connu ainsi que la communauté scientifique tout entière. Nous présentons à sa famille toutes nos condoléances.

Henri Benoit

## Georges Mignonac (1889-1993)



Le chimiste le plus âgé de France, Georges Mignonac, s'est éteint, à Toulouse, le 15 septembre 1993 dans sa 105e année. Membre d'honneur de la Société Française de Chimie (dont il était aussi le membre le plus ancien), Georges Mignonac a eu une carrière non conventionnelle qui convenait parfaitement à son caractère indépendant.

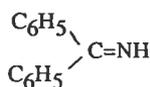
Fils d'un industriel pyrénéen, né à Tourney en 1889, au pied de ces montagnes qu'il chérissait, il profita de la création de l'Institut de Chimie de Toulouse, par Paul Sabatier, pour abandonner ses études secondaires et intégrer cette école en 1906. Ce parcours peu classique était dû à une malencontreuse typhoïde qui l'avait empêché de présenter le baccalauréat, et dont il profita pour mettre un terme au bachotage qu'il détestait.

Malgré ce handicap, c'est comme n°1 de sa promotion qu'il décrocha le diplôme d'ingénieur en 1909, diplôme qu'il prépara tout en assistant, pour son plaisir, au cours de physique de Bouasse et de Camichel.

Remarqué par Paul Sabatier, il commença une carrière de chercheur sous la direction de ce maître prestigieux régionaliste comme lui, dont il partageait à la fois l'amour de la chimie et le caractère intrançais. Profitant d'une bourse Rothschild, Georges Mignonac, rejoignit le laboratoire de Charles Moureu, d'abord à la Faculté de pharmacie de Paris, puis au Collège de France.

Pendant une dizaine d'années, G. Mignonac participa aux recherches de cette équipe remarquable, en s'illustrant personnellement dans le domaine de l'oxydation catalytique, de la caractérisation et synthèse de l'ypérite, de l'étude des dérivés azotés.

C'est dans cette période qu'il rencontra celle qu'il désignait toujours comme sa première élève : Jeanne Lévy qui devait devenir la première femme à obtenir une chaire à la Faculté de médecine de Paris. Après la Grande Guerre, une opportunité se présenta sous la forme d'une chaire de chimie à Mulhouse. De statut allemand, l'établissement mulhousien nommait des professeurs qui n'étaient pas docteurs (ce statut est resté en vigueur jusqu'à ces dernières années). Ce fut la période la plus féconde de la carrière de Georges Mignonac pendant laquelle il dirigea une quarantaine de thèses, tant sur les colorants que sur l'hydrogénation catalytique des nitriles dont il démontra le mécanisme. C'est au cours de cette dernière étude qu'il isola la première imine vraie, la diphenylcétimine :



Nommé à Strasbourg, un conflit avec le doyen de l'époque sur l'attribution des enseignements l'amènera à démissionner et à revenir à Paris au Collège de France. Paris où, pendant toute sa période alsacienne, il ne manquait pas de revenir chaque week-end au volant de sa célèbre Voisin. Fréquentant les milieux artistiques, il connaissait bon nombre de peintres, musiciens et écrivains célèbres. Maître de recherche à la Caisse Nationale des Sciences, il continua au Collège (où il existe des traces chimiques de son passage) son travail sur les imines. Mais... Paul Sabatier, qui l'estimait énormément, souhaitait qu'il revienne à Toulouse pour prendre sa succession. Obéissant aux pressions de son maître, Georges Mignonac entreprit de rédiger une thèse d'état qu'il soutint devant un jury présidé par Jean Perrin. Rédiger une thèse après en avoir dirigé 40 lui a beaucoup coûté et cela se voit à la lecture de l'ouvrage dont il profita de la rédaction pour régler ses comptes avec quelques collègues.

Succédant à Paul Sabatier (1933-1934), Georges Mignonac revint à Toulouse où il dut, malgré lui, prendre en même temps que la chaire la direction de l'Institut de Chimie. N'aimant pas les besognes administratives, auxquelles il préférerait la science, il eut la lourde tâche de gérer cet établissement pendant la triste période de la Seconde Guerre mondiale et cela jusqu'en 1950. Ce n'est qu'en 1959 que G. Mignonac "fit valoir ses droits à la retraite", qu'il mit longtemps à accepter oubliant même qu'il n'était plus en exercice et continuant à enseigner sans trop se soucier de la nomination de son successeur. Dans le petit laboratoire qui lui fut alors alloué, il continua à aller régulièrement travailler et cela après avoir largement dépassé les 80 ans.

Dans sa période toulousaine, G. Mignonac avait lancé un grand nombre d'idées et de travaux. Il rêvait, en 1940, de créer un institut des polymères. A cet effet, et grâce à des crédits industriels, il avait même fait construire un local. Il n'hésitait pas à s'engager dans des recherches très en avance pour son époque et maintenait dans son groupe deux types de recherches différentes :

- synthèse organique, surtout dans le domaine des composés azotés ;
- chimie physique avec, essentiellement : la mesure des moments dipolaires, l'étude des réactions sous l'influence de l'effluve électrique, la spectroscopie Raman.

Il est très difficile à l'auteur de ses lignes de donner une image exacte de sa contribution, car jamais ce savant remarquable ne rédigea "d'épreuves de titres". De plus "travaillant pour le plaisir", il publiait peu estimant que le contenu des thèses qu'il dirigeait était déjà une façon de diffuser ses travaux.

Pour ses élèves de recherche, il préférerait leur inculquer des méthodes de pensée ou des techniques de réflexions que de leur préciser leurs démarches. Cette attitude était aussi celle du pédagogue qu'il était. Oubliant ses notes, devant une quantité extraordinaire de flacons et d'éprouvettes, entouré de son garçon de laboratoire (prêt à effacer le tableau quand il était rempli) et de son assistant (inquiet de la prochaine expérience qu'il allait devoir réaliser en public et sans aucune préparation), il évoluait "racontant" la chimie, plutôt que l'enseignant.

Charles Moureu disait de lui qu'il avait "la chimie dans le sang". Ils se réconcilièrent peu avant la mort de Ch. Moureu et se retrouvèrent sur le quai d'une gare pyrénéenne face aux montagnes qui les avait vu naître.

Charles Mignonac ne savait sans doute pas facilement se livrer : il fallait le deviner. Distract, il donnait souvent l'impression de vivre dans un autre monde, celui sans doute ou évoluent ses maîtres, ses amis artistes, nombreux de ses élèves qui l'y ont précédé. Il vient maintenant de les rejoindre et on l'imagine aisément les retrouvant et les regardant à travers ses lunettes posées sur le bout de son nez. Sa cigarette aux lèvres - cigarette dont la cendre atteignait les 2/3 de la longueur et qu'il secouait dans le cendrier après que la cendre fut tombée sur ses vêtements -, il doit les saluer sans toutefois les nommer car s'il savait les noms chimiques les plus compliqués, il ne pouvait facilement se rappeler les noms de ses collaborateurs ou ceux des objets les plus courants. Cependant, il était fier de ses élèves dont il aimait à rappeler les réussites et les succès. Aujourd'hui qu'il n'est plus là, alors que toutes ces images se bousculent dans leur mémoire, ses élèves, eux, sont fiers de l'avoir eu pour maître.

A. Lattes

# Année de la chimie - Congrès de la Société Française de Chimie SFC 94 - Bicentenaire d'Antoine-Laurent de Lavoisier

Université Claude Bernard Lyon I  
La Doua-Villeurbanne - 26-30 septembre 1994

Conférenciers pléniers : Ph. Desmarescaux (Rhône-Poulenc), F. Diederich (ETH, Zurich), J. Riess (Université de Nice , Sir J.M. Thomas (Royal Institution, Londres), B.M. Trost (Stanford University), G. Wilke (Max Planck Institut, Mülheim).

8 sessions spécialisées, organisées par les divisions de la Société Française de Chimie, se dérouleront en parallèle

- **session 1** : division Catalyse. Responsable Michel Che.  
1/2 journée commune avec la division Chimie physique.  
1 journée commune avec les divisions Chimie de coordination et Chimie du solide.
- **session 2** : division Chimie analytique. Responsable Jacques Goupy.  
Deux 1/2 journées communes avec la division Matériaux polymères et élastomères
- **session 3** : division Chimie de coordination. Responsable Pierre Braunstein.  
Journée commune avec les divisions Catalyse et Chimie du solide  
1/2 journée commune avec la division Chimie physique.
- **session 4** : division Chimie organique. Responsable : Jacques Goré.
- **session 5** : division Chimie physique. Responsable Irène Nenner.  
1/2 journée commune avec la division Catalyse.  
1/2 journée commune avec la division Matériaux polymères et élastomères.  
1/2 journée commune avec la division Chimie de coordination
- **session 6** : division Chimie du solide. Responsable Maurice Maurin.  
Journée commune avec les divisions Chimie de coordination et Catalyse.
- **session 7** : division Matériaux polymères et élastomères. Responsable Bernard Sillon.  
Deux 1/2 journées communes avec la division Chimie analytique  
1/2 journée commune avec la division Chimie physique.
- **session 8** : division Enseignement de la chimie. Responsable Danièle Cros.

Renseignements : SFC, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : (1) 43.25.20.78. Fax : (1) 43.25.87.63.

## Index des annonceurs

FORUM HORIZON CHIMIE ..... 4<sup>e</sup> de couv.  
MAISON DE LA CHIMIE ..... 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> de couv.

## ABONNEMENTS 1993 (6 numéros)

**Membres de la SFC et de la SCI**  
Les membres des deux sociétés bénéficient d'un prix d'abonnement préférentiel de 420 F (TTC) à cette revue,

**Non-membres**  
France ..... 850 F (TTC)  
Europe et autres pays ..... 1 000 F  
(envoi par avion + 280 F)

**Chèques au nom de la SFC, CCP 7078-60 U Paris.**

En vente uniquement au siège de la SFC  
Prix du numéro : 200 FF

**L'ACTUALITÉ CHIMIQUE**  
250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris  
Tél. : (1) 43.25.20.78  
Télécopie : (1) 43.25.87.63

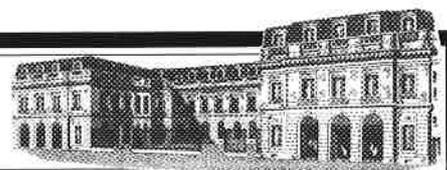
Directeur de la publication : Jean-Baptiste DONNET

© Société Française de Chimie. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 11 mars 1957, art. 40 et 41 et Code Pénal art. 425). Toutefois, des photocopies peuvent être réalisées avec l'autorisation de l'éditeur. Celle-ci pourra être obtenue auprès du Centre Français du Copyright, 6 bis, rue Gabriel Laumain, 75010 PARIS, auquel la Société Française de Chimie a donné mandat pour le représenter auprès des utilisateurs.

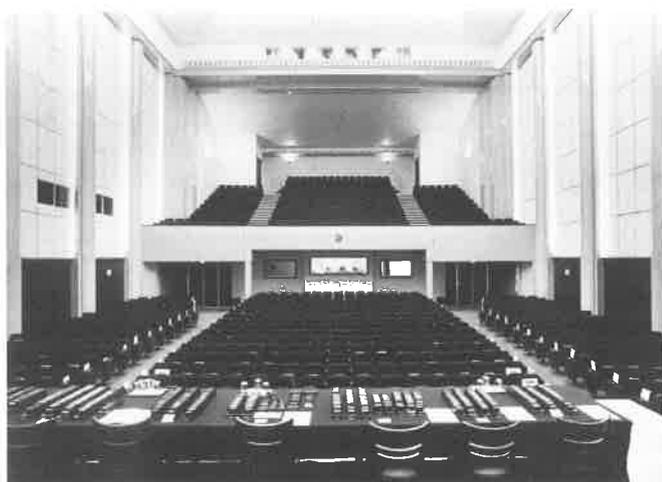
SPEI, 54420 PULNOY - Commission paritaire : 53953. Dépôt légal : janvier 1994.

# MAISON DE LA CHIMIE

*Centre International de Congrès*

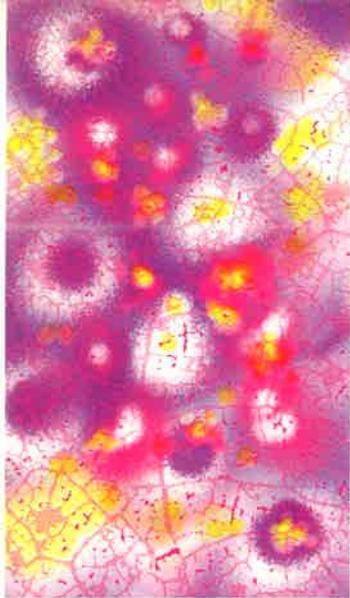


## RÉUNIONS & CONFÉRENCES



## REPAS & COCKTAILS





# VIII<sup>ème</sup> FORUM

# HORIZON CHIMIE

☞ Forum Etudiants-Entreprises :  
une quarantaine d'exposants.

☞ Conférence :  
"Chimie et Musique, le bruit des  
flammes" animée par le profes-  
seur CLAVIN du C.N.R.S.  
(Mercredi 19 Janvier 1994 à  
16h00).

☞ Exposition :  
"Le Génie Chimique".

☞ Présence d'une centaine d'étu-  
diants Européens

☞ Autres manifestations :

- Tables rondes sur les  
métiers de l'ingénieur.
- Simulations d'entretiens  
d'embauches.
- Corrections de C.V.
- Graphologie

***19 et 20 Janvier 1994***

***Maison de la Chimie***

*28 bis, rue St Dominique, Paris 7<sup>ème</sup>*  
*Métro Invalides*

*Ouverture de 10h à 17 h*  
*(entrée libre)*

*Renseignements : (1) 45.35.41.82*

**ESPCI - EHICS - ENSCP - ENSIC**