

SCIENCES
CHIMIQUES

LETTRES DES DÉPARTEMENTS SCIENTIFIQUES DU CNRS

**l'actualité
chimique**

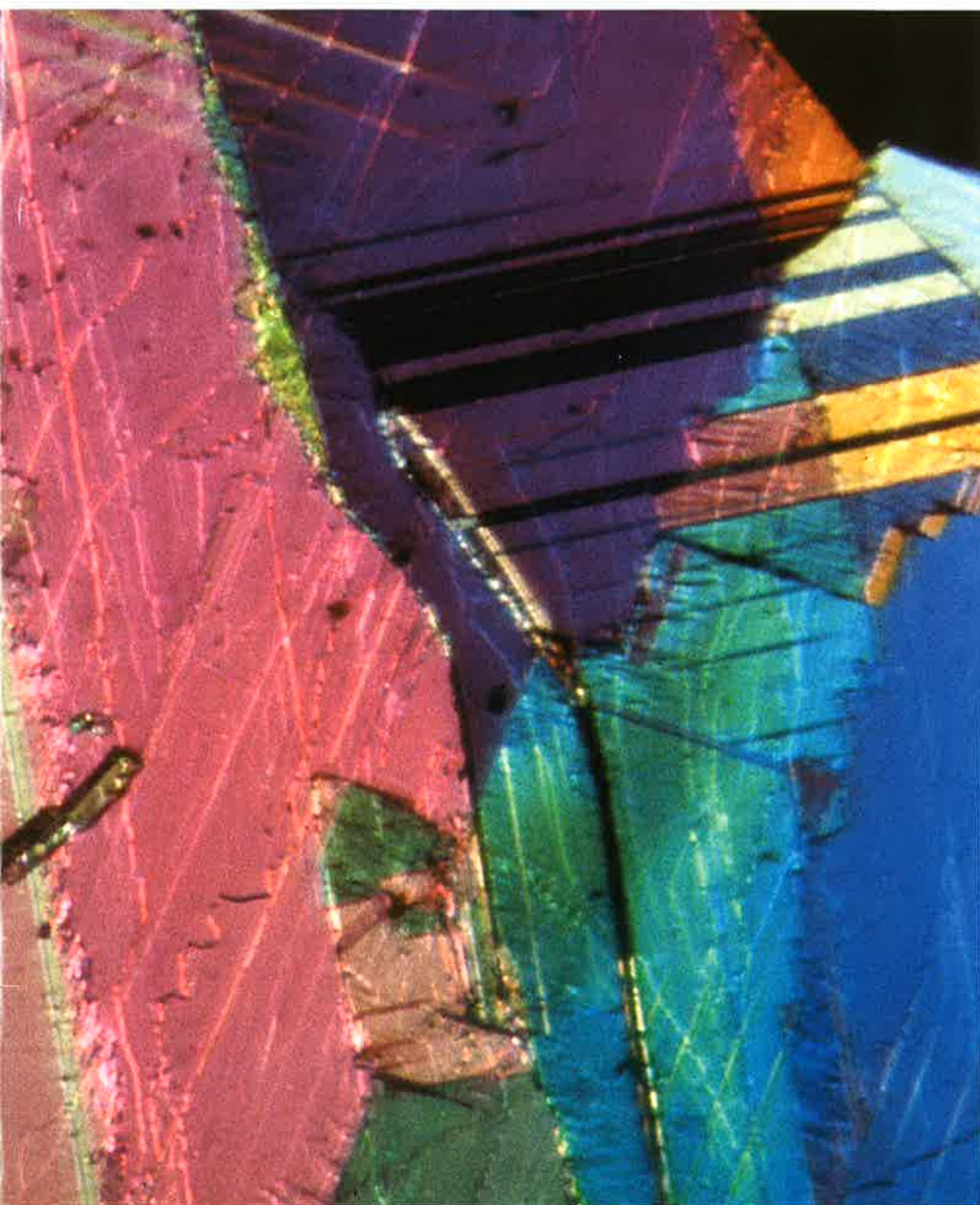
recherche - industrie - enseignement

n° 65

n° 3/mensuel

**Numéro spécial
CNRS/SFC**

Mars 1998



■ **Les matériaux
inorganiques**

■ **Pharmacie/
chimie :
quel
redéploiement ?**

CNRS

CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
3, RUE MICHEL-ANGE 75794 PARIS CEDEX 16 • TÉL. 01 44 96 40 00 • TÉLÉCOPIE 01 44 96 50 00

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE

SFC
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE

SOMMAIRE



| | |
|---|----|
| É D I T O R I A L | |
| • Une expérience à poursuivre ?, par J.-Cl. Bernier, M. Julia..... | 3 |
| R E C H E R C H E | |
| • Vers une meilleure concertation entre la recherche académique et l'industrie, par L. Mordenti, G. Schorsch..... | 4 |
| • Chimie des solides : une autre chimie, par J. Rouxel..... | 5 |
| Les matériaux d'électrodes | |
| • Matériaux d'électrodes pour accumulateurs électrochimiques plus performants. Un défi scientifique et économique, par J.-M. Tarascon, A. Percheron-Guégan..... | 12 |
| • Stockage électrochimique de l'énergie. Nouveaux besoins, nouveaux systèmes, par A. de Guibert..... | 15 |
| Les matériaux lasers | |
| • L'état solide, source de lumière laser, par G. Boulon..... | 18 |
| Ciment et béton | |
| • Ciment et béton : des matériaux à hautes performances, par P. Boch..... | 23 |
| • La prise du ciment, par J. Baron..... | 26 |
| Méthodologie de choix | |
| • La sélection des matériaux et des procédés. Méthodes rationnelles d'aide au choix, par Y. Brechet..... | 30 |
| • Logiciels d'aide à la sélection des matériaux et des procédés. Du laboratoire à l'entreprise, par D. Bassetti..... | 34 |
| I N D U S T R I E | |
| • Sciences de la vie et spécialités chimiques. Stratégies de redéploiement, par P. Desmarescaux..... | 36 |
| E N S E I G N E M E N T | |
| • De l'enseignement à l'éducation... tout au long de la vie, par G. Schorsch..... | 38 |
| A C T U A L I T É D E L A C H I M I E | |
| • Vie du CNRS..... | 39 |
| • Activités de la SFC..... | 42 |
| V I E P R A T I Q U E | |
| • Informations..... | 45 |
| • Manifestations..... | 48 |
| • Livres..... | 50 |
| • Bourse de l'emploi..... | 53 |
| N É C R O L O G I E | |
| - Henri Normant (1907-1997), par M. Julia..... | 54 |
| - Jean-Claude Martin nous a quittés, par G. Descotes..... | 55 |

LETRE DES SCIENCES CHIMIQUES/CNRS

Directeur de la publication
Jean-Claude Bernier
Directeur du Département

Réalisation
Communication du Département

Rédacteur en chef
Laurence Mordenti
Tél. 01 44 96 41 09
E-mail : laurence.mordenti@cnrs-dir.fr

Rubriques « Informations générales »
Rédacteur technique
Florence Nourry
Tél. 01 44 96 41 11
E-mail : florence.nourry@cnrs-dir.fr

Impression
SPEI

ISSN 1163-0086

CNRS CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
3, RUE MICHEL-ANGE 75794 PARIS CEDEX 16 • TEL. 01 44 96 40 00 • TELECOPIE 01 44 96 50 00

L'ACTUALITÉ CHIMIQUE/SFC

Mensuel

Rédaction

Rédacteur en chef : Gilbert Schorsch

Rédacteur en chef adjoint : Thérèse Chaudron

Secrétaire de rédaction, coordination, réalisation, mise en page : Évelyne Girard



Publication analysée ou indexée par : Chemical Abstracts, la base de données PASCAL.

Édition

Société Française de Chimie.
Directeur de la publication : Marc Julia, président de la Société Française de Chimie.

Imprimerie : SPEI, BP 26, 54425 Pulnoy.

ISSN 0151 9093

Commission paritaire n° 0402 G 75884

Publicité : EDIF, Le Clémenceau, 102, avenue Georges Clémenceau, 94700 Maisons-Alfort.
Tél. : 01.43.53.64.00. Fax : 01.43.53.48.00.

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, fait sans le consentement de l'auteur, ou de ses ayants droits, ou ayants cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal. La loi du 11 mars 1957 n'autorise, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, que les copies et les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective d'une part, et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration.

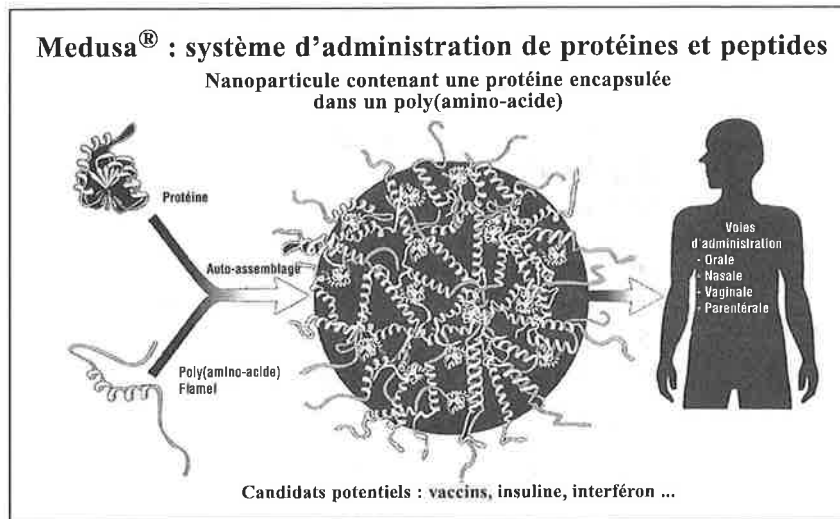
Index des annonceurs

| | | | |
|--------------------------|-----------------------|---|------------------------|
| Bruker..... | IV ^e couv. | Maison de la Chimie..... | II ^e couv. |
| De Boeck..... | p. 56 | Merck-Clévenot..... | p. 11 |
| Essilor..... | p. 35 | 30 ^e Olympiade Internationale de la Chimie | p. 37 |
| Flamel Technologies..... | p. 2 | Rhodia Chimie..... | p. 28-29 |
| JIREC..... | p. 38 | Société Française de Chimie..... | III ^e couv. |

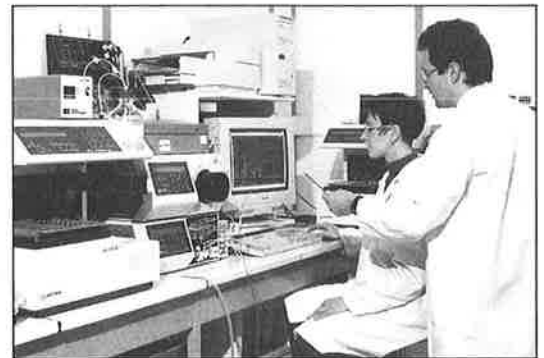


FLAMEL TECHNOLOGIES

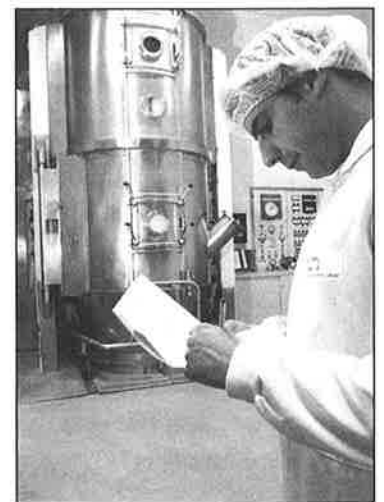
LA VOLONTÉ D'INNOVER ...



- Flamel invente et développe de nouveaux matériaux polymères conçus "sur mesure" pour des applications médicales, optiques, opto-électroniques... Cette recherche est effectuée à Vénissieux par une équipe de 66 chercheurs assistée d'un conseil scientifique comprenant Pierre-Gilles De Gennes, Jean-Marie Lehn, Sir John Vane...



- Flamel a investi dans le site de production pharmaceutique de Pessac afin d'y produire les systèmes originaux de libération contrôlée de médicaments développés par ses chercheurs.
- Flamel établit des partenariats avec des sociétés industrielles leaders dans leur domaine pour commercialiser ses inventions.



... LE PLAISIR DE FAIRE

Une expérience à poursuivre ?

La communication fait aussi partie des préoccupations des chimistes, qu'ils appartiennent au CNRS ou à la SFC, ou mieux aux deux. Le département Sciences chimiques du CNRS publie régulièrement, quatre fois par an, « la *Lettre du département* »

qui est diffusée aux personnels du CNRS et aux membres des unités associées. Cette lettre répond habituellement aux canons des journaux de liaison d'entreprise. De son côté, la Société Française de Chimie publie, tous les mois, un périodique « *L'Actualité Chimique* », qui touche tous ses membres appartenant aux mondes de la recherche, de l'industrie ou de l'enseignement, et qui adopte donc une formule plus généraliste.

Ces publications ont leur personnalité, leur public et leur forme différente. Il est toutefois apparu qu'un certain nombre de préoccupations communes les rapprochaient, ne serait-ce que... la chimie, mais aussi le souci, bien sûr, de servir la collectivité. C'est ce dernier souci qui nous a poussé à analyser ensemble les contenus et à identifier des parties voisines ou communes.

Ce sont tout d'abord les nouveautés scientifiques, jugées assez importantes pour être portées à la connaissance d'une large communauté. Elles peuvent avoir leur origine dans les laboratoires de la recherche publique, mais aussi dans les entreprises ou laboratoires industriels. Il s'agit de les présenter d'une façon compréhensible et donc utile au plus grand nombre de lecteurs, et pas seulement par les spécialistes qui, de toute façon, en auront eu connaissance par ailleurs. L'exercice est difficile car la spécialisation, rendue nécessaire par l'explosion des connaissances, induit souvent un jargon opaque, alors que la nécessité des approches thématiques nécessite une culture scientifique qui puisse s'exprimer par des mots simples, compris par une large communauté pluridisciplinaire.

Ce sont aussi les nouvelles de l'industrie, les points de vue d'acteurs et de décideurs des entreprises, l'évolution du marché industriel, les conséquences des fusions et leur répercussion sur la Recherche-Développement qui peuvent être expliquées et mieux comprises. De plus, comme la chimie, science centrale au CNRS est très souvent en prise directe avec l'industrie des produits, il est hautement souhaitable que la liaison Recherche-Industrie apparaisse, et soit illustrée.

Il y a, enfin, les informations générales sur la vie de la Société Française de Chimie, du Département des Sciences chimiques, les actualités européennes, ainsi que les manifestations scientifiques susceptibles d'intéresser notre communauté.

C'est pourquoi une réflexion a été engagée pour examiner les possibilités de rapprochement et faire jouer, si possible, les synergies. Une réalisation concrète est la publication de numéros communs, dont celui-ci est le premier essai effectué à titre expérimental.

Vos réactions, vos remarques, suggestions, ainsi que vos contributions que nous attendons, seront, bien sûr, du plus haut intérêt pour nous et orienteront la suite de cette action commune.

Jean-Claude Bernier
Directeur du département
des Sciences chimiques du CNRS

Marc Julia
Président
de la Société Française de Chimie

Vers une meilleure concertation entre la recherche académique et l'industrie...

Une double confrontation, entre les connaissances disponibles dans les laboratoires universitaires et les besoins exprimés par les producteurs et les utilisateurs de produits chimiques pour affronter la compétition mondiale, se déroule en ce moment.

A l'initiative de la Commission Innovation/Recherche de l'UIC, des groupes de travail UIC/SFC/SCI d'industriels et d'universitaires se sont réunis - ou doivent se réunir - pour analyser objectivement la situation et faire des propositions d'actions concrètes. Une première synthèse du travail des groupes Biotechnologie et Formulation sera publiée dans l'un des prochains numéros de *L'Actualité Chimique*.

Dans le même temps, le CNRS a engagé une réflexion stratégique dans le domaine des matériaux, retenus comme l'un des six axes prioritaires par le CNRS. Des cahiers de synthèse ont été rédigés par des comités d'experts qui ont tenu compte des recommandations du Comité National et des remarques des quelques industriels consultés. Neuf domaines ont été retenus : matériaux de grande diffusion non métalliques, matériaux de structure à hautes performances, biomatériaux, matériaux pour le stockage et la transformation électrochimique de l'énergie, matériaux actifs et systèmes adaptatifs, matériaux fonctionnels pour l'optique, matériaux magnétiques, matériaux semi-conducteurs et matériaux supraconducteurs. Ce travail, mené sous l'impulsion de Gérard Beck, directeur du Pirmat, a été présenté lors des Assises des Matériaux (Insa, Lyon, 15-16 décembre 1997). Le programme Matériaux qui en résulte est placé maintenant sous la direction de Jean-François Baumard, professeur à l'École Nationale Supérieure de Céramique Industrielle et sous la direction scientifique de Jean-Claude Bernier, directeur du Département des Sciences chimiques du CNRS.

Nous avons retenu de présenter quelques-uns des sujets qui ont été abordés lors de ces journées, en mettant l'accent, dans un premier temps, sur les matériaux inorganiques et, plus particulièrement, sur deux sujets d'actualité : les matériaux d'électrodes et les lasers. Mais il n'y a pas que les nouvelles ou les hautes technologies qui doivent intéresser la recherche universitaire. Un produit aussi courant et aussi utilisé que le ciment ne doit pas être délaissé. Des recherches restent encore nécessaires pour mieux maîtriser et optimiser la prise de ces matériaux. Chaque fois que cela a été possible, nous avons demandé, à un représentant du CNRS et à un industriel, d'apporter leur éclairage du sujet.

S'agissant d'un numéro sur la chimie inorganique, nous avons sollicité Jean Rouxel, Médaille d'or 97 du CNRS, et l'administration du Collège de France, pour publier la leçon inaugurale prononcée le 9 juin dernier à l'occasion de la nomination de Jean Rouxel à la chaire de chimie du solide au Collège de France.

Nous les remercions vivement de nous donner l'occasion de faire partager, aux lecteurs de ce numéro, la culture et la vision d'un éminent spécialiste de la chimie du solide et espérons qu'elles suscitent de nouvelles vocations parmi les jeunes...

Laurence Mordenti

Gilbert Schorsch

Chimie des solides : une autre chimie

Jean Rouxel* professeur au Collège de France, directeur de l'Institut des Matériaux de Nantes (IMN)

Les hommes qui, dès le troisième millénaire avant Jésus-Christ, extraient la malachite ou la chalcopryrite pour en faire du cuivre, posaient déjà des actes qui relèvent de ce que l'on appelle aujourd'hui la chimie du solide. En mélangeant l'eau, le feu et les terres, ils s'approprièrent successivement le cuivre, le bronze, le fer et, à chaque fois, les conséquences furent telles que les âges correspondants finirent par s'identifier avec la matière nouvelle qu'ils avaient vu naître.

Plus près de nous les « fondeurs de sable » du Moyen Age connaissaient les sels de cobalt et firent les bleus de Chartres. C'est peut-être cependant le geste du potier qui exprime le mieux la continuité qui nous relie à l'origine des civilisations. En donnant forme à sa pâte et en la cuisant selon des procédés quasi immuables, il pratique une chimie du solide très complexe. Cette chimie, qui transformera la terre vulgaire en un objet doué de propriétés d'usage - illustration du concept moderne de science des matériaux -, il ne la comprend pas. De même que le forgeron de l'Antiquité ou le verrier du Moyen Age, il applique des recettes. Le passage de la recette à la loi scientifique a été une longue progression faite en s'appuyant sur des outils d'observation et de mesure de plus en plus sophistiqués, en relation avec les disciplines voisines, notamment la physique dont le développement a largement influencé celui de notre discipline au cours des trente dernières années.

Cette progression a été aussi peut-être ralentie, sûrement masquée, par le développement magnifique de la chimie organique à partir de 1828, année de la

synthèse de l'urée par Wöhler. Il y avait là, en effet, un domaine très proche, attractif, tentateur même, dont les succès rapides, suggérant des possibilités quasi infinies, pouvaient, au moins, minimiser ceux de la discipline sœur. Des constructions sans cesse plus complexes furent élaborées, parmi lesquelles les édifices extraordinaires réalisés par notre collègue Jean-Marie Lehn, associant molécules et ions divers dans une chimie supramoléculaire dont la richesse semble inépuisable, marquent très certainement les sommets aujourd'hui les plus visibles. Jusqu'en 1960, la chimie du solide n'a apparemment pas connu un développement comparable. Apparemment, car en fait des travaux aussi fondamentaux que l'explication des diagrammes fer-carbone, et donc du fonctionnement des hauts fourneaux, par G. Chaudron, auraient mérité plus grande reconnaissance. Ils furent à l'époque un peu éclipsés par les progrès fulgurants d'autres disciplines, l'atomistique notamment. D'autres travaux, sur lesquels je reviendrai un peu plus loin, furent délibérément minimisés car ne s'inscrivant pas - ou pis les contredisant - dans les lois générales que le développement majoritaire plébiscitait.

Le chimiste du solide s'intéresse à des objets présentant un nombre infini d'atomes. C'est d'ailleurs ce qui le distingue du chimiste moléculaire qui, lui, s'adresse à des groupes finis d'atomes. Les cristaux qui, dans le mode idéal, représentent un ordre parfait à trois dimensions ont d'abord retenu son attention. Dès le XVIII^e siècle, Romé de Lisle et Haüy pouvaient en décrire les faces, donner les éléments de symétrie, les lois du clivage, de la mériédrie ou du maillage, jetant ainsi les bases d'une cristallographie géométrique proche de la géométrie analytique. Dès 1912, la fameuse expérience de von Laue sur la

diffraction des rayons X par les cristaux renforçait cette tendance à aller vers la cristallographie : désormais, on disposait d'un outil permettant de décrire les arrangements atomiques au sein de la matière cristallisée. Dans cette partie de son histoire, la chimie des solides a d'abord été une cristallographie de composés préparés le plus souvent par des techniques de haute température. C'était principalement une chimie du solide iono-covalent idéal, ce solide étant généralement assimilé, pour raison de facilité, à une construction ionique pure, quitte à décrire, très approximativement d'ailleurs, des chemins de dérivation par rapport au modèle idéal. Pourtant, les études d'ordre-désordre sur les positions atomiques, le rôle reconnu des défauts, représentaient déjà un pas important vers la connaissance de la complexité de la matière à l'échelle microscopique. Par la suite, cette connaissance devait se développer sur la base des relations entre propriétés physiques ou mécaniques et microstructure, ce terme évoquant une organisation atomique locale, c'est-à-dire à courte distance. A l'inverse, la connaissance de ces relations permettait de modifier des solides pour leur donner, en fonction de règles de symétrie ou de distribution des populations atomiques, telle ou telle propriété. Cette chimie du solide haute-température, basée sur les relations entre structure et propriétés, a atteint sa plénitude dans les années 65-85. Elle connaissait évidemment ses limites. Ce que le chimiste sait alors parfaitement faire, c'est jouer d'un squelette structural. Par une chaîne déductive rigoureuse associant physique et cristallographie, il sait conférer à ce squelette telle ou telle propriété optique, magnétique, diélectrique... Imaginer un squelette nouveau est une autre affaire. Le squelette nouveau, celui qui va créer une brusque discontinuité, est quelquefois obtenu de manière inattendue, le problème étant alors d'avoir la culture

* Institut des Matériaux de Nantes, CNRS, 2, rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex 03. Tél. : 02.40.37.39.10. Fax : 02.40.37.39.95. E-mail : rouxel@cns-imm.fr
Leçon inaugurale présentée le 9 juin 1997 au Collège de France (publiée avec l'autorisation du Collège de France que nous remercions).

suffisante pour le reconnaître pour ce qu'il est. Ou bien encore, ce squelette relèvera de processus intuitifs dont les contours restent flous mais donnent tout de même la direction à suivre dans les méandres du tableau périodique des éléments pour obtenir tel ou tel type d'édifice. Le schéma relationnel propriété-structure a permis de bâtir des modèles prédictifs souvent vérifiés par l'expérience. Il avait, par contre, l'inconvénient de faire dévier le chimiste de ce qui est au cœur de son métier : d'une part, nourrir les méthodes de synthèse et, d'autre part, approfondir la connaissance de la liaison chimique. La chimie n'est-elle pas, d'abord, la science des groupes d'atomes finis ou infinis, c'est-à-dire la connaissance de ce qui lie ces atomes entre eux pour construire ces sociétés atomiques dont nous savons l'architecture mais que nous ne voyons qu'au travers de leurs propriétés, électriques, magnétiques, leur couleur, leur texture, leur dureté...

C'est un problème de société qui est sans doute largement à l'origine du **renouveau de la synthèse en chimie des solides**. La crise de l'énergie, en 1974, amenait à se pencher sur la nécessité de réduire le coût énergétique des matériaux. Ainsi naissait cette **chimie douce** dont le nom, en français, a désormais fait le tour du monde. La chimie douce est topotactique, c'est-à-dire qu'elle garde en mémoire tout ou partie du squelette structural d'au moins un des réactifs utilisés, que l'on appelle un précurseur. Le précurseur peut être une entité moléculaire mise en solution : c'est le procédé sol-gel, développé par J. Livage. Il peut être aussi bien un solide à géométrie particulière, c'est-à-dire présentant des feuillets, des fibres, ou bien des tunnels - ce dernier cas étant le négatif photographique des premiers. L'une des méthodes de la chimie douce à précurseurs solides consiste à générer de manière contrôlée des entités structurales munies de groupements réactifs susceptibles de réagir entre eux : ainsi se construira progressivement un solide tridimensionnel à partir de l'entité moléculaire de dimension zéro, ou bien à partir du solide feuilleté par agrégation des feuillets entre eux et élimination d'une molécule aussi simple que celle de l'eau. Lorsque le potier mélange ses argiles, solides lamellaires s'il

en est, à de l'eau, il met en œuvre, à l'échelle microscopique, des réactions de chimie douce qui se poursuivront au début de la cuisson de l'objet, même si, dans la phase finale, il s'agit de ce que l'on appelle un procédé céramique à haute température mettant en jeu une diffusion intergranulaire. J'évoquerai un peu plus loin un autre procédé de chimie douce basé sur des processus redox. Ces méthodes, en effet, sont aujourd'hui très variées. Certaines sont totalement nouvelles, d'autres ne sont que la réactualisation de réactions anciennes qui avaient cours avant l'invasion des laboratoires par les techniques de diffraction des rayons X. Dans tous les cas, des solides hautement réactifs, souvent métastables, se forment. La chimie douce n'est pas aisée. Parce qu'elle met en œuvre des réactions à relativement basse température, elle mène, au moins transitoirement, à des phases amorphes ou mal cristallisées. Son développement n'a été possible que parce que l'on a pu disposer d'outils analytiques performants permettant des investigations locales (microscopie électronique, EXAFS, XANES, EELS, RMN, RPE, Mössbauer...).

Dans le même temps, le chimiste développait ses propres outils de calcul des structures électroniques, associant des modèles semi-empiriques qui ont l'avantage de garder la saveur des orbitales à des méthodes sans doute plus rigoureuses mais qui donnent une vision plus statistique, enveloppe en quelque sorte de multiples composantes locales.

Le chimiste travaille sur le matériau réel, celui qu'il a préparé, avec ses défauts, qui seront peut-être d'ailleurs, dans l'instant suivant, la source de développements insoupçonnés. Le défaut devient souvent plus important que la matrice qui le contient. Il ne doit pas être entendu avec la connotation négative que lui associe le langage commun mais comme une variation locale de composition, un endroit où les règles de symétrie de l'ensemble sont brisées (il n'est défaut que par rapport à un modèle mathématique parfait). Une matrice peut n'être importante que parce qu'elle induira simplement un champ électrique ayant une certaine symétrie au site d'un défaut générateur de couleur, par exemple. Nous sommes bien loin de la

représentation idéale du réseau tridimensionnel infini. Bien sûr, la modélisation est essentielle, il faut la faire car elle peut déjà donner les grandes lignes d'un comportement physique. Mais outre le fait qu'elle ne peut souvent éclairer que des géométries assez simples, il faut bien voir, aussi, qu'elle traite d'un objet qui est un réseau mathématique de points. Ce réseau devient matière si on le peuple d'atomes divers qui, éventuellement, le diviseront en sous-réseaux. En fait, cette matière vit et ce que le chimiste verra ce sont des réseaux d'orbitales en interaction. Déjà les calculs seront plus proches du réel. Ils mèneront, par exemple, à une interprétation immédiate des propriétés magnétiques, ferroélectriques... Ils suggéreront une chimie modificatrice, assurant un caractère prévisionnel à cette démarche basée sur la relation structure-propriété évoquée plus haut et au développement de laquelle le professeur Hagenmuller, mon maître, a tant contribué. Les défauts se manifesteront alors par des écarts significatifs aux situations idéales calculées : ils seront distorsions, failles, ruptures, discontinuités, sites vacants. Cette aptitude du chimiste à jouer d'un squelette structural lui permet aussi, à l'inverse en quelque sorte, de voir la richesse éventuelle des possibilités offertes par ce solide nouveau qu'il vient d'obtenir au détour d'une réaction non prévue. Le chimiste du solide est au carrefour du prévisionnel et de l'inattendu. Seule sa culture générale, qui doit comprendre une large part de physique, lui permet d'intégrer en un modèle unique ce qu'il avait prévu et ce qu'il n'avait pas su prévoir.

Les solides de basse dimensionnalité ont joué un rôle important dans le développement de la chimie des solides au cours des trente dernières années. Les travaux qui leur ont été consacrés, et auxquels nous avons eu l'honneur de participer, illustrent bien l'évolution de la démarche scientifique. Remarquons tout d'abord que, dans la mesure où l'état solide impose l'idée de volume, il pourrait sembler paradoxal, en conséquence, de parler de solides de basse dimensionnalité. Cette notion est effectivement toute relative et se réfère, en fait, à une situation de forte anisotropie directionnelle du lien chimique : un solide de basse dimensionnalité est

celui qui est construit, à l'échelle microscopique, à partir d'un empilement de feuillets ou d'une juxtaposition de fibres. A l'intérieur de ces entités, mettant en jeu quelques couches atomiques, existent des liens forts ionocovalents ou métalliques. Mais feuillets ou fibres sont séparés, le mot convient bien tant est grande l'hétérogénéité, par des interactions faibles, le plus souvent de type van der Waals. Ceci se traduit, en premier lieu, par une morphologie de cristaux lamellaires ou fibreux que nous connaissons bien pour l'avoir souvent observée dans la nature, chez les micas, le graphite, la molybdénite par exemple.

On peut considérer aussi que le solide de basse dimensionnalité résulte de la condensation mutuelle de molécules « planes » ou « linéaires » infinies. Ceci établit un lien entre chimie des solides et chimie moléculaire, notamment chimie de coordination. Une chaîne magnétique ne se distinguera en rien, ici, de celles que construisent les chimistes de coordination. Les frontières, parfois artificiellement dressées par les noms que l'on peut se donner, s'effacent devant un langage commun facile à trouver.

Cependant, la plus grande richesse conceptuelle que l'on puisse associer aux solides de basse dimensionnalité se situe peut-être au niveau de leur extraordinaire réactivité chimique. **On peut écarter fibres et feuillets en intercalant des ions ou molécules dans l'espace qui les sépare.** Les liaisons faibles, présentes en cet endroit, ne s'y apposeront pas pourvu que l'on apporte, par un transfert électronique notamment, un gain en énergie compensateur vis-à-vis de la cohésion de l'ensemble. Le solide de basse dimensionnalité se comporte comme un livre dans lequel on glisse un feuillet supplémentaire : la couche intercalée modifie l'épaisseur du livre, elle en modifie aussi le sens, c'est-à-dire ici les propriétés. L'électron transféré va, en particulier, modifier la structure électronique, générer des propriétés électriques ou magnétiques diverses. Quant aux molécules ou ions intercalés, ils peuvent être présents en toutes proportions : il n'est pas question ici de stœchiométrie, sinon de celle que gouvernent aussi bien le nombre de sites géométriques accessibles entre feuillets, que la disponibilité de niveaux électro-

niques à énergie suffisamment basse pour accueillir les électrons transférés. C'est souvent d'ailleurs la structure de bande qui fixe la chimie : nombre de niveaux, position de ceux-ci, carte de la densité d'états. Dans l'espace inter-feuillet, les ions peuvent former des îlots se rejoignant par un effet de percolation gouverné non seulement par les lois classiques applicables aux réseaux plans correspondants mais, aussi, par des conditions d'exclusion dues aux interactions chimiques locales. Ils peuvent aussi progresser selon un front fractal de diffusion. Ils peuvent enfin se distribuer de manière très symétrique par équilibre entre charges de même signe lorsque les effets à longue distance l'emportent sur les conditions locales de piégeage. Science du réel, la chimie aura souvent à considérer l'action simultanée et parfois contradictoire de tous ces effets. Ce que l'on voit, c'est l'enveloppe des choses, laquelle est entraînée par l'effet majeur. La richesse d'une interprétation, les progrès à venir sont souvent liés au fait que l'on aura su dépasser la loi phénoménologique d'ensemble pour apercevoir les contributions microscopiques.

La réciproque de la chimie d'intercalation existe. Par une sorte de raisonnement par l'absurde, on considérera qu'un composé ternaire $A_xM_yS_z$ par exemple, que l'on sait préparer directement, n'est autre chose qu'un composé d'intercalation hypothétique dans un réseau hôte M_yS_z encore inconnu. Si l'on peut placer en face de l'ensemble $A_xM_yS_z$ un oxydant très puissant on enlèvera l'ion A^+ et l'électron qui lui était associé. De nombreux composés M_yS_z simples qui demeureraient inconnus, c'est le cas de VS_2 , ou qui étaient susceptibles de présenter d'autres formes cristallines, c'est le cas de FeS_2 , ont ainsi été obtenus au cours des dernières années. **Cette chimie de désintercalation est une autre branche capitale de la chimie douce.** Elle abaisse la dimensionnalité d'un édifice en libérant les espaces occupés par les ions A^+ . La chimie douce d'échange-condensation augmentait, au contraire, la dimensionnalité en scellant entre eux les blocs structuraux fournis par les précurseurs.

Mais cette chimie douce de désintercalation, outil exceptionnel de synthèse,

ouvre aussi de nouvelles perspectives, tellement vastes et originales qu'on peut considérer qu'il s'agit d'une nouvelle façon d'envisager la chimie. Les mots pour le dire sont, en tous cas, très simples et ceci est bien souvent la marque des grandes évolutions. Si, en effet, on retire des ions A^+ et leur électron associé, cela va se traduire par une oxydation du squelette structural où se logeaient les ions A^+ . Que peut-il alors se passer, allons-nous porter un cation à un degré d'oxydation supérieur ou bien allons-nous oxyder l'anion, situation plutôt insolite en chimie. La première proposition est bien illustrée par la désintercalation du cuivre de la phase spinelle $CuTi_2S_4$. Cette phase montre un cas de valence cationique mixte : cuivre monovalent, mais présence simultanée de titane aux degrés d'oxydation +3 et +4. La désintercalation se traduit simplement par l'oxydation de tout le titane au degré +4 et cela veut dire que les niveaux d'énergie des orbitales d du métal se situent, dans cette structure, au-dessus des niveaux s et p du soufre. Mais considérons $CuCr_2S_4$, autre phase spinelle voisine de la précédente. Le cuivre est toujours monovalent, mais le chrome est totalement trivalent car ses niveaux d sont trop profondément engagés dans la bande anionique sp pour qu'un degré d'oxydation supérieur puisse être atteint. L'équilibre des charges tient alors à la présence d'un trou sur le soufre. $CuCr_2S_4$ est un composé à valence mixte anionique ! On constate qu'il n'est pas possible d'enlever le cuivre bien que les conditions géométriques soient les mêmes que dans le cas précédent. La différence vient de ce que cette réaction de désintercalation impliquerait la création d'un deuxième trou sur le sous-réseau anionique. Ceci n'est pas accepté par ce sous-réseau, très probablement parce que nous devrions descendre jusqu'à des niveaux trop bas en énergie en dépeuplant la bande sp à partir de son sommet. En effet, si l'on considère un séléniure tel que $Na_2Cr_2Se_4$ ($NaCrSe_2$), on peut enlever tout le sodium, créer deux trous pour quatre atomes de sélénium et obtenir le nouveau séléniure $CrSe_2$. Le sélénium étant moins électronégatif que le soufre, la bande sp est à plus haute énergie. La différence entre la chimie douce de $CuTi_2S_4$ et celle de $CuCr_2S_4$ vient de la différence de position des niveaux d de l'élément de transition. La différence entre la chimie douce de $CuCr_2S_4$ et celle

de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{S}_4$ vient de la différence de position de la bande anionique sp.

Quelle est donc cette chimie où l'on arrive par le haut dans les diagrammes d'énergie, créant des trous qui seront d'autant plus stables qu'ils seront plus hauts ? **C'est une chimie antisymétrique de celle de l'électron** où l'on peuple des niveaux à partir de ceux qui sont les plus bas en énergie. C'est une chimie des anti-liaisons. Cela se voit aussi bien dans le fait que l'on rapproche des anions en dépeuplant le sommet d'une bande sp qui a toujours un caractère antiliant marqué, que dans la possibilité de décapiter une bande sp si on a créé suffisamment de trous avec, alors, renvoi vers de plus hautes énergies d'une bande antiliante vide, comme dans les pyrites par exemple. De même que la formation d'une liaison se traduit par la stabilisation de niveaux liants, de même nous favoriserons ici le renvoi vers de plus hautes énergies de niveaux antiliants. Il est clair que la chimie douce, maintenant comprise dans ses implications fondamentales, ouvre ici des perspectives immenses.

D'un point de vue chimique, il est possible d'exfolier les solides de basse dimensionnalité en séparant totalement les feuillets par méthodes chimiques, mécaniques (ultrasons) ou électrochimiques. On obtient alors, au sein d'un solvant, une **dispersion colloïdale de feuillets de quelques couches atomiques d'épaisseur**. Leur réactivité est extrême. Ils ont été utilisés pour une catalyse dont on ne saurait dire si elle est homogène ou hétérogène. On peut, enfin, les recondenser autour d'ions, réalisant ce qui n'est autre qu'une réaction relevant des concepts de la chimie supramoléculaire de J.-M. Lehn dont les développements magnifiques touchent aujourd'hui à tous les domaines.

Enfin, une espèce chimique intercalée dans un réseau hôte est encore capable de reconnaître ses réactifs habituels pour peu que l'accès de ceux-ci demeure possible. On réalise en ce cas des réactions chimiques au cœur d'un contenant qui est lui-même un composé chimique. L'étendue du produit obtenu se trouvera limitée par la taille du tunnel ou de la cavité dans laquelle ce produit se trouve inclus. Ainsi s'est développée, ces

dernières années, une « **chimie de taille quantique** ». La longueur d'onde de Broglie que la mécanique quantique associe aux électrons cesse d'être négligeable devant la taille des domaines offerts à la mobilité des électrons.

L'anisotropie du lien chimique dans les composés de basse dimensionnalité se double d'une anisotropie comparable des propriétés physiques. Il y a là matière à de très belles études, telles que celles qui sont menées sur le magnétisme de basse dimensionnalité : chaînes magnétiques, magnétisme bidimensionnel et, plus récemment, réseaux carrés et échelles magnétiques. L'intérêt se lit aussi dans les applications industrielles immédiates : le glissement facile feuillet sur feuillet se traduit par des propriétés lubrifiantes qui ont été utilisées dans le cas du graphite ou de MoS_2 . Cependant, le point le plus important touche à nouveau aux avancées fondamentales et conceptuelles apportées là encore par les solides de basse dimensionnalité. En dehors des effets d'anisotropie que l'on vient de mentionner, l'intérêt essentiel vient de ce que **les propriétés d'un solide de basse dimensionnalité, lamellaire par exemple, ne se décrivent pas par simple transcription xy des lois qui régissent l'espace de dimension trois** : ces propriétés sont différentes, parfois totalement nouvelles. L'examen des propriétés communes à toutes sortes de solides de basse dimensionnalité, aussi différents en apparence que peuvent l'être des composés organiques peu stables et des cristaux minéraux obtenus à haute température, permet de dégager clairement ce que sont cette physique et cette chimie de basse dimensionnalité. Le solide de basse dimensionnalité est, par exemple, l'une des portes majeures vers **la cristallochimie des incommensurables** et vers une partie de **la physique des effets non linéaires**.

On sait que la répétition périodique, dans les trois dimensions de l'espace, d'un motif atomique simple ou complexe engendre une structure cristalline. Cependant, on découvre aussi un nombre croissant de situations où la façon la plus simple de décrire un solide consiste à y reconnaître, par exemple, deux sous-réseaux ayant chacun sa propre périodicité. Quand le rap-

port des périodes est celui de deux nombres entiers petits, l'arrangement est commensurable : une maille cristalline plus grande permet alors d'exprimer facilement l'organisation de l'ensemble. Cependant, si le rapport des périodes est celui de nombres très grands, et surtout s'il est irrationnel, la description est plus complexe : dans le dernier cas, les propriétés ne se reproduisent à l'identique en aucun point du réseau, et la maille est théoriquement infinie. La structure est dite incommensurable. Dans un composé unidimensionnel, l'incommensurabilité se manifeste par des juxtapositions de colonnes séparées, ou par une chaîne parcourant un tunnel dans une structure. Dans les bidimensionnels, le désaccord vient des rapports de périodicités « horizontales » entre deux feuillets différents empilés les uns au-dessus des autres. Pour des rapports petits, une approche commensurable demeure possible. Sinon, ces empilements désaccordés mènent à des structures vernier, puis totalement incommensurables. Les déterminations structurales se font dans des espaces de dimensions supérieures : quatre ou cinq vecteurs sont en effet nécessaires pour rendre compte de la symétrie de l'ensemble. Ces **super-réseaux chimiques** ouvrent chaque jour de nouvelles perspectives vers la description des phénomènes, et notamment des liaisons chimiques, aux interfaces.

Un autre type d'incommensurabilité est encore plus directement lié à la basse dimensionnalité. Les théories prévoyaient une instabilité structurale d'origine électronique liée à la forme particulière de la surface de Fermi avec de larges portions parallèles dans le cas des solides lamellaires ou unidimensionnels et susceptible d'être déclenchée par une perturbation extérieure minime. C'est l'un de ces effets dont Lorenz disait qu'ils sont a priori aussi négligeables que le battement des ailes d'un papillon mais entraînent, cependant, des conséquences considérables. Ici, une perturbation, aussi faible que celle que déterminent les vibrations atomiques toujours présentes, se manifeste au travers d'une fonction réponse qui divergera pour une valeur critique du vecteur d'onde perturbateur. L'observation en a été faite dans NbSe_2 (2D) et NbSe_3 (1D), sous la forme d'une **onde**

de densité de charge, fluctuation couplée de la densité électronique et des positions atomiques le long d'une chaîne métallique. On parle d'incommensurables à $2k_F$ car, en effet, le vecteur d'onde qui décrit la modulation est égal à deux fois le vecteur d'onde de Fermi du système. En d'autres termes, c'est la structure électronique du système qui fixe sa périodicité. Un conducteur de basse dimensionnalité est spontanément instable vis-à-vis d'une distorsion de vecteur d'onde double du vecteur de Fermi.

Le chimiste, qui est capable de modifier la population électronique, peut jouer ainsi finement avec la périodicité cristalline. Peut-être conviendrait-il d'ailleurs de parler d'**onde de densité de liaison** puisque dans le mot liaison il y a, à la fois, la position atomique et la distribution électronique associée.

Si l'on applique un champ électrique excédant une valeur critique, il est possible de décrocher l'onde de densité de charge du réseau sous-jacent. Le glissement de l'onde résulte alors en un transport de courant et donne lieu à des effets non linéaires. Au-dessous du champ seuil la loi d'ohm est suivie, au-dessus elle ne l'est plus. Il est même possible d'observer des effets mémoires : le retour au régime ohmique en champ décroissant ne se faisant pas nécessairement pour la même valeur du champ que celle qui avait assuré le décrochage de l'onde en champs croissants. Les études qui peuvent être faites associent étroitement physiciens et chimistes de la matière condensée. Le dépiégeage de l'onde dépend de facteurs tels que les hétérogénéités de potentiels liées à la présence d'impuretés, l'écart à la commensurabilité. Des cascades d'états métastables sont impliquées dans le mouvement de l'onde et dans les effets mémoires associés. L'onde, d'abord déformable, se rigidifie en une sorte de verre électronique à basse température. Ce domaine, très étudié en France, notamment à Orsay (J. Friedel, D. Jérôme, Pouget...), à Grenoble (P. Monceau, M. Renard, C. Schlenker, J. Dumas) en relation avec nous-mêmes à Nantes (J. Rouxel, A. Meerschaut et coll.) ne cesse de susciter des questions nouvelles sur l'organisation de la matière. Il illustre l'importance des démarches conjointes entre physiciens et chi-

mistes, où chacun doit rester lui-même tout en parlant le langage de l'autre.

Non-stœchiométrie et non-commensurabilité, deux mots qui viennent d'être largement employés. Ces mots marquent les bornes entre lesquelles s'est fait le développement de la chimie du solide au cours des 30 dernières années.

Que l'on se rappelle, au début des années 1960, on enseignait encore les lois de Proust et de Dalton comme fondements de la chimie : les proportions atomiques dans lesquelles s'unissent les éléments constitutifs d'un composé doivent être entre elles dans le rapport de nombres entiers petits, « dits stœchiométriques ». Dans le dioxyde de carbone CO_2 , on trouve bien une partie de carbone pour deux parties d'oxygène. Pourtant, dès la première expression de ces lois, Claude Berthollet, dans son ouvrage célèbre *Essai sur la statique chimique* paru en 1803, avait remarqué qu'il ne convenait peut-être pas de leur prêter un trop grand crédit. Les métallurgistes eurent très vite l'occasion d'ajouter de nombreux contre-exemples à ceux que Berthollet avait déjà cités. On donna hypocritement le nom de berthollides à ces composés, les autres étant nommés daltonides. Il est tout de même étrange de penser que les plus grands noms de la chimie ont délibérément ignoré, ou feint d'ignorer, un fait majeur qui allait malencontreusement à l'encontre de l'esthétique d'une belle loi. Certes, le développement magnifique de la chimie organique à la suite de la synthèse de l'urée par Wöhler, en 1828, a pu conforter beaucoup de certitudes. Mais aujourd'hui nous savons que, ce qui construit la chimie, c'est la liaison chimique dont on sait décrire trois modes correspondant, à la limite, à une localisation électronique totale (modèle dit ionique), une délocalisation limitée à un petit nombre de voisins (modèle dit covalent présent en chimie organique), une délocalisation électronique totale (modèle métallique). Dans le solide minéral vrai, nous affronterons toujours une situation complexe, quelque part au sein du triangle formé par les trois pôles précédents. Les lignes de fracture entre zones d'influence ont été parmi les domaines les plus féconds de recherche de ces dernières années. La reconnaissance et l'explication de la

non-stœchiométrie dans le solide iono-covalent au début des années 60 a levé toutes les ambiguïtés. Les lois de Proust et Dalton voudraient que l'oxyde ferreux fût FeO . Mais ce dernier n'existe pas : on ne trouve qu'une phase déficitaire en fer $\text{Fe}_{0,91}\text{O}$, par exemple. Une partie du fer se trouve sous forme ferrique Fe^{3+} , maintenant l'équilibre des charges positives et négatives. Les physiciens avaient, dès les années 30, traité le cas des faibles écarts à la stœchiométrie dans le cadre de théories des défauts ponctuels supposés isolés et sans interactions entre eux, décrivant les entropies de configuration, les lois de distribution en température. La vraie révolution est venue de la chimie des solides : elle a mené à la notion de solide non stœchiométrique en tant que microscopiquement hétérogène selon le mot de Robert Colongues. L'instant critique a été le passage de la notion de défaut ponctuel à la reconnaissance, par observation, de la ségrégation de ces défauts pour former des motifs particuliers. Ainsi dans FeO , les ions Fe^{3+} sont concentrés dans des zones spéciales où ils forment, avec les ions Fe^{2+} et les ions oxyde, une microstructure organisée, le nombre de ces microstructures dépendant de l'écart à la non-stœchiométrie. La trame du sous-réseau oxygène est maintenue. La continuité structurale est apparemment préservée (nous sommes dans la même situation que celui qui regarde une pêche épluchée : l'apparence extérieure ne laisse pas supposer qu'il y a un noyau). Mais alors surgissent d'autres questions. Ce solide microscopiquement hétérogène est-il toujours une phase ? Suivant la réponse, la fameuse règle des phases de Gibbs-Duheim pourrait être mise en cause. Pour l'instant, le nom de phasoïde a été proposé. Si l'on accepte qu'une phase puisse être microscopiquement hétérogène, pourvu qu'il y ait maintien d'un sous-réseau, les choses rentrent dans l'ordre et nous aurons préservé un grand arbre de la forêt.

Mais les choses ne s'arrêtent pas là. A. Magnéli a montré que la non-stœchiométrie de certains oxydes comme TiO_2 se résout en série de phases $\text{Ti}_n\text{O}_{2n-1}$ dans lesquels des blocs TiO_2 parfaits sont séparés par des zones de cisaillement recréant localement la structure Ti_2O_3 . Le déficit en oxygène ne s'identifie pas à une lacune localisée

sur un site particulier. Il est absorbé par la structure sous la forme d'un mode de condensation différent des octaèdres de coordination du titane, lesquels vont partager des faces et non plus des arêtes. La minimisation de l'énergie interfaciale explique le regroupement de ces arrangements pour former des plans de cisaillement que la microscopie électronique permet de voir directement. Deux questions subsistent : quelle est la force directrice qui assure l'équirépartition de ces plans souvent à des distances considérables les uns des autres. Il existe deux séries, avec n entre 4 et 10 et 19 et 36. Pourrait-il exister des séries entre 90 et 105 par exemple, très près de la stœchiométrie. Est-ce que nos moyens d'observations sont encore insuffisants pour établir un espacement de plans de cisaillement qui tendra vers l'infini pour le composé stœchiométrique ?

Nous avons cité à plusieurs reprises des **termes qui évoquent l'application** : catalyse, matériaux magnétiques, lubrifiants... On aurait pu ajouter : composés pour l'enregistrement de l'information ou pour l'affichage, semi-conducteurs, diélectriques, pigments colorés. La chimie du solide en effet, fût-elle préoccupée par les aspects les plus fondamentaux, n'est jamais loin des problèmes qui se posent au monde industriel ou à notre société. Ignorer ces problèmes serait d'ailleurs se priver d'une source tellement enrichissante ! Transposer vers le monde industriel les résultats d'un travail est une grande joie. Remarquons, cependant, que la démarche inverse qui consiste à partir d'un système industriel, d'un vrai problème oserais-je dire, et à voir ce qu'il y a derrière, est sans doute la plus fructueuse, la plus vraie. Il est souvent dit que l'automobile est le symbole de notre société de consommation. Eh bien, cet objet dont nous ne savons nous passer pose au moins cinq problèmes majeurs au chimiste de la matière condensée :

– quels alliages métalliques ou bien quels composites ou verres pour la structure elle-même ?,

– quels catalyseurs pour la voiture propre ?,

– quelles céramiques thermomécaniques seraient possibles pour le moteur ?,

– quelle batterie pour la voiture électrique ?,

– quelles peintures inoffensives pour l'environnement ?

Deux au moins de ces aspects relèvent de la chimie d'intercalation : les catalyseurs d'hydrodésulfuration des pétroles, basés sur des chalcogénures bidimensionnels de cobalt-molybdène entre les feuillets desquels peut pénétrer le dibenzothiophène dont il faut détruire la molécule. Mais le point crucial concerne la batterie à haute densité d'énergie. La voiture électrique sera une conséquence directe de la chimie d'intercalation. Tous les systèmes testés de par le monde mettent en jeu des électrodes à intercalation. Et ceci se comprend bien. Qu'est-ce en effet qu'une pile ou une batterie ? Pour introduire simplement les choses, de manière peut-être un peu saisissante, mais que je pense fort correcte, je dirai qu'un générateur électrochimique est un système créant des couples ions-électrons, les faisant voyager séparément, les ions par l'intérieur du générateur, les électrons par l'extérieur - c'est le circuit d'utilisation -, avant de les récupérer chimiquement dans une ou plusieurs espèces finales par recombinaison avec d'autres espèces. Trois zones distinctes, pouvant être éventuellement protégées les unes des autres par des diaphragmes, sont séparément le siège de ces trois fonctions. Par exemple, une zone anodique crée des ions positifs et des électrons. Les ions positifs voyagent au cœur du système dans un milieu conducteur ionique alors que les électrons circulent à l'extérieur. Une zone cathodique récupère le tout : les électrons produiront, par exemple avec la matière cathodique, un ensemble négatif auquel s'associent les ions positifs arrivant par l'intérieur pour former une nouvelle espèce chimique. Une batterie suppose la réversibilité du processus. Or la chimie d'intercalation, où un réseau hôte peut accepter à la fois ions et électrons, répond directement aux conditions précédentes. Dans la batterie au lithium, qui sera celle de la voiture de demain, une anode en métal produit des ions Li^+ et des électrons qui viennent peupler les sites et les niveaux électroniques de la cathode. On peut, d'ailleurs, utiliser une réaction de désintercalation à l'anode et générer des systèmes basculants où les deux électrodes

relèvent des concepts de l'intercalation. Les électrons circulent spontanément lorsque l'on ferme le circuit si leur niveau d'énergie à l'anode était beaucoup plus haut que celui offert par la cathode. La différence, elle-même diminuée des pertes liées notamment au processus d'intercalation, donnera la force électromotrice de la pile. Le nombre de moles d'électrons mis en jeu déterminera, face à des cathodes suffisamment légères, des capacités massiques atteignant couramment 10 fois celles de batteries au plomb. Il est intéressant de redire que la position des niveaux électroniques est essentielle vis-à-vis du voltage délivré. Mais la densité de ces niveaux interviendra de son côté sur la chute de potentiel en fonctionnement. La largeur de bande de conduction enfin, en jouant sur la mobilité électronique, participera à la définition du pic de puissance disponible. Les pertes internes concernent la qualité du système conducteur ionique mis en jeu, mais aussi les processus d'intercalation des ions : îlots, diffusion fractale, percolation entre domaines, entropie de configuration associée, etc. Nulle part peut-être une science aussi fondamentale ne touche d'aussi près les contraintes industrielles immédiates.

Est-ce sa jeunesse conquérante qui rend ainsi la **chimie du solide moderne quelque peu iconoclaste**. A l'image du dogme supraconducteur, quelques tours imposantes, gardiennes de la cité de la science, se sont effondrées au cours des trente dernières années. L'observation, par les métallurgistes, de cristaux présentant des symétries d'ordre 5 remettait en cause, en 1984, nos idées sur la symétrie de translation dans les cristaux. Non-stœchiométrie et non-commensurabilité, associées au sein des phasoides, n'ont pas non plus livré tous leurs secrets. La chimie douce à précurseurs solides est de plus en plus une chimie des anti-liaisons, ces niveaux électroniques que l'on n'aimait guère et que l'on n'évoquait que du bout des lèvres en raison de leur rôle déstabilisant. Le plus étrange, le plus heureux en fait, c'est que ceci ait souvent conforté l'intérêt du chimiste du solide pour les grands problèmes industriels, et l'ait même amené à proposer des solutions nouvelles à certains problèmes de société.

Cette chimie des solides, dont j'ai essayé de vous illustrer les aspects les plus essentiels à mes yeux, occupe, cependant, une position mineure dans le monde des sciences de la matière. En l'admettant dans cette illustre maison, vous lui donnez aujourd'hui, chers collègues, une reconnaissance éminente.

Je mesure pour ma part la responsabilité qui est la mienne. Je crois que loin de l'enfermer dans des sujets particuliers fussent-ils de première importance vis-à-vis de certains problèmes de société, il conviendra de la re-situer au sein de la chimie en général. La ligne directrice sera bien sûr la liai-

son chimique, dénominateur commun de toute sociologie des atomes, que ceux-ci soient constitués en groupes finis ou infinis. On pourra alors voir, je l'espère, l'apport que nos questionnements et nos interprétations peuvent apporter à l'avancement de la science en général. ■

MERCK-Schuchardt

UV Reactor for Photochemistry :

Light, not Heat
or «How, with a well thought-out System,
you can use Photochemistry in R&D



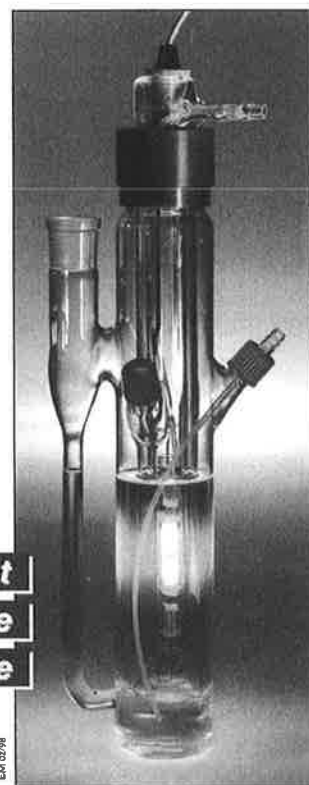
*Schuchardt
Performance
at a glance !*

Demandez notre documentation technique !



Merck S.A.
Service Schuchardt
5 à 9, rue Anquetil • 94736 Nogent/Marne Cedex
Tél. : 01 43 94 54 00 • Télécopie : 01 43 94 52 86

fast
safe
reliable



Les matériaux d'électrodes

Matériaux d'électrodes pour accumulateurs électrochimiques plus performants

Un déficit scientifique et économique

Jean-Marie Tarascon* professeur à l'université de Picardie Jules Verne,
Annick Percheron-Guégan** directeur de recherche CNRS

Summary : *Electrode materials for performant rechargeable batteries, a scientific and industrial challenge*

High energy density (both volumetric and gravimetric), long life, cost and environmental impact have been the driving forces for the spectacular emergence in recent years of performant rechargeable batteries.

These characteristics depend of the nature, the composition and the microstructure of the electrode materials forming the rechargeable batteries.

It is the role played by the chemist to imagine new structures, new synthesis methods in the aim to prepare very well fitted compounds to improve the performance of the full device.

Mots clés : *Composés d'insertion, intermétalliques, batteries, ion lithium, nickel-hydrures.*

Key-words : *Intercalation compounds, intermetallics, batteries, lithium ion, nickel hydrides.*

Les accumulateurs s'adaptent à la demande

La récente explosion du marché des **appareils portables**, associée à la perspective d'un marché pour la **voiture électrique**, a provoqué l'intensification de la recherche dans le domaine des accumulateurs. Un accumulateur est composé de plusieurs éléments (électrodes, électrolyte). Sa fonction est de stocker de l'énergie sous forme chimique pour ensuite la restituer, à la demande de l'utilisateur, en énergie électrique, grâce à des **réactions chimiques réversibles** se produisant **aux deux électrodes**, et à des **échanges ioniques** ayant lieu **via l'électrolyte**. La **quantité d'énergie électrique produite par unité de poids (Wh/kg) ou de volume (Wh/L)**, directement liée aux réactions se produisant aux électrodes de l'accumulateur, ainsi que la puissance spécifique (W/kg ou W/L) constituent l'un des critères les plus utilisés pour comparer les divers types d'accumulateurs.

* Laboratoire de réactivité et de chimie des solides, URA 1211, Université de Picardie Jules Verne, 33, rue Saint-Leu, 80039 Amiens.
Tél. : 03.22.82.75.72. Fax : 03.22.82.75.90.
E-mail : jean-marie.tarascon@u-picardie.fr

** Laboratoire de chimie métallurgique des terres rares, UPR 209, 1, place Aristide Briand, 92195 Meudon Cedex.
Tél. : 01.45.07.53.54. Fax : 01.45.07.58.44.
E-mail : perchero@cnsr-belleuve.fr

Un accumulateur : deux électrodes dans un électrolyte

En dehors des accumulateurs plomb-acide et Ni-Cd qui nous sont les plus familiers, deux nouveaux types d'accumulateurs, **nickel-hydrures (Ni-MH)** et à **ions lithium**, envahissent aujourd'hui le marché du portable. La technologie Ni-MH présente, par rapport à la technologie Ni-Cd dont elle dérive, outre un gain énergétique, l'avantage de ne pas utiliser le cadmium. La technologie à ions lithium domine ses concurrentes du point de vue énergétique, mais reste pour l'instant relativement chère.

Le point commun à ces deux types d'accumulateurs est qu'ils fonctionnent sur un principe équivalent : ils utilisent en tant que matériaux d'électrodes des **composés pouvant insérer réversiblement des atomes d'hydrogène ou des ions lithium (Li⁺) sans pour autant modifier leur structure**. Une différence, cependant, doit être soulignée : les **accumulateurs à ions lithium fonctionnent avec des électrolytes non aqueux contrairement aux accumulateurs Ni-MH qui utilisent des solutions aqueuses alcalines**.

Les performances de tels accumulateurs se trouvent directement liées aux propriétés intrinsèques des matériaux d'électrodes. Ainsi, elles dépendent :

1) de **l'énergie libre de formation du composé inséré (potentiel)**,

2) de leur **aptitude à accueillir de grandes quantités d'ions** (large **capacité** électrochimique),

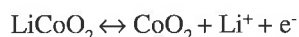
3) de leur conductivité électronique et surtout de leur facilité à permettre la **diffusion des ions (puissance)**.

Aucun matériau connu ne réunit aujourd'hui toutes ces qualités. Le fabricant d'accumulateurs se trouve donc dans l'obligation de faire des **compromis**, d'autant plus difficiles à trouver que le contexte économique actuel oblige à produire des accumulateurs de plus en plus petits et plus autonomes pour répondre aux marchés associés au développement des télécommunications et de l'informatique.

Il appartient donc au chimiste de faire preuve de créativité et d'innovation dans la conception et l'élaboration de matériaux d'électrodes plus performants. Deux types d'approches sont poursuivis : on peut, soit préparer et mettre en œuvre de **nouveaux matériaux**, soit modifier les propriétés de **matériaux existants** grâce à de nouvelles méthodes d'élaboration ou au travers de substitutions chimiques, de contrôles de morphologie/textures ou de propriétés de surface. Ainsi, en dehors de la méthode céramique classique, où les **réactions chimiques entre solides** sont réalisées à **haute température**, des méthodes de synthèse en solution comme la **méthode sol-gel**, ou par voie physico-chimique comme la **mécanosynthèse**, sont fréquemment utilisées pour synthétiser des matériaux d'électrodes. Nous illustrerons donc cette démarche et les progrès effectués dans le cadre des deux technologies citées ci-dessus (Li et Ni-MH), sachant que des recherches du même type existent pour d'autres technologies (accumulateurs plomb-acide, nickel-cadmium ou nickel-hydrogène).

Les matériaux d'électrodes à base de lithium

Les accumulateurs à ions lithium doivent avoir une électrode positive constituée d'un matériau dont le **potentiel d'insertion/désinsertion du lithium** soit le plus élevé possible pour contrebalancer le potentiel de désinsertion/insertion du lithium à l'électrode négative et obtenir une différence de potentiel d'au moins 3 volts. Ce potentiel est non seulement relié à la **structure cristallographique** du matériau, mais aussi à sa structure électronique et, plus particulièrement, à la **position de son niveau de Fermi**. Les matériaux de choix sont des **oxydes de métaux de transition** LiMn_2O_4 , LiNiO_2 , et LiCoO_2 qui sont actuellement utilisés dans les accumulateurs à ions lithium commerciaux. Ce dernier matériau devrait, théoriquement, désintercaler un ion lithium par atome de cobalt selon la réaction électrochimique :



En réalité, on ne parvient à désintercaler que 0,5 lithium en raison de l'instabilité du matériau pour de faibles taux de lithium Li_xCoO_2 ($x < 0,5$). Être capable de préparer des matériaux susceptibles d'insérer réversiblement 1 Li par métal 3d reste l'un des défis à relever dans ce domaine. De nombreux travaux de substitution du cobalt par le nickel et/ou l'aluminium semblent très prometteurs pour stabiliser la phase Li_xCoO_2 ($x < 0,5$). Une autre voie intéressante à développer est l'étude de **composés polyanioniques de type LiFePO_4** : on double ainsi le nombre de combinaisons chi-

miques et on peut élaborer toute une palette de composés dont le potentiel s'étend de 3,5 à 4 V.

A l'électrode négative, la technologie à ions lithium nécessite l'emploi de **matériaux pouvant se réduire à des potentiels très faibles vis-à-vis du lithium**. Cette difficulté a d'ailleurs largement retardé l'émergence de la technologie à « ions lithium » : plus de dix ans se sont écoulés entre l'arrivée du concept et sa réalisation. Ce n'est qu'en découvrant la possibilité d'**insérer réversiblement un lithium pour six atomes de carbone dans le graphite** que la technologie à ions lithium a pu voir le jour. Depuis, d'autres matériaux à plus grande capacité, capables d'insérer/désinsérer réversiblement 2 lithiums pour six carbones, ont été obtenus, soit **par pyrolyse** de diverses substances organiques, soit **par broyage mécanique** des carbones en jouant, dans ce dernier cas, sur la morphologie du matériau. Des oxydes cristallisés ou amorphes (**vanadates**) ou à l'état vitreux (SnO_2) se posent actuellement comme des **concurrents sérieux du carbone**. La société Fuji a récemment démontré la possibilité d'utiliser de tels matériaux à l'électrode négative, donnant ainsi un nouveau souffle à ces recherches.

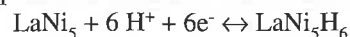
Une nouveauté récente : les électrolytes polymères

Bien que le **rôle de l'électrolyte** soit banal, son choix est **essentiel** : il est en contact avec des matériaux très oxydants (électrode positive) et très réducteurs (électrode négative) : son domaine de stabilité électrochimique doit donc être très étendu (de 0 à 5 V) de manière à ne pas se dégrader au cours du fonctionnement en provoquant des réactions parasites. Ces électrolytes peuvent être **liquides, gélifiés, plastiques ou secs** comme dans la technologie polymère. A l'heure actuelle, les **électrolytes polymères conducteurs ioniques**, bien que découverts en 1980, **posent encore des problèmes d'intégration**. Leur conductivité ionique, trop faible à température ambiante, impose des conditions de fonctionnement trop limitatives (température supérieure à 60 °C), réduisant ainsi leurs domaines d'applications. En revanche, l'approche « électrolytes gélifiés », proposée dès 1974, a conduit au récent développement de la technologie plastique à ions lithium qui se trouve adaptée à la miniaturisation de l'électronique.

Les matériaux d'électrodes à base d'hydrures

L'histoire de la technologie **nickel-hydrures** (Ni-MH) permet d'illustrer l'importance considérable des matériaux et de leur méthode de préparation. La possibilité, pour certains composés intermétalliques, de **stocker de l'hydrogène** et de former des **hydrures de façon réversible** (dans des conditions de pression et température normale, grâce à une réaction de dissociation de l'hydrogène à leur surface, suivie par une diffusion à l'intérieur du matériau de l'hydrogène atomique en réaction solide-gaz) est connue depuis 1970. La **réaction en milieu électrochimique** est connue depuis 1975 dans le cas de type de composés LaNi_5 .

Elle correspond à la réaction à l'électrode négative :



Cependant, en raison de problèmes de corrosion, liés à la nature de l'électrolyte (KOH 8N) engendrant une durée de vie faible, un travail systématique de substitution partielle du nickel a été nécessaire avant l'utilisation industrielle de ces composés. La composition utilisée actuellement $MmNi_{4-x}(Al, Mn, Co)_x$ (Mm = Mischmetal, c'est-à-dire mélange de terres rares), conduit à des performances intéressantes tant du point de vue capacité (320 mAh/g) que tenue au cyclage (400 à 800 cycles sans diminution de capacité selon les applications).

La recherche de performances accrues en terme de capacité de stockage a , naturellement, conduit à l'étude de matériaux mettant en jeu des éléments plus légers que le lanthane ou les terres rares. La famille de matériaux de type AB_2 , principalement basée sur les composés à base de zirconium (ZrV_2 , $ZrMn_2$, $ZrCr_2$), répond à ces objectifs, puisqu'ils présentent en réaction solide-gaz des capacités plus élevées de 25 % que celles des composés dérivés de $LaNi_5$ (> 400 mAh/g). Cependant, la stabilité thermodynamique des hydrures ne permet pas d'envisager leurs charge et décharge par voie électrochimique. A partir de modèles prédictifs, établis sur des considérations thermodynamiques et géométriques pour des composés de type AB_5 et basés sur la relation entre pression d'équilibre de l'hydrure et volume de maille du composé intermétallique, il a été possible, là encore, d'adapter les propriétés d'hydrogénation de ces composés pour une utilisation comme électrode négative. Les performances prometteuses en réaction solide-gaz, des composés de type $ZrCr_{2-x}M_x$, où $M = V, Mn, Ni$ par exemple, donnent de moins bons résultats en milieu électrochimique, liés à des problèmes de passivation de la surface par l'électrolyte. La découverte d'une méthode astucieuse d'élaboration d'alliages permet d'obtenir la **précipitation de phases secondaires** ayant des propriétés catalytiques. La présence de ces phases secondaires, réparties de façon homogène dans les grains de l'alliage, afin de réaliser des matériaux composites à l'échelle microscopique, a permis d'améliorer considérablement la **cinétique d'absorption et désorption de l'hydrogène, de ce type de composés**.

L'élaboration de ces **composés intermétalliques** (de type AB_5 et AB_2) se fait par **cofusion** des éléments constitutifs par des méthodes de **métallurgie haute température** adaptée à des éléments réfractaires et réactifs (four à induction, à arc, fonctionnement sous vide ou gaz neutre). Des traitements thermiques appropriés permettent de contrôler la microstructure des composés. Cependant, différentes techniques de synthèse corrélées à l'état cristallin du matériau sont également développées. A titre d'exemple, la **mécano-synthèse** permet la formation d'alliages contenant des éléments légers très volatils et, également, de modifier les caractéristiques des matériaux massifs en augmentant la densité de défauts et en augmentant considérablement le rapport surface/volume.

Couples électrode/électrolyte : problèmes et progrès attendus

Quelle que soit la technologie, une fois le matériau optimisé, notamment au niveau des capacités et des potentiels,

le chimiste doit résoudre les **problèmes de stabilité** de celui-ci dans l'électrolyte. Qu'il s'agisse d'électrolytes aqueux à base de potasse pour les systèmes à hydrures, ou d'électrolytes non aqueux à base de sels de lithium pour le système à ions lithium, la problématique reste la même. Il faut pouvoir contrôler la surface des matériaux, puisque les dégradations qu'ils subissent dans l'électrolyte font intervenir des réactions de surface. Les recherches actuelles visent essentiellement à modifier l'**interface électrode/électrolyte** pour minimiser les réactions parasites, tout en maintenant, voire améliorant, son **activation**, sa **durée de vie** et sa cinétique vis-à-vis des réactions d'intercalation/désintercalation. Les solutions sont multiples : ajouts de substituants, précipitation à l'échelle du grain lors de leur élaboration de phases secondaires protectrices, broyage et enrobage par voie mécanique, traitement de surface par des composés chélatants. L'approche **enrobage**, bien qu'efficace, est délicate par sa mise en œuvre. En effet, la couche déposée doit non seulement posséder une **conductivité ionique élevée**, mais doit aussi être assez mince pour permettre le **passage d'électrons par effet tunnel**, car toute réaction électrochimique nécessite en tout point la **dualité ions-électrons**.

Malgré la très belle chimie associée à l'élaboration des matériaux d'électrodes, les progrès réalisés dans le domaine du stockage de l'énergie restent très lents, du moins par rapport à ceux de l'électronique ou du stockage d'informations. Le stockage d'énergie **manque encore de matériaux très performants**, bien que certains dispositifs, tels que ceux évoqués ici (Ni-MH, à ion lithium), ont déjà fortement pénétré les marchés de l'électronique portable. Des **progrès restent à faire** pour mettre au point de nouveaux matériaux par le jeu de nouvelles synthèses ou de nouvelles substitutions, et pour améliorer les performances des matériaux existants. Relever ce défi nécessite d'associer un champ très vaste de compétences en chimie minérale, métallurgie, électrochimie, chimie des polymères, chimie de surface. Une approche pluridisciplinaire, associant plusieurs groupes de recherche, s'avère indispensable pour se maintenir dans une compétition mondiale actuellement dominée par le Japon. ■

Pour en savoir plus :

- Idota, Y., Kubota T., Matsufuji A., Mackawa Y., Miyasaka T., *Science*, **1977**, vol. 276, p. 1935.
- Feuillade G., Perche Ph., *J. Appl. Electrochem.*, **1975**, 5, p. 63-9.
- Gozdz T., Schmutz C., Tarascon J.M., US Patent 5, 296, 318.
- Armand M., Chabagno J.M., Duclot M.J., *Fast ion transport in solids*, Eds. P. Vashishta, J.M. Mundy, G.K. Shenoy (North-Holland, New York), **1979**, p. 131.
- Armand M., *Materials for advanced batteries*, Eds. D.W. Murphy, J. Broadhead, B.C.H. Steele (Plenum Press, New York), **1980**, p. 145.
- Tarascon J.M., Gozdz A.S., Schmutz C., Shokoohi F., Warren P.C., *Solid state ionics*, **1996**, 86, p. 49.
- Van Vucht J.-H. N., Kuijpers F.A., Bruning H C.A.M., *Philips Res. Repts*, **1970**, 25, p. 133.
- Percheron-Guégan A., Achard J.C., Sarradin J., Bronoël G., French patent 7516160, **1975** ; US patent 688537, **1978**.
- Joubert J.M., Latroche M., Percheron-Guégan A., Ansara I., *J. Phase Equilibria*, **1995**, 16(6), p. 485.
- Joubert J.M., Da Lin Sun, Latroche M., Percheron-Guégan A., *J. Alloys and Compounds*, **1997**, 253-254, p. 564-569.

Stockage électrochimique de l'énergie

Nouveaux besoins, nouveaux systèmes

Anne de Guibert* directeur de la recherche, Saft

Le développement très rapide des **systèmes portables** (téléphones mobiles, micro-ordinateurs, caméras vidéos...), comme les nouveaux besoins dans le domaine des transports (véhicules électriques ou hybrides), s'accompagnent d'une modification profonde des types d'accumulateurs utilisés. Les demandes du marché en terme d'augmentation d'**autonomie**, d'**allègement**, de **réduction de volume** ont poussé à l'introduction de **nouvelles sources d'énergie** : plomb et nickel/cadmium ne suffisent plus pour répondre aux exigences. Nickel/hydrure métallique et accumulateurs au lithium occupent déjà des positions importantes sur les nouvelles applications portables et sont en développement pour les applications industrielles.

Nous rappellerons, ci-dessous, les enjeux du développement des nouveaux systèmes électrochimiques en terme d'évolution d'énergie, puis l'évolution récente des marchés et des besoins industriels. Nous tenterons enfin d'examiner les tendances et évolutions à venir.

Évolution de l'énergie des accumulateurs

Le *tableau 1* et la *figure 1* rappellent la comparaison d'énergie spécifique (par unité de masse) et de densité d'énergie des accumulateurs (par unité de volume).

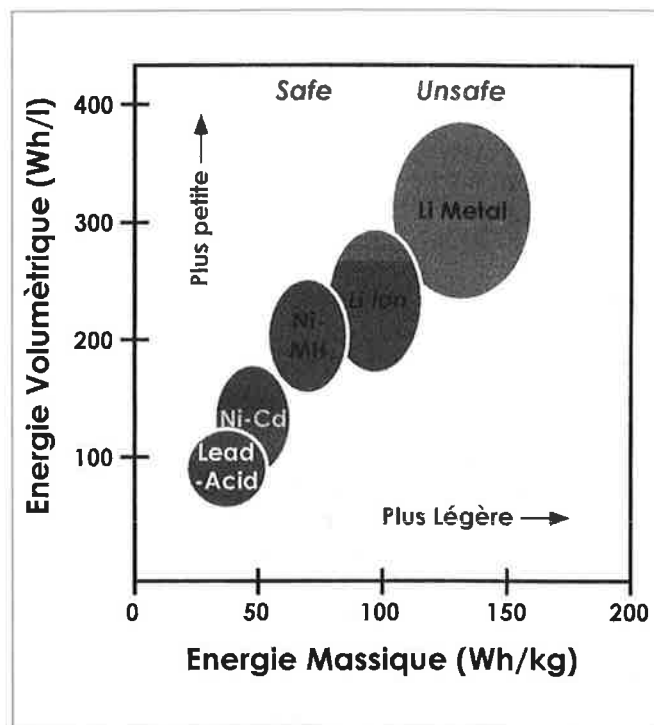


Figure 1 - Comparaison des densités d'énergie de divers types d'accumulateurs.

Tableau 1 - Comparaison d'énergie spécifique et de densité d'énergie de divers types d'accumulateurs.

| | Système | Énergie spécifique (Wh/kg) | Densité d'énergie (Wh/L) |
|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Accumulateurs traditionnels | plomb | 30 | 75-110 |
| | nickel/cadmium | 45-55 | 90-150 |
| Nouveaux systèmes | nickel/hydrure métallique | 55-86 | 175-330 |
| | lithium-ion (*) | 100-130 | 200-300 |

Note : l'énergie dépend de la taille des accumulateurs : plus un accumulateur est gros, plus l'énergie spécifique est élevée. Les chiffres de gauche des fourchettes ci-dessus correspondent aux plus petits accumulateurs (AAA, ou prismatiques minces), ceux de droite aux éléments cylindriques de plus grosses tailles pour applications portables.

Pour la majorité des applications industrielles, la première demande des utilisateurs potentiels est une augmentation de l'énergie spécifique. Pour les applications por-

tables, **énergie spécifique** et **énergie volumique** élevées sont aussi importantes l'une que l'autre s'il est à présent bien admis que la batterie peut atteindre presque la moitié du poids d'un ordinateur ou d'un téléphone portables, mais la demande de réduction d'épaisseur d'un téléphone portable est maintenant plus forte que celle de réduction de poids.

* Saft, Direction de la Recherche, route de Nozay, 91460 Marcoussis.
Tél. : 01.69.63.13.93. Fax : 01.69.63.16.31.
E-mail : anne.deguibert@aar.alcatel-althom.fr

Évolution récente des produits et des marchés

Accumulateurs pour applications portables

Les principaux marchés des accumulateurs portables sont, dans la terminologie anglo-saxonne, ceux des « 4C » (computers, cellular phones, camcorders, cordless tools). Les téléphones cellulaires et les ordinateurs portables sont les marchés où la croissance est la plus forte.

La répartition globale entre types d'accumulateurs est donnée dans le *tableau II*, qui rassemble les productions mondiales 96 des trois types d'accumulateurs utilisés, et les tendances de production.

Le **lithium-ion**, dont la production a démarré au Japon en 1993, connaît une croissance extrêmement forte : 12 millions d'éléments en 94, 30 en 95, **120 à 130 millions en 96**. Les statistiques 97 ne sont pas encore connues, mais on estime que la production devrait atteindre environ 200 millions d'éléments. La **production** de lithium-ion reste **presque exclusivement japonaise**.

Le lithium-ion est utilisé, en premier lieu, dans les ordinateurs portables et a fait, depuis 1996, **une forte percée dans les téléphones cellulaires haut de gamme** (*figure 2*). Le téléphone cellulaire est le premier marché du Ni/MH, avec 60 % des Ni/MH fabriqués utilisés pour cette application. Les autres usages sont les ordinateurs et la vidéo.

Le **nickel/cadmium** a des **applications plus diversifiées** : dans la téléphonie et les ordinateurs, il occupe une part de marché dans le bas de gamme à cause de son coût plus faible. De par ses qualités spécifiques, il reste aujourd'hui **irremplaçable pour l'éclairage de sécurité et les applications de puissances** (outillages sans fil, rasoirs..).

A côté de l'évolution de la nature du couple électrochimique, le marché exige une très forte évolution de la géométrie



Figure 2 - Accumulateurs Li-ion (lithium rechargeable) pour applications portables (télécommunications, informatique...).

Tableau II - Répartition globale entre types d'accumulateurs.

| Couple électrochimique | Production mondiale 1996 (millions d'éléments) | Tendance |
|------------------------------|--|--------------------|
| Ni/Cd | 1 340 à 1 400 | faible croissance |
| Ni/MH | 365 | croissance mesurée |
| Li-ion (électrolyte liquide) | 120 à 130 | forte croissance |

des éléments, qui nécessite de la part des fabricants une très grande flexibilité. Il demande des **batteries de plus en plus plates**. En Ni/MH, le « best-seller » 98 est l'élément cylindrique très mince (diamètre 10 mm), pour téléphonie (*figure 3*). En lithium-ion, l'offre d'**éléments prismatiques** minces (téléphonie) ne suffit pas encore à la demande, alors que la production d'éléments cylindriques plus gros, pour ordinateurs portables, semble plus proche de la saturation du marché.



Figure 3 - Accumulateurs nickel-métal hydrure (Ni-MH) pour applications portables (télécommunications, informatique...).

Les nouvelles applications industrielles

Les accumulateurs **plomb et nickel/cadmium** gardent leur intérêt dans des applications industrielles traditionnelles bien identifiées, qui tirent profit de leurs qualités reconnues : **grande robustesse, fiabilité et puissance** du nickel/cadmium. Le nickel/cadmium domine le démarrage aviation, le ferroviaire et le secours stationnaire de grande fiabilité. Par les prix plus bas du plomb, les marchés de celui-ci sont la traction (chariots élévateurs), et le secours stationnaire (onduleurs, centraux téléphoniques...). Ces marchés sont dans l'ensemble en faible croissance.

Au-delà de ces applications classiques, de **nouveaux marchés émergent dans le domaine des transports** : des **véhicules électriques** ou hybrides sont en développement chez de nombreux constructeurs automobiles à la recherche de solutions **pour réduire la pollution automobile en milieu urbain**. Les accumulateurs classiques ne permettent pas d'atteindre 100 km d'autonomie pour les véhicules. Le *tableau III* comparatif indique les autonomies potentielles avec les nouveaux systèmes Ni/MH et lithium-ion.

Tableau III - Autonomies potentielles des nouveaux systèmes Ni/MH et lithium-ion.

| | Autonomie estimée (km) |
|-------------|------------------------|
| plomb | 70 |
| Ni/Cd | 90 |
| Ni/MH | 120 |
| Lithium-ion | 200 |

Les constructeurs automobiles américains, européens et japonais développent - en partenariat avec les fabricants de batteries - des véhicules prototypes utilisant les nouveaux couples Ni/MH et lithium-ion. Saft a des développements sur ces deux technologies, en France et aux États-Unis. On peut citer en particulier :

- le développement de batteries Ni/MH effectué avec Chrysler, dans le cadre d'un accord récemment signé ;
- le développement d'une batterie lithium-ion en partenariat avec les constructeurs français, et dans le cadre de projets européens.

Des batteries Ni/MH prototypes sont en essai aux États-Unis dans le cadre d'un projet USABC (Advanced Battery Consortium américain).

Actuellement, seuls Saft et Sony ont réalisé des batteries prototypes complètes pour un véhicule (d'autres fabricants travaillent sur des projets similaires, à un stade moins avancé) : le premier véhicule équipé d'une batterie lithium-ion Saft est en expérimentation depuis octobre 97.

Le lithium-ion est également très prometteur pour les **applications spatiales**. Alléger le poids des batteries - tout en répondant à des besoins d'énergie et de durée de vie sans cesse accrus - est important pour faire baisser le coût de lancement des satellites. Les projets de constellations de satellites vont accroître de manière significative le marché.

Quels nouveaux systèmes pour le futur ?

Nous aborderons successivement trois questions importantes pour les fabricants et utilisateurs :

- que peut-on espérer comme amélioration des couples actuels nickel/hydrure métallique ou lithium-ion ?
- le lithium-ion va-t-il détrôner le nickel/hydrure métallique ?
- quel nouveau système au-delà du lithium-ion ?

Amélioration potentielle des couples nickel/hydrure métallique ou lithium-ion

Les **marges de progression** des couples nickel/hydrure métallique ou lithium-ion à électrolyte liquide restent encore importantes, aussi bien au plan des matériaux d'électrode que de la conception mécanique.

A titre d'exemple, on peut citer les **nouvelles familles d'alliages hydrurables** à l'étude dans les laboratoires de recherche, qui pourraient faire gagner **25 %** à l'énergie spécifique de l'électrode négative du Ni/MH. De la même manière, des laboratoires annoncent la mise au point de **nouveaux carbones** de capacité 450 mAh/g (350 mAh/g aujourd'hui), ou d'oxydes métalliques qui pourraient doubler cette capacité.

Une énergie spécifique de 130 Wh/kg pour les petits éléments lithium-ion du portable, et 150 à 170 Wh/kg pour les éléments véhicule électrique de forte capacité semble aujourd'hui accessible.

La compétition nickel/hydrure métallique et lithium-ion

A l'échelle de l'élément pour application portable, Ni/MH et lithium-ion ont des densités d'énergie très voisines, avec un très léger avantage pour les générations Ni/MH les plus récentes. Les deux couples diffèrent par :

- la tension : 1,2 V pour Ni/MH et 3,6 V pour le lithium-ion. Un pack batterie pour téléphone portable nécessite aujourd'hui 3 éléments Ni/MH en série, et plutôt 2 éléments lithium-ion en parallèle ;
- l'électronique de sécurité batterie nécessaire, plus complexe avec le lithium-ion ;
- le prix : le lithium-ion reste plus cher mais les deux types d'éléments ont vu leur prix substantiellement baisser depuis deux ans.

Aujourd'hui, le **lithium-ion occupe tous les marchés haut de gamme** dans la téléphonie, et **croît plus vite que le Ni/MH**. Cependant, la banalisation des téléphones portables pour le grand public, ainsi que la pression sur les prix associée limitent l'extension du lithium. Dans les années à venir, la baisse de tension demandée par l'électronique pourrait donner au couple Ni/MH des avantages supplémentaires.

La suprématie du lithium est moins discutable pour les ordinateurs portables où le poids de la batterie est proportionnellement encore plus important.

Nouveaux systèmes

Au-delà du lithium-ion à électrolyte liquide, le système le plus prometteur à court terme semble être, pour les applications portables, le **lithium-ion à électrolyte polymère de type gel**. De nombreuses sociétés américaines d'abord, puis européennes ou japonaises, annoncent l'arrivée du lithium à électrolyte polymère **dans les dix-huit mois**.

Ce système utilise les mêmes matériaux d'électrodes que le lithium-ion et devrait avoir des performances voisines. Son avantage premier réside dans la réponse qu'il apporte pour adapter la forme des batteries. Il sera possible de réaliser les **batteries ultraplates** tant réclamées par les fabricants de téléphones. La technologie du lithium permet de faire des cellules unitaires d'épaisseur 0,5 mm, qu'on assemble en parallèle, pour obtenir la capacité nécessaire, dans un boîtier en plastique/aluminium de type emballage alimentaire. Une batterie de téléphone aurait une épaisseur de 3 à 4 mm.

Conclusion

Les besoins accrus des équipements électroniques portables ont accéléré la mutation des sources d'énergie, depuis le nickel/cadmium traditionnel vers le nickel/hydrure métallique et le lithium-ion. Cette **évolution n'est pas terminée** et devrait encore se poursuivre dans les prochaines années.

Les applications industrielles dans le domaine des transports se développent plus lentement, mais, compte tenu de la taille des batteries, devraient représenter à terme des volumes supérieurs de matériaux d'électrode. ■

Les matériaux laser

L'état solide, source de lumière laser

Georges Boulon* directeur du Groupement de recherche (GDR) 1148 (Matériaux laser)

Summary : *Solid-state, source of laser light*

The advance of solid-state laser materials, luminescent ion doped inorganic dielectric crystals or glasses, is related to a strong demand of numerous applications in various domains. Today this is due to fruitful deep basic research in solid-state chemistry, solid-state physics and optics laboratories. Trivalent rare-earth ions are giving many laser lines from ultra-violet to infrared spectral range and transition metal ions allow us to make tunable sources mainly within red and infrared. The main approach is to connect diodes laser with laser materials and nonlinear crystals for all-solid-state laser sources.

Mots clés : *Laser à solide, matériaux laser, ions terres rares, ions de transition, pompage optique.*

Key-words : *Solid-state laser, laser materials, rare-earth ions, transition metal ions, optical pumping.*

Nature des matériaux et des mécanismes physiques mis en jeu

Depuis les années 80, on assiste à une avancée remarquable des sources laser** dont le milieu amplificateur est à l'état solide et que l'on a coutume d'appeler « laser à solide ». Ce milieu est constitué d'un **oxyde** ou d'un **fluorure**, de préférence inorganique pour des raisons de tenues mécanique et thermique, **crystal ou verre**, diélectrique donc **isolant**, dont le **dotage, par des traces de cations activateurs luminescents** de même charge et de rayon ionique voisin de celui du cation qu'il substitue, lui confère des **propriétés d'absorption et d'émission de l'ultraviolet à l'infrarouge**. Ces spectres de bandes larges ou de raies étroites sont exploités pour produire la lumière laser. Les bandes ou raies d'absorption rendent possible le **pompage optique** ; les bandes ou raies d'émission produisent les transitions lasers après diverses relaxations non radiatives entre les niveaux électroniques et vibrationnels appartenant aux états excités. Ces transitions propres à l'ion actif ne doivent pas être masquées par les absorptions liées à la matrice cristalline, comme l'absorption fondamentale dans l'ultraviolet entre niveaux de la bande de valence et ceux de la bande de conduction, et l'absorption vibrationnelle dans l'infrarouge des anions (oxygène ou fluor) par rapport aux cations plus lourds (figures 1, 2). Aujourd'hui, cette **fenêtre spectrale** rend observable des raies lasers dans les solides d'environ 200 nm (0,2 μm) dans l'ultraviolet à près de 5 000 nm

(5 μm) dans l'infrarouge, à la température ambiante. Ce n'est pas un hasard si les premières transitions facilement exploitées sont localisées vers le proche infrarouge autour de 1 000 nm (1 μm) : c'est une région de convergence des queues d'absorption intrinsèques au réseau où les pertes sont minimales en dehors, bien entendu, des absorptions dues aux impuretés qui n'ont pas pu être éliminées. Celles-ci sont nombreuses, et même la source de maux d'autant plus difficiles à traiter que la nature des éléments présents à l'état de trace est inconnue et qu'on les soupçonne d'influencer beaucoup la qualité des cristaux. Une autre limitation spectrale provient de l'énergie du photon assurant le pompage optique. Le visible convient assez bien pour produire des émissions d'abord Stokes, de plus basse énergie, qu'aussi anti-Stokes, d'énergie plus élevée dans le bleu et l'ultra-violet que le pompage direct ultraviolet rend difficile par le **processus de solarisation** ou la **création de centres colorés** dont l'absorption est une cause supplémentaire de pertes d'énergie.

Un modèle simple du diagramme de niveaux d'énergie d'un centre actif localisé dans la bande interdite de la matrice solide est représenté sur la figure 3. Le pompage optique des électrons occupant le niveau fondamental de l'ion est assuré par les photons du faisceau exciteur. Il est illustré, sur la figure 1, soit par une lampe au xénon à spectre large dans l'UV et le visible, génératrice de relaxations non radiatives importantes diminuant le rendement de conversion, soit par une diode laser seulement sur l'un des niveaux excités proches du niveau émetteur, réduisant considérablement les effets thermiques. L'amplification optique de la transition dite laser nécessite d'inverser les populations d'électrons entre les niveaux (3) et (2).

L'absorption éventuelle entre états excités et la bande de conduction synonymes de pertes d'électrons à travers le réseau a été mentionnée. On peut ainsi expliquer pourquoi

* Laboratoire de physico-chimie des matériaux luminescents, Université Claude Bernard Lyon I, UMR 5620 CNRS, 43 bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex. Tél. : 04.72.44.82.71/83.21. Fax : 04.72.43.11.30. E-mail : boulon@pcml.univ-lyon1.fr

** Laser : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

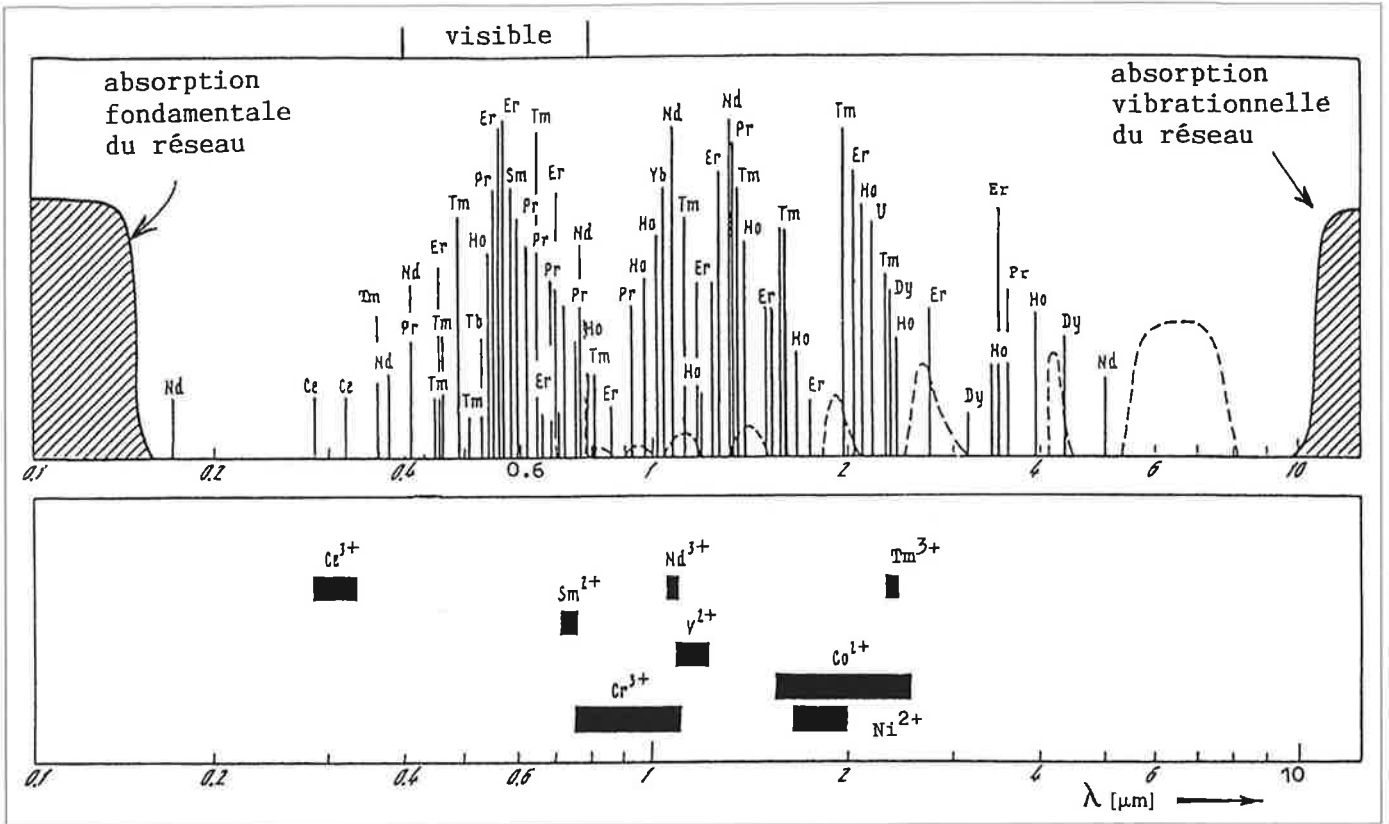


Figure 1 - Domaine de transparence des cristaux de fluorures et principales émissions des ions terres rares trivalents, des ions de transition et de l'uranium trivalent. Les bandes en pointillés représentent l'absorption des molécules d'eau et de CO_2 de l'atmosphère.

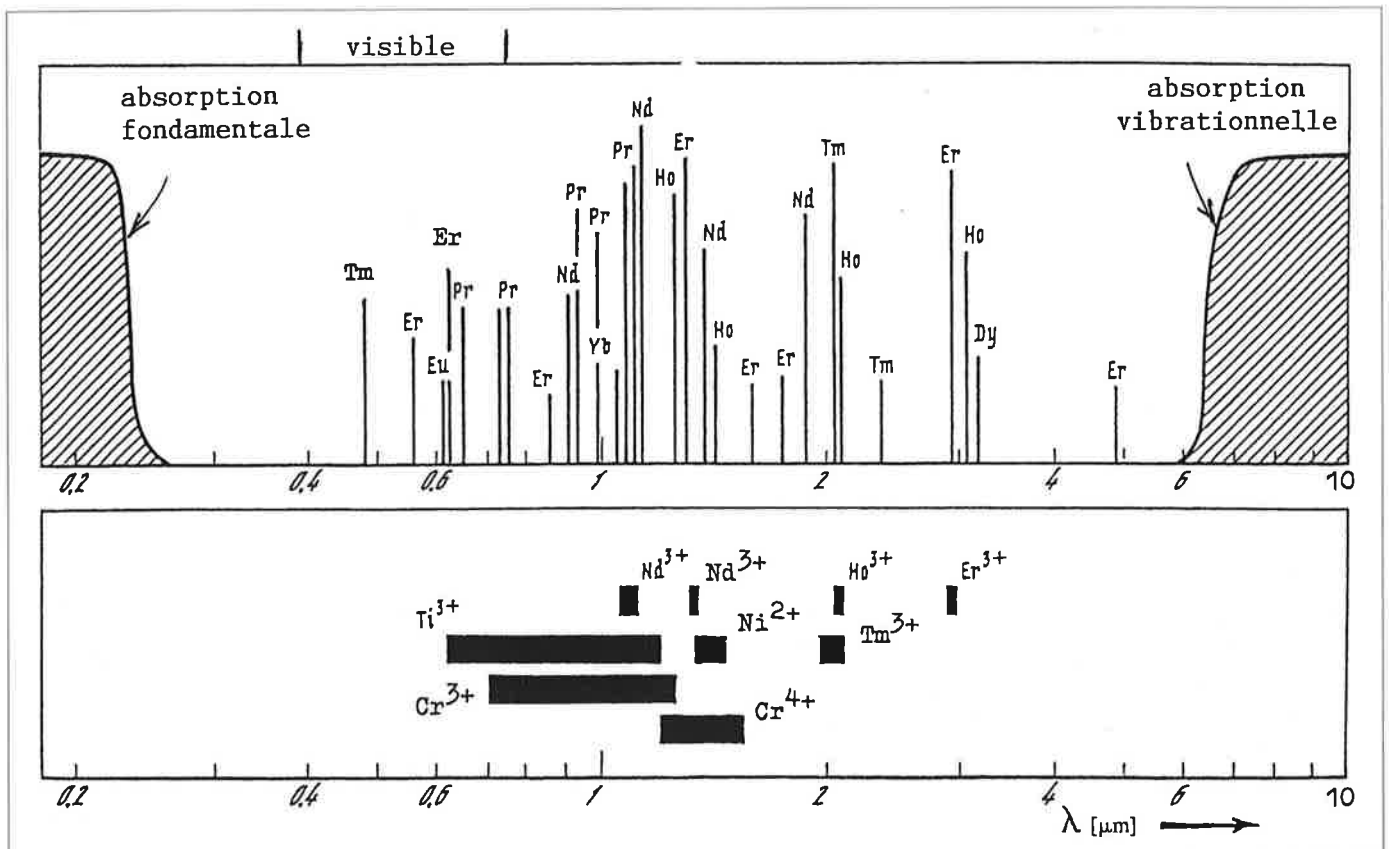


Figure 2 - Domaine de transparence des cristaux d'oxydes et principales émissions des ions terres rares trivalents et des ions de transition.

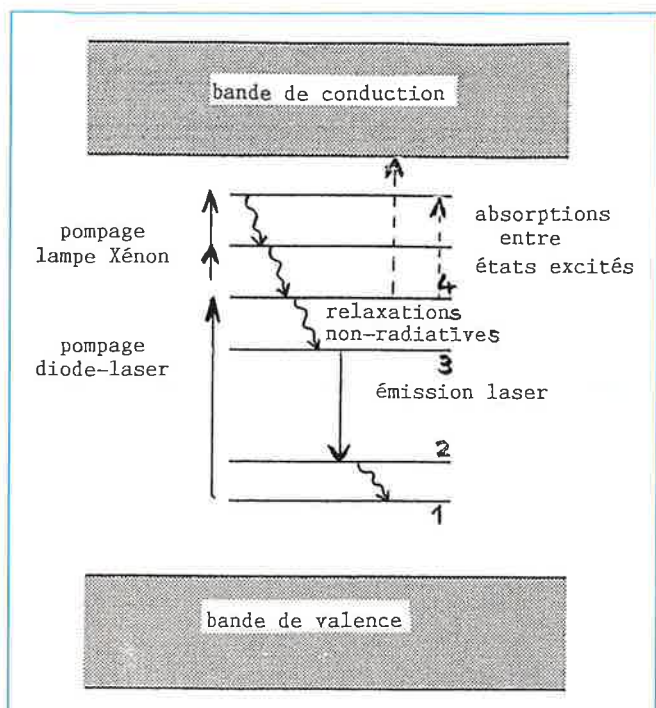


Figure 3 - Modèle du diagramme des niveaux d'énergie d'un ion dopant dans la bande interdite de la matrice isolante.

les meilleurs cristaux lasers ont des largeurs de bande interdite élevées comme Al_2O_3 (dopé Cr^{3+} ou Ti^{3+}), YAlO_3 (dopé terres rares), $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (dopé terres rares), LiYF_4 (dopé terres rares) réduisant la possibilité d'atteindre cette bande de conduction. Sont donc mis en jeu les fondements de la spectroscopie optique des ions luminescents et de la dynamique entre les niveaux, selon les valeurs de leurs durées de vie moyennes essentiellement les configurations $4f^n$, parfois $4f^{n-1} - 5d$, des lanthanides ou terres rares trivalentes du cérium ($n = 1$, $Z = 58$) à l'ytterbium ($n = 13$, $Z = 70$) et la configuration $3d^n$ des ions de transition du titane trivalent ($n = 1$, $Z = 22$) au cuivre monovalent ($n = 10$, $Z = 29$), avec principalement $3d^1$ (Ti^{3+}), $3d^2$ (Cr^{4+}), $3d^3$ (Cr^{3+} , V^{2+}), $3d^4$ (Cr^{2+}), $3d^7$ (Co^{2+}) et $3d^8$ (Ni^{2+}) pour les propriétés lasers.

La progression lente mais inéluctable des lasers à solide

La compétition entre milieux amplificateurs dans leurs états gazeux, liquide ou encore solide a commencé dans les années 50. Malgré la mise en évidence du premier laser dans le rouge à 694,3 nm, contre toute attente en juin 1960, avec un cristal de rubis (oxyde d'aluminium dont on substitue une petite fraction de cations Al^{3+} par le chrome Cr^{3+}) par T. Maiman aux laboratoires californiens Hughes, ce sont surtout les lasers à gaz (hélium-néon, argon, krypton, CO_2) qui ont eu la primeur du développement après le premier laser hélium-néon, démontré par Javan à la Bell Telephone, en décembre 1960. Celui-ci émet dans le proche infrarouge (1 150 nm ou 1,15 μm) et dans le rouge 632,8 nm, qui nous est aujourd'hui plus familier pour l'enseignement de l'optique, la télémétrie ou la lecture des codes-barres dans les supermarchés. La construction d'un laser à gaz semblait plus aisée que celle d'un laser à solide, qui nécessite la

croissance d'un cristal de haute qualité optique. Une telle solution historique obligeait les constructeurs à tirer profit d'une population active d'atomes, dilués dans un milieu gazeux environ dix mille fois plus faible que celle du solide, compact par essence. En plus de cela, les capillaires les rendaient fragiles et l'alimentation électrique de pompage entraînait un coût élevé pour les sources de puissances supérieures au watt. Si bien que, progressivement, après les résultats disons décevants du rubis parce que fonctionnant selon un centre à 3 niveaux, le niveau terminal de l'émission laser étant confondu avec le niveau fondamental qu'il faut sans cesse dépeupler de plus de la moitié de sa population pour atteindre l'inversion de population, condition de base du laser, c'est l'apparition en 1964 du **cristal de grenat $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG) dopé par l'ion néodyme Nd^{3+}** qui allait s'imposer et promouvoir l'état solide par rapport aux gaz. Dans cette matrice, l'introduction d'environ 1 atome Nd^{3+} pour 100 cations Y^{3+} s'avère être le modèle d'un centre à 4 niveaux d'énergie, idéal pour une inversion de population naturelle, la transition $4F_{3/2} \rightarrow 4I_{11/2}$ à 1 064 nm (1,064 μm) aboutissant à un niveau complètement dépeuplé à la température ambiante situé au-dessus du fondamental (figure 3).

Peu à peu, la qualité optique des cristaux qui poussent selon la technique de Czochralski s'est améliorée et a permis l'envol du marché des lasers à solide **YAG:Nd³⁺**, au début des années 80, surtout pour les applications industrielles de découpe, perçage, traitement de surface mais aussi des alliés de poids, les cristaux non linéaires de **KDP** (KH_2PO_4) générateurs du second harmonique à 532 nm dans le vert juste adapté au pompage optique des colorants à émission accordable dans le visible. L'impact de ces systèmes sur les mesures en physique atomique fut considérable. On ne pouvait évidemment pas se contenter des lasers à fréquences fixes, tant les besoins de fréquences variables sont immenses dans les domaines scientifiques, médicaux, industriels et de l'environnement. Citons l'excitation des multitudes de niveaux d'énergie des atomes, ions, molécules de l'ultraviolet à l'infrarouge, dans une foule de composés optiques, ou l'application à la communication avec la **transmission par fibres optiques** optimisée à 1,55 μm ou à travers l'atmosphère vers 2 μm . Citons aussi les lasers à sécurité oculaire à 1,54 μm , riches d'applications en **télémétrie**, ou encore les **applications médicales** liées surtout aux spectres d'absorption surtout de l'eau. Malheureusement, les colorants sont photodégradables et ils ne sont plus opérationnels au-delà du rouge. De plus, ils sont toxiques et difficiles à utiliser par la circulation continue exigée pour limiter les dommages inévitables des molécules organiques. Il fallait donc trouver d'autres milieux accordables en fréquence. La solution est venue de l'état solide principalement par le **saphir dopé titane**.

L'approche pour des lasers « tout solide »

On le voit, que ce soit pour les gaz ou pour les liquides, ces sources lasers présentent, malgré leur intérêt pour diverses applications, des inconvénients qu'on essaie, en fait, d'outrepasser par l'exploitation de solides luminescents capables de produire des amplifications. C'est ainsi qu'on assiste, depuis quelques années, à la **recherche de sources**

« **tout solide** » avec le pompage de matériaux lasers, cristaux ou verres, par des diodes laser ajoutées à l'utilisation d'absorbants saturables cristallins pour le déclenchement des modes. L'apport récent des **matériaux non linéaires** pour doubler, additionner, soustraire les fréquences, le tout, sous une forme compacte facilement manipulable, doit également être mentionné.

Depuis le début des années 90, l'optimisation est liée à l'**adaptation des diodes AlGaAs**, au pompage des ions Nd^{3+} (808 nm), des ions Yb^{3+} (900 à 980 nm) et des ions Er^{3+} (1 450 nm), et celle des diodes AlGaInP au pompage de l'ion Cr^{3+} (670 nm). L'apparition du **pompage par diode laser** est un enrichissement tout à fait remarquable dans la mesure où il permet l'excitation de niveaux excités proches du niveau émetteur, augmentant radicalement les rendements de conversion par l'élimination de la presque totalité des relaxations non radiatives ou phononiques à l'origine de l'échauffement des matrices (figure 1).

Les principales avancées des cristaux laser

Le succès des matériaux laser est la conséquence d'une **maîtrise accrue des techniques de croissance cristalline** conduisant à des boules de meilleure qualité optique, dans lesquelles on découpe les barreaux (diamètre de l'ordre de quelques mm, longueur de 1 à 15 cm) comme ceux photographiés sur la figure 4 et les plaques de quelques cm^2 où les ions sont distribués de façon homogène, ce qui conditionne la qualité des profils de faisceaux. Il faut tout de même être patient, puisqu'une boule de 15 cm de longueur nécessite plusieurs semaines de croissance, à raison de 0,5 mm/h. On trouve ainsi, aujourd'hui, sur le marché des lasers de puissance YAG : Nd^{3+} quasi continus produisant 500 W avec un barreau de 15 cm de longueur et jusqu'à 2 400 W avec plusieurs barreaux. Si bien que la compétition avec les lasers à gaz CO_2 est devenue une réalité alors qu'elle n'était qu'un rêve au milieu des années 80. Il suffit de visiter les grandes industries de l'automobile pour s'en rendre compte.

De plus, on peut aussi choisir, avec plus de précision, l'**état d'oxydation des ions** : Cr^{2+} pour l'émission entre 2 200 et 3 000 nm dans ZnSe ; Cr^{3+} pour la bande large entre

780 et 990 nm dans LiSrAlF_6 ainsi que dans de nombreux grenats, Cr^{4+} pour l'autre bande entre 1 130 et 1 367 nm dans la forsterite Mg_2SiO_4 . Il est significatif de rappeler que, dans les années 88-89, l'émission de Cr^{4+} a été découverte fortuitement à partir de l'introduction de Cr^{3+} dans la forsterite. Il est vrai que les différents états d'oxydation subsistent en équilibre dans les réseaux cristallins et que par exemple, pour le fameux saphir dopé titane Ti^{3+} accordable entre 660 et 1 180 nm, une limitation de l'émission du côté du rouge provient de l'absorption des paires $\text{Ti}^{4+} - \text{Ti}^{3+}$ toujours présentes dans les boules malgré une attention particulièrement soutenue lors de la croissance, au vu des nombreuses applications qu'on peut en tirer.

Les résultats acquis par la dynamique des états excités et les mécanismes de relaxations radiatives et non radiatives d'ions terres rares et d'ions de transitions ont permis également de mieux comprendre les transferts d'énergie, par exemple, $\text{Yb}^{3+} - \text{Er}^{3+}$ pour les matériaux à sécurité oculaire vers 1,54 μm pompés par diodes laser sur les niveaux de Yb^{3+} , ou encore $\text{Yb}^{3+} - \text{Tm}^{3+} - \text{Ho}^{3+}$, pour ceux pompés par lampes flashes émettant vers 2 μm pour les applications médicales ou sous pompage solaire de Cr^{3+} . $\text{Tm}^{3+} - \text{Ho}^{3+}$ pour les applications spatiales mettant à profit les bandes larges d'absorption de Cr^{3+} dans le visible.

Si l'on consulte les articles généraux et les ouvrages de ce domaine [1, 2, 3], on se rend compte qu'il existe cependant des centaines de matériaux susceptibles d'émettre l'émission stimulée et qu'en définitive la liste de ceux qui ont atteint une **maturité commerciale est courte** [4] :

- $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG), YLiF_4 (YLF), YVO_4 dopés principalement par le néodyme Nd^{3+} mais aussi par les autres terres rares erbium, thulium, holmium, ytterbium, en substitution de Y^{3+} ,

- verres de phosphates dopés $\text{Yb}^{3+} - \text{Er}^{3+}$,

- $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Cr}^{3+}$ (rubis), $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Ti}^{3+}$ (saphir), LiSrAlF_6 (LiSAF) dopé Cr^{3+} ou Ce^{3+} sur le site octaédrique et, à un degré moindre :

- Y_2SiO_5 (YSO), $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ (KGW), YAlO_3 (YAP)

- $\text{LaMgAl}_{11}\text{O}_{19}$ (LMA), BaY_2F_8 dopés néodyme,

- fluoro-apatites $\text{Sr}_5(\text{VO}_4)_3\text{F}$ (SVAP) dopés Yb^{3+} ,

- forsterite Mg_2SiO_4 dopé Cr^{4+} sur le site tétraédrique.

Une telle restriction est le résultat d'une **sélection très sévère**, fonction des qualités à la fois optiques, mécaniques, thermiques. Ces cristaux sont produits principalement aux États-Unis. Certains sont aussi synthétisés en Chine, au Japon, en Tchécoslovaquie et en France par la société Crismatec surtout pour YAG: Nd^{3+} comme ceux de la figure 4.

Perspectives

Depuis la mise en évidence de l'émission stimulée dans le rouge par un rubis en 1960, les découvertes de cristaux lasers combinant à la fois des **variétés de réseaux et différents ions dopants luminescents** ont été nombreuses mais, à l'exception de YAG: Nd^{3+} , elles n'ont porté leurs fruits que depuis une dizaine d'années, l'émergence de $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{Ti}^{3+}$ étant le plus beau symbole de ce renouveau. La **capacité à maîtriser des croissances de cristaux d'excellente qualité**

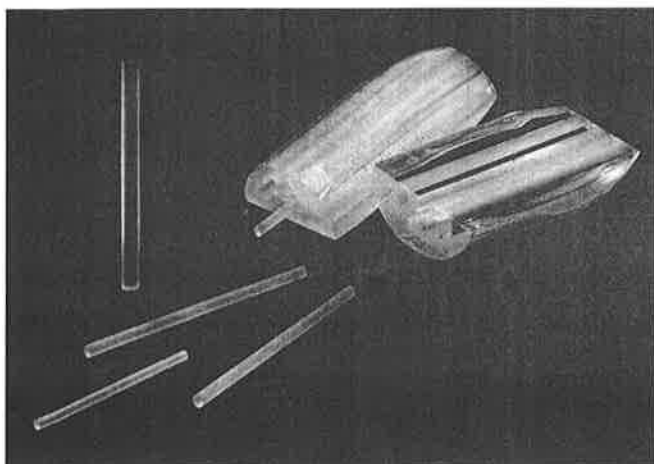


Figure 4 - Cette photographie illustre l'extraction de quelques barreaux du cristal YAG: Nd^{3+} à partir d'une boule synthétisée par la méthode de Czochralski chez Crismatec (Gières, France).

optique et la compréhension poussée des mécanismes dynamiques entre états excités ont été déterminants pour cette avancée démontrant l'impact très fort sur les applications des recherches fondamentales à la fois de chimie et de physique de l'état solide ainsi que celles de spectroscopie optique des milieux dilués depuis une trentaine d'années.

Devant la prolifération du nombre de possibilités mettant à profit d'une part, les pompages par lampes flashes, par lasers, surtout aujourd'hui par diodes laser, et d'autre part, la grande quantité de niveaux d'énergie propres à chaque centre activateur, il était impératif de définir un programme scientifique national de haute qualité incluant les acteurs fondamentalistes et les industriels du laser. Une telle approche impliquait une concertation et une mise en commun des moyens disponibles comme celle pratiquée depuis 1994 au sein du GDR 1148 « Matériaux laser » comprenant une dizaine d'équipes universitaires et cinq industriels, dont la stratégie permet de développer des sujets bien ciblés dans une perspective de recherche finalisée, tout en associant la volonté d'études fondamentales. L'expérience acquise aujourd'hui dans le GDR confirme la nécessité pour les deux parties en présence, chercheurs et industriels, de poursuivre des collaborations qui se sont avérées très fructueuses.

L'avenir des sources laser à solide dépend naturellement de l'état des recherches fondamentales sur plusieurs thèmes. C'est celui de la **génération d'émissions ultraviolette** à partir des deux possibilités suivantes : **transitions entre configurations** $4f^{n-1} 5d^1-4f^n$ des terres rares comme Nd^{3+} , Pr^{3+} , Ce^{3+} surtout dans les fluorures ou **doublage de fréquence** des transitions visibles par des cristaux non linéaires du type $\chi^{(2)}$ ($LiNbO_3$, $LiTaO_3$, $KTiOPO_4$, $KTiOAsO_4$), ou en cours d'étude comme $Ba_2NaNb_5O_{15}$, $KLiNb_5O_{15}$, $Ca_4Gd(BO_3)_3O$ ou $Ca_4Y(BO_3)_3O$, et même en développant des cristaux auto-doubleurs de fréquences dopés terres rares comme $Nd_xY_{1-x}Al_3(BO_3)_4$ (NYAB) assurant simultanément les deux fonctions laser et non linéaire. C'est aussi, dans le même esprit, la recherche de cristaux non linéaires du type $\chi^{(3)}$ purs ou dopés mettant à profit les phénomènes de **diffusion Raman auto-stimulée** pour décaler certaines transitions aux longueurs d'ondes souhaitées surtout dans l'infrarouge dans les domaines de sécurité oculaire à 1 540 nm en soustrayant l'émission ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$ de Nd^{3+} d'un YAG à 1 320 nm avec l'énergie vibrationnelle Raman de cristaux tels que $Ba(NO_3)_2$ ou $KGd(WO_4)_2$ (KGW) (figure 5), ou encore en dopant KGW par Nd^{3+} par l'auto-décalage Raman. Des efforts doivent être poursuivis pour reconnaître les meilleurs cristaux dopés Yb^{3+} en remplacement éventuel de Nd^{3+} sous pompage par diodes laser. Nd^{3+} et Yb^{3+} sont de beaux exemples de recherches de sources tout solide pour l'émission infrarouge vers 1 μm et, après doublage de fréquence, pour celles dans le vert. Quant au bleu, il pourrait être atteint, entre autres par le doublage de l'émission presque résonnante ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{9/2}$ de l'ion Nd^{3+} vers 950 nm. Les avantages attendus du pompage par diodes laser devraient être énormes en raison des **rendements de conversion d'énergie attendus élevés**, de l'ordre de 50 %, alors qu'avec les lampes flashes il n'est que d'envi-

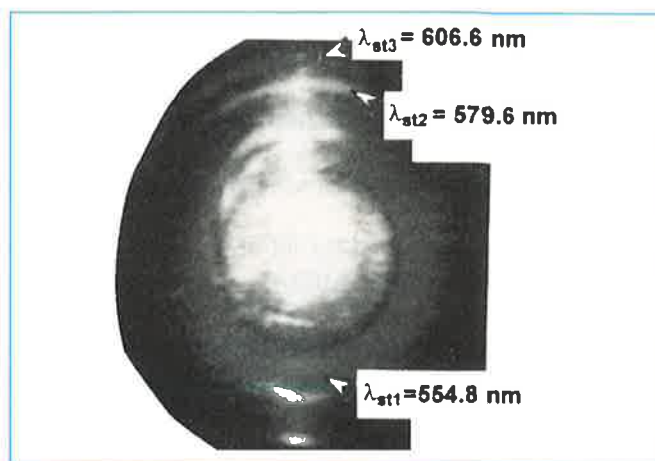


Figure 5 - Un laser YAG: Nd^{3+} doublé en fréquence par un cristal de KDP émet à $\lambda = 532$ nm. La photographie montre qu'un cristal de KGW peut décaler la fréquence incidente en trois ordres « Stokes » St1, St2 et St3 par effet Raman.

ron 1 %. Les diodes laser, à la limite du visible et de l'infrarouge, contribuent aussi aux recherches de transitions laser anti-Stokes, par des mécanismes que l'on continue d'appeler « up-conversion », avec l'avantage d'éviter le pompage coûteux et souvent nuisible dans l'ultraviolet. A cet égard, le **mécanisme d'avalanche de photons** avec les ions Tm^{3+} , par exemple, pourrait être approfondi pour être exploité. Le sentiment qui prédomine est que la liaison entre physique des cristaux lasers et phénomènes non linéaires est inévitablement pleine de promesses.

Parmi les autres priorités de programme, les solides émettant des **bandes spectrales** larges du type saphir dopé Ti^{3+} devraient être recherchés pour développer les lasers à impulsions ultracourtes subpicosecondes jusqu'à la femtoseconde. De même, l'amélioration des critères de qualité des cristaux laser et des cristaux non linéaires purs ou dopés passe par une meilleure connaissance des nombreuses **traces d'impuretés optiquement actives** présentes dans les matériaux de départ ou créées lors des recuits proches de la température de fusion qui, de toute évidence, joue un rôle, mais qui reste encore aujourd'hui à préciser.

Le domaine est très vaste à défricher par une interaction entre chimistes du solide et physiciens du solide. C'est bien une conclusion générale de ce thème dont l'avenir est étroitement lié à la convergence des efforts de spécialistes appartenant à toutes les disciplines scientifiques. ■

Références

- [1] Kaminskii A., *Crystalline lasers : physical processes and operating schemes*, CRC Press (Laser and Optical Science and Technology Series), Editor : Marvin Weber, 1996.
- [2] Gan Fuxi, *Laser materials*, World Scientific Publishing Co, London, 1995.
- [3] Boulon G., *Matériaux pour lasers à solide, Les lasers et leurs applications scientifiques et médicales*, Les Éditions de Physique, éditeurs : C. Fabre, J.P. Pocholle, 1996, p.259-285.
- [4] Boulon G., *Les conquêtes des lasers à solide de l'UV à l'IR, Lettre Sciences Physiques et Mathématiques du CNRS*, 1998.

Ciments et bétons

Ciment et béton : des matériaux à hautes performances

Philippe Boch* professeur à l'université P. et M. Curie et à l'École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles

Summary : *Cement and concrete : high-performance materials*

Portland cement is used for making concrete, whereas special cements find application in refractories, biomaterials, or pollutant trapping. How the cement sets and hardens is still a mystery, although the structure of cementitious phases begins to be reasonably understood.

Mots clés : *Ciment, béton, réfractaire, polluant.*

Key-words : *Cement, concrete, refractories, pollutant.*

Le ciment a longtemps illustré la boutade selon laquelle l'intérêt d'un chimiste pour un matériau est inversement proportionnel à son tonnage. Premier des matériaux de grande diffusion avec, en France, une consommation annuelle d'environ 300 kg par personne, le ciment mérite cependant le renouveau d'attention que lui accorde le CNRS, un peu plus d'un siècle après la thèse de Le Chatelier (1887).

Les ciments

Le ciment Portland, inventé en 1824 par Joseph Aspdin, doit son nom à sa couleur qui rappellerait celle des roches de l'île de Portland, au sud-ouest de l'Angleterre. Le clinker est produit par réaction à haute température (vers 1 450 °C) entre du calcaire et des argiles. En termes d'oxydes équivalents, le système s'inscrit dans le diagramme CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃. Les phases principales du clinker sont le silicate tricalcique, le silicate bicalcique, l'aluminate tricalcique et l'alumino-ferrite tétracalcique, de formules respectives C₃S, C₂S, C₃A et C₄AF en utilisant la notation cimentière où C = CaO, A = Al₂O₃, F = Fe₂O₃ et S = SiO₂. Après broyage du clinker et addition d'un peu de gypse, qui régularise la prise, on obtient le portland utilisé pour le bâtiment et le génie civil, archétype des liants hydrauliques qui durcissent par réaction avec l'eau ; les ciments antiques étaient souvent des liants aériens, où la chaux se transforme en calcite (CaCO₃) par réaction avec le CO₂ de l'air.

* UMR 7574 CNRS, Université Pierre et Marie Curie et École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles, 10, rue Vauquelin, 75005 Paris. Tél : 01.40.79.44.42. Fax : 01.40.79.47.50. E-mail : philippe.boch@espci.fr

Il existe de nombreuses compositions dérivées du portland, incorporant par exemple des laitiers de haut fourneau, des cendres volantes, ou des pouzzolanes volcaniques. Il existe aussi des ciments à usages spécialisés, dont les ciments à haute teneur en alumine, aux remarquables propriétés réfractaires, ou les ciments de phosphates de calcium, envisagés comme biomatériaux, pour ne pas parler de ce cousin des ciments qu'est le plâtre, et en ignorant les liants polymères tels le polyméthacrylate de méthyle (PMMA).

Le mystère de la prise

Le béton est obtenu en hydratant un mélange de ciment et de charges plus ou moins divisées (sable, granulats...) [1]. La prise, puis le durcissement, transforment le milieu granulaire non cohésif de départ en un matériau solide à hautes performances mécaniques. L'hydrate principal d'une pâte de ciment portland est le silicate de calcium hydraté, dit C-S-H, C et S ayant les significations indiquées plus haut et H étant mis pour H₂O. Le C-S-H (en fait les C-S-H) sont des phases très mal organisées ; la portlandite Ca(OH)₂ est la principale phase cristallisée [2] d'une pâte de ciment.

Le travail de pionnier de Le Chatelier a montré que les grains de ciment anhydres se dissolvent et que la **réaction entre ciment et eau se fait en solution, avec précipitation des hydrates insolubles**, une explication sommaire des propriétés mécaniques du ciment étant alors que **l'intercroissance des différentes phases** assure un enchevêtrement de type « tenon et mortaise ». Les limites de cette explication et le développement des connaissances sur la prise du ciment sont discutés par J. Baron à la suite de cet article.

Structure des C-S-H

« Colle » qui assure la cohésion du ciment, les C-S-H jouent un rôle essentiel, qui justifie l'intérêt qu'on porte à connaître leur structure. Comme il s'agit de phases très mal organisées, la diffraction des rayons X n'apporte que peu d'informations.

- **A l'échelle microstructurale**, les C-S-H ont une morphologie qui s'apparente à celle d'un gel de **grande surface spécifique** ($> 150 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), cette morphologie dépendant des conditions de formation : elle est fibreuse et alvéolée pour les C-S-H formés en surface des grains anhydres au début de l'hydratation, et massive pour des stades plus avancés de l'hydratation, où l'on observe l'avancement vers le cœur du grain d'un front de réaction entre le C_3S et l'eau de gâchage, avec précipitation associée de « paquets » de C-S-H.

- **A l'échelle nanométrique**, le gel est constitué de **nanocristaux** ($< 50 \text{ nm}$) de stœchiométrie variable d'un grain à un autre. Les limites de composition au sein de chaque grain ne sont pas bien définies, mais les différentes techniques d'analyse s'accordent pour attribuer au rapport Ca/Si une valeur moyenne de 1,7.

- **A l'échelle atomique**, enfin, la connaissance de la structure des C-S-H a beaucoup progressé depuis une quinzaine d'années, grâce à la RMN du silicium, puis à la RMN du proton et de l'oxygène [3]. Il s'agit de **phases en feuillets**, qu'on peut considérer comme dérivées de la tobermorite $\text{Ca}_{4+x}\text{Si}_6\text{O}_{14+2x}(\text{OH})_{4-2x}(\text{H}_2\text{O})_2$, avec en général $0 \leq x \leq 2$, un minéral naturel assez rare, constituées de chaînes de **tétraèdres de silice** dont la longueur varie avec le rapport Ca/Si, **séparées par des plans Ca-O**. La RMN du ^{29}Si permettant de discriminer entre tétraèdres de bout de chaînes (sites Q^1) et tétraèdres de milieu de chaînes (sites Q^2), on a établi que la longueur moyenne des chaînes de tétraèdres est inférieure ou égale à 3 pour les C-S-H de Ca/Si supérieur à 1,5 et qu'elle tend vers l'infini pour les C-S-H de Ca/Si inférieur 0,7, ce qui rejoint le cas de la tobermorite. Nos études d'**EXAFS** au seuil du calcium montrent que, au contraire de cette variabilité des chaînes de silicium, **l'organisation des atomes de calcium** dans le plan principal reste **sensiblement inchangée** quand la stœchiométrie varie. Mais **diverses interrogations** subsistent, en particulier :

i) la **compensation de charges** liée aux lacunes dans les chaînes de silice est-elle obtenue par présence d'ions calcium dans l'interfeuillelet ou par protonation des siliciums en bout de chaînes ?

ii) les morceaux de chaînes silicatées gardent-ils trace de la position des chaînes infinies ou se répartissent-ils aléatoirement sur les plans de calcium ?

iii) observe-t-on des **changements de phases** à des rapports Ca/Si bien définis ?

La réponse à ces questions est déterminante pour la compréhension des mécanismes de cohésion des ciments, d'une part, et des phénomènes d'échanges cationiques d'autre part, ces échanges jouant un rôle majeur vis-à-vis de la durabilité des ouvrages, durabilité pour laquelle le piégeage des déchets nucléaires conduit maintenant à envisager des périodes de temps considérables, sans commune mesure avec la « garantie décennale » qui couvre les risques des particuliers !

L'eau : amie et ennemie

Les propriétés mécaniques sont cruciales pour ce matériau structural qu'est le béton, et ce sont ces propriétés qui ont été, de loin, les plus étudiées. A l'échelle microstructurale, c'est la **texture granulaire** qui conditionne la résistance mécanique, d'autant plus élevée que la porosité du matériau est plus faible. Cette porosité est la séquelle d'un excès d'eau de gâchage, dû à ce que la demande en eau, pour obtenir une plasticité convenable de la pâte de ciment et pour corriger les effets d'adsorption, excède largement ce qui serait réclamé par la stœchiométrie des réactions d'hydratation. L'emploi de **compositions riches en particules fines, avec un étalement granulométrique qui maximise la compacité**, additionnées d'agents superplastifiants qui diminuent la viscosité, et enfin traitées en atmosphère hydrothermale pour obtenir des phases qui ne se développent pas à température ambiante, a permis de diminuer de plus de deux la quantité d'eau nécessaire, ce qui a débouché sur des matériaux quasi exempts de porosité. Certains bétons de poudres réactives de Bouygues [4] peuvent ainsi atteindre une résistance à la compression de 500 MPa, soit environ un **ordre de grandeur au dessus d'un béton conventionnel**. Outre que le volume poreux est très faible, la majeure partie des pores est de taille très petite (nanométrique), comme le montrent les études [5] RMN par relaxation du proton, car la porosimétrie par invasion de mercure est ici inefficace.

Bétons réfractaires

Le garnissage des enceintes servant aux processus à haute température fait souvent appel à des bétons réfractaires dont la phase liante est constituée d'aluminates de calcium (et non plus de silicates de calcium). La mesure *in situ*, par technique ultrasonore, des variations de module d'élasticité au cours du premier échauffement subi par le béton met en évidence les transformations du matériau (*schéma 1*). A basse température, la déshydratation détruit les phases hydrauliques et fait croître la porosité, deux raisons pour faire chuter le module. A haute température (1 000 °C), la céramisation conduit au frittage du produit et au développement de liaisons fortes, d'où rapide augmentation du

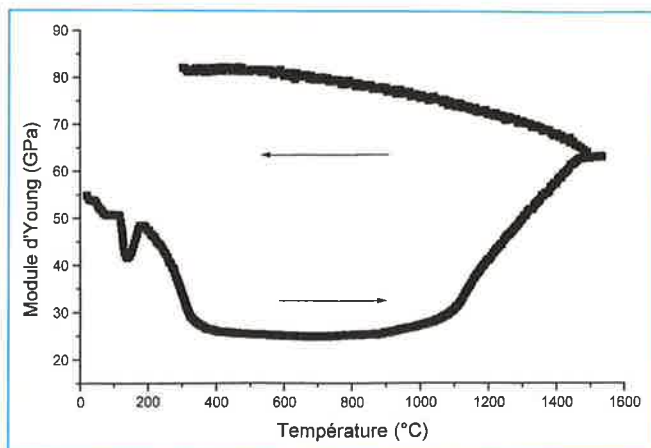


Schéma 1 - Variation du module d'Young d'un béton alumineux, fonction de la température (E. Nonnet et N. Lequeux, ESPCI).

module. Un axe d'étude vise à limiter l'ampleur de la chute de propriétés mécaniques aux températures intermédiaires ; un autre objectif est de développer des compositions riches en magnésie, pour satisfaire aux exigences de la sidérurgie qui réclame des oxydes basiques.

Biociments phosphatiques

La fraction minérale de l'os est de constitution voisine de l'hydroxyapatite $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ et les divers phosphates de calcium occupent, pour cette raison, la première place parmi les matériaux bio-actifs. Mais il s'agit, en général, de céramiques frittées, donc d'objets de forme imposée, tandis qu'une pâte de ciment offre la plasticité qui lui permet de se mouler pour combler un défaut osseux. Une illustration [6] est le phosphate dicalcique hydraté obtenu par réaction entre l'acide phosphorique et le phosphate tricalcique $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Les études actuelles cherchent en particulier à ralentir la prise extrêmement rapide de ces ciments (quelques minutes), pour faciliter le travail du chirurgien. Mais elles cherchent aussi à mieux comprendre l'interaction entre tissus vivants et implant, aux fins d'accroître le pouvoir ostéoconducteur de la prothèse.

Piéger les polluants

La gestion des déchets industriels - polluants « chimiques » ou polluants « nucléaires » - est une préoccupation majeure de notre temps. L'utilisation la plus évidente des ciments est la réalisation des barrières ouvragées protégeant les colis de déchets. Une voie plus spécifique consiste à faire réagir les solutions aqueuses polluées avec des compositions cimentières, pour « immobiliser » (liaisons faibles) l'élément toxique. Pour aller plus loin dans la pérennité du « piégeage » (liaisons fortes), des traitements thermiques à haute température peuvent permettre, pour certains éléments et certaines compositions, la « céramisation » du matériau vers des phases cristallisées stables. Nous avons ainsi montré [7]

que le césium est immobilisable dans des ciments formant des phases zéolitiques de type chabazite, puis piégeable au sein de la pollucite $\text{CsAlSi}_2\text{O}_6$, le composé césié le plus résistant aux agressions.

Plus de chimie pour le ciment

Les ciments ressortent au monde de la chimie inorganique, mais c'est souvent grâce aux adjuvants organiques, voire aux molécules biologiques pour les biociments, que leurs performances s'améliorent. Qu'il s'agisse des superplastifiants pour décroître la viscosité de la pâte de ciment et diminuer le dosage en eau, ou des facteurs de croissance pour stimuler la repousse tissulaire, il n'est plus de ciment de spécialité qui ne cherche à profiter des synergies entre des mondes jadis séparés. A l'origine domaine d'élection des mécaniciens et des ingénieurs du génie civil, puis objet de l'intérêt des physiciens des gels ou des spécialistes des milieux granulaires, les ciments ont aussi, et chaque jour davantage, besoin des chimistes, de tous les chimistes : c'est la conclusion du 10^e Congrès international sur la chimie du ciment [8] qui vient de se tenir en 1997, mais qui retrouve la conclusion du premier de ces congrès, tenu en 1918 ! ■

Références

- [1] Baron J., Ollivier J.P., *Les bétons. Bases et données pour leur formulation*, Eyrolles, 1996.
- [2] Taylor H.F.W., *Cement Chemistry*, Academic Press, 1997.
- [3] Colombet P., Grimmer A.R., Zanni H., Sozzani P., *Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy of Cement-Based Materials*, Springer, 1998.
- [4] Richard P., Cheyrezy M., *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, 1995, n° 532.
- [5] Korb J.P., Petit D., Philippot S., Zanni H., Maret V., Cheyrezy M., p. 333, in réf. [3].
- [6] Bohner M., Lemaitre J., *J. Am. Ceram. Soc.*, 1996, 79, 6, p. 1427.
- [7] Fryda H., Vetter G., Ollitrault-Fichet R., Boch P., Capmas A., *Advances in Cement Research*, 1996, 8, 29, p. 29.
- [8] Chandra S., *Cement and Concrete Research*, 1997, 27, 10, p. 1613.

La prise du ciment

Jacques Baron* directeur général adjoint de l'Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques (ATILH)

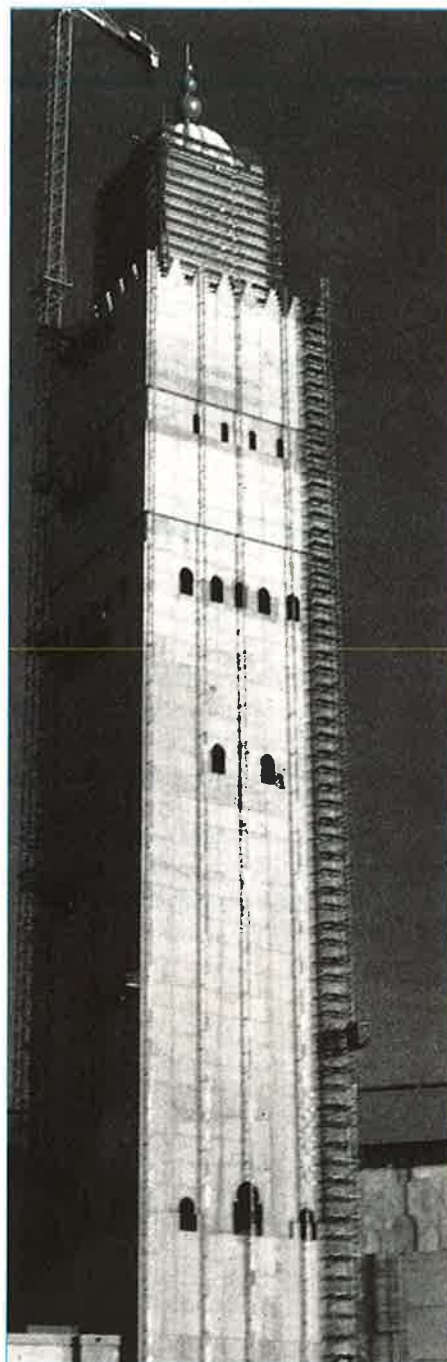
Vingt ans de progrès par réduction de la porosité des bétons

En vingt ans, la résistance du béton à la compression a été multipliée par trois et sa perméabilité divisée par 50. Ce bond a été accompli principalement en réduisant la porosité capillaire qui est passée de 10 % à pratiquement 0 %. Ces progrès résultent de la mise sur le marché, par l'industrie chimique, de molécules organiques servant aux superplastifiants capables de défloculer les grains, et du développement de l'industrie du ferro-silicium avec pour sous-produit des fumées de silice, 30 fois plus fines que la poudre de ciment. Ils viennent aussi du progrès de la régularité et de la réactivité des ciments. Ils tiennent, enfin, aux connaissances actuelles sur la façon de minimiser la porosité des poudres [1]. L'emploi conjoint de superplastifiant et de fumées de silice a permis de réduire cette porosité de 20 % et le dosage en eau des bétons dans la même proportion. En outre, la défloculation des grains changeant le comportement du béton frais, il a été possible de concilier réduction du dosage en eau et consistance fluide facilitant la mise en œuvre du béton.

Il faut agir sur les hydrates eux-mêmes et la façon dont ils s'assemblent

Au-delà de la réduction de la porosité, il fallait jouer sur la texture fine du ciment durci, en optimisant les propriétés au niveau des hydrates : c'est ce qu'ont fait les inventeurs du béton de poudres réactives [2]. Mais ces travaux ont mis l'accent sur la structure des hydrates et leur morphologie, non sur les forces qui les lient entre eux. Pour avancer encore, ce sont ces liaisons qu'il faut comprendre, aux fins de les accroître.

On sait, depuis la thèse de Henri Le Chatelier (1887), que les grains de ciment anhydre se dissolvent et que la réaction entre le ciment et l'eau se fait en solution. Or, la plupart des réactions en solution qui donnent un précipité solide conduisent à une poudre, tandis que le ciment mène à un précipité dont la cohésion est suffisamment élevée pour qu'on puisse construire des immeubles et des ponts ! La question de savoir pourquoi ce précipité est cohérent a été posée au CNRS par l'industrie cimentière (1994 : Contrat de programme PIRMAT-ATILH) [3].



La Grande Mosquée Hassan II

Ce bâtiment de 175 000 m² édifié à Casablanca, en bordure de l'océan, est en contact direct avec les flots. Le bâtiment Mosquée, de 200 m x 100 m, d'une hauteur de 60 m, couronné par une toiture ouvrante de 2 400 m² (charpente de 800 t), est constitué par une nef de prière pouvant recevoir 25 000 fidèles. Le minaret est une tour de 200 m de hauteur. Les bétons de hautes performances ont fait l'objet d'études spécifiques pour résister (100 MPa) aux contraintes dues aux efforts sismiques, ainsi qu'à celles de la houle et aux effets de corrosion sur les armatures en milieu marin.

* Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques, 7, place de la Défense, 92974 Paris-la-Défense Cedex. Tél. : 01.55.23.01.34. Fax : 01.49.67.10.46. E-mail : Ciment.Atilh@wanadoo.fr

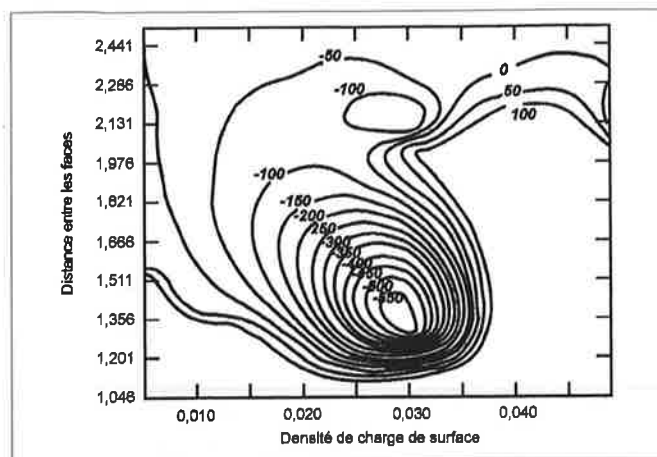


Schéma 1 - Courbes d'iso-pression entre deux faces portant des ions calcium plongées dans l'eau, fonction de la distance entre faces et de la densité de charge de surface (d'après [5]).

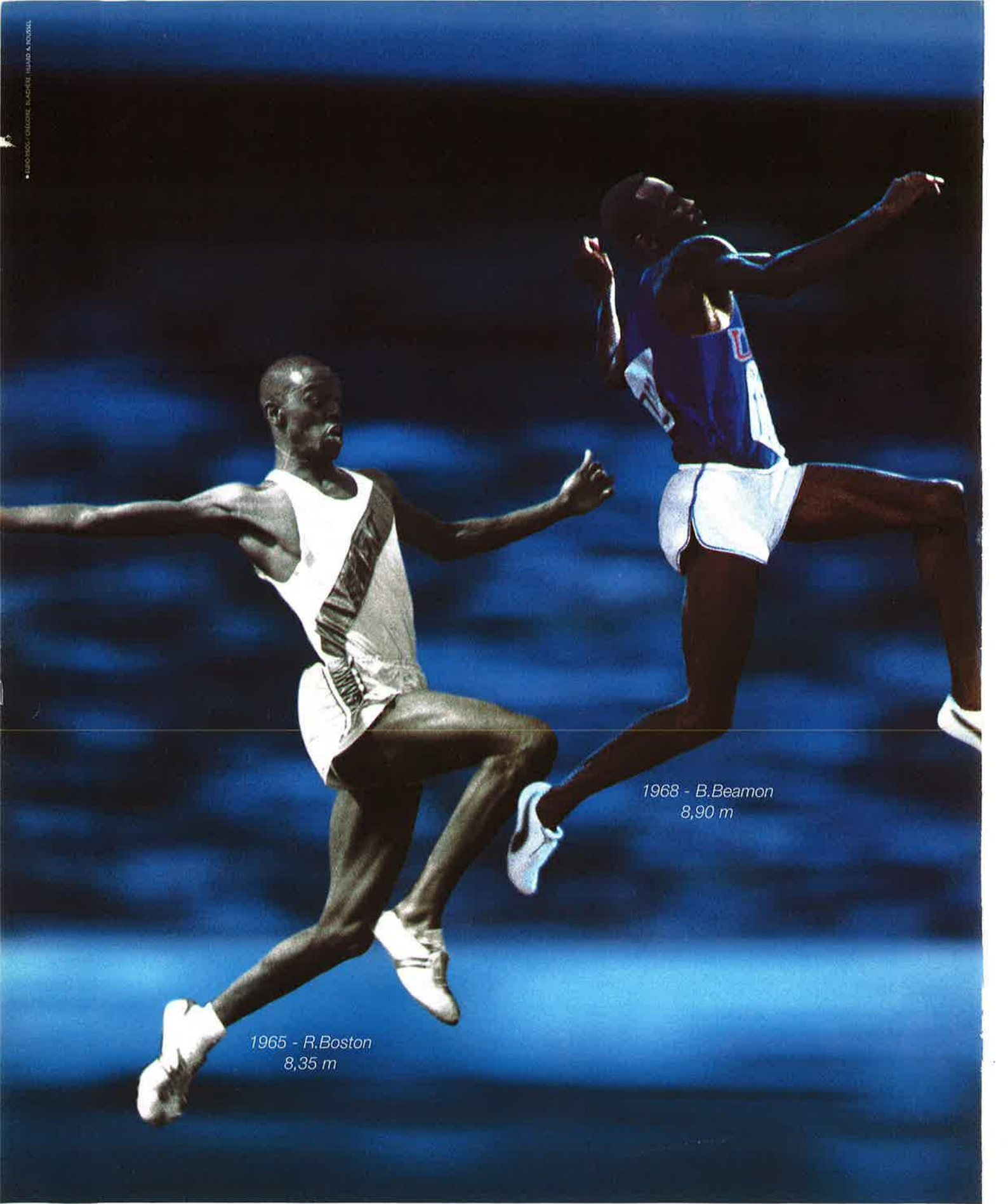
Comme le dit P. Boch, dans l'article précédent, ce sont les C-S-H ($C = CaO$, $S = SiO_2$, $H = H_2O$) qui assurent la liaison du ciment. La contribution des C-S-H aux résistances mécaniques est due aux forces physiques interhydrates, forces qui doivent donc être attractives. On sait que les particules minérales ont, en général, des surfaces électriquement chargées, qui attirent un nuage de « contre-ions » de signes opposés. Ce schéma conduirait à la conclusion, souvent mise en défaut, que deux particules identiques, chargées de même façon, doivent toujours se repousser mais, s'il en était ainsi, le plâtre, dont les hydrates sont des cristaux de gypse tous semblables, ne ferait pas prise. Or pour raisonner sur les forces qui s'exercent entre des particules en suspension, il faut, en sus des charges électriques, considérer les mouvements des contre-ions à l'intérieur du nuage. Si ce mouvement est complètement désordonné, alors les particules semblables se repoussent (théorie DLVO) ; si, au contraire, les mouvements des contre-ions s'ordonnent du fait des interac-

tions entre contre-ions, ou entre contre-ions et ions en surface des particules, ou encore entre contre-ions et molécules d'eau, il peut apparaître des effets d'attraction [4]. La modélisation [5] montre l'influence déterminante de la densité d'ions calcium à la surface des C-S-H. L'assemblage des particules de C-S-H s'apparente à un phénomène de croissance cristalline, ici gouverné par les forces d'attraction entre les faces des feuillettes. En schéma 1, la courbe référencée « 0 » correspond à une pression nulle ; les courbes repérées par des valeurs négatives correspondent à une attraction entre faces, donnant une liaison mécaniquement résistante ; celles repérées par des valeurs positives correspondent à une répulsion, donc à une résistance nulle. Ce modèle doit toucher à quelque chose d'essentiel quand on réalise que les liants courants sont tous des sels de calcium (silicates, aluminates, sulfates, et phosphates de calcium).

La compréhension des forces qui gouvernent l'assemblage des hydrates et déterminent, à porosité donnée, la résistance mécanique et les autres propriétés des pâtes de ciment, est déterminante pour progresser dans la science des matériaux de construction, ce qui constitue vraiment un enjeu colossal. ■

Références

- [1] Baron J., Ollivier J.P., *Les bétons. Bases et données pour leur formulation*, Éditions Eyrolles, 1996.
- [2] Richard P., Cheyrezy M., Les bétons de poudres réactives (BPR) à ultra haute résistance (200 à 800 MPa), *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, 1995, n° 532.
- [3] Contrat de Programme de Recherche PIRMAT-ATILH, *Matériaux granulaires cohésifs ; liants hydrauliques (1994-1997)*.
- [4] Van Damme H., Et si le Chatelier s'était trompé ? Pour une physico-chimio-mécanique des liants hydrauliques et des géomatériaux, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1994, n° 71.
- [5] Pellencq R.J., Crespin M., Lequeux N., Ménager C., Costalin L., Delville A., Caillol J.M., Van Damme H., 2nd RILEM Workshop on Hydration and Setting, Dijon (11-13 juin 1997).



1965 - R.Boston
8,35 m

1968 - B.Beamon
8,90 m



ALORS ON
S'ARRÊTE
LÀ ?

1991 - M.Powell
8,95 m

NON, car on peut

*tout améliorer. Cet état d'esprit
est celui des chimistes de spécialités
qui travaillent chez Rhodia.*

*Chaque jour, nos 26 000 collaborateurs
innovent avec nos clients
pour vous proposer des produits
toujours plus performants.*

*Chaque jour, ensemble, dans les
domaines de la beauté, l'habillement,
l'alimentation, la santé, l'environnement,
le transport et l'industrie, nous
améliorons votre vie au quotidien.*

Le meilleur reste à venir

Rhodia

Méthodologie de choix

La sélection des matériaux et des procédés

Méthodes rationnelles d'aide au choix

Yves Bréchet* professeur à l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INPG)

Summary : *Materials and process selection : rational methods*

Recent developments in materials and process selection for structural applications, using the performance index methods are reviewed. Their current implementation in softwares is presented. Possible developments in the field of materials design is outlined.

Mots clés : *Matériaux, procédés, sélection et optimisation.*

Key-words : *Materials, processes, optimisation and selection.*

Dans toute conception de produit industriel, il est indispensable de **choisir le matériau** dans lequel l'objet sera réalisé, et le **procédé** utilisé pour sa réalisation. Idéalement, ces deux choix doivent être faits simultanément. Mais il faut effectuer ce choix de façon itérative. En fait, il est plus réaliste de parler des **étapes du choix** des matériaux et des procédés. Pour effectuer le choix le plus performant, il est nécessaire de se poser la question à chaque étape de la conception : se poser la question du choix des matériaux uniquement à l'étape ultime biaise les possibilités. On ne conçoit pas une pièce en composites comme on la concevait en aluminium. On ne dessine pas une structure en aluminium comme on la dessinerait en acier : les procédés de mise en œuvre, d'assemblage, de protection vis-à-vis des agressions extérieures étant différentes, la conception optimale se doit d'en rendre compte.

La complexité du choix des matériaux et des procédés : nécessité d'une approche rationnelle

Ce choix est à la fois crucial et difficile. Crucial car de lui dépend la performance de la conception et sa viabilité économique. Difficile en raison à la fois de la diversité des matériaux et des procédés possibles, et de la variété des requêtes exigées par la conception. On estime à 60 000 le nombre de matériaux disponibles et à environ 6 000 le nombre de procédés possibles. Il est impensable que le concepteur soit familier avec plus qu'une petite fraction de cette immense diver-

sité, et la difficulté du choix des matériaux tient, en partie, à cet « **hyperchoix des matériaux** ». Mais d'autre part, la variété des requêtes et leurs caractères souvent contradictoires viennent ajouter à la complexité liée à la multitude des possibilités, celle liée à la difficulté d'énoncer de façon objective les **performances recherchées**, c'est-à-dire le cahier des charges, et plus encore, peut-être, celle liée à la difficulté de gérer un choix multicritère.

Il est donc clairement utile, pour pouvoir se guider efficacement dans la variété des choix possibles, de disposer d'une **procédure systématique** pour sélectionner le procédé et le matériau le mieux adapté à une fonction ou à une pièce donnée. Cette procédure systématique doit être **suffisamment générale** pour pouvoir être appliquée à des conceptions très variées, et **suffisamment transparente** pour que l'utilisateur en garde la maîtrise et puisse intervenir au cours de la procédure de sélection, et laisser agir sa créativité et son imagination, sa propre expérience. Il est clair que la complexité de la démarche exclut la possibilité de sélectionner selon un schéma linéaire : une méthode de sélection des matériaux et des procédés est, avant tout, un **guide de réflexion**, une démarche rationnelle permettant d'envisager les solutions, innovantes ou classiques, qui peuvent être prometteuses. Imaginer qu'on peut disposer d'un logiciel qui « avalerait » un cahier des charges plus ou moins bien défini et en déduirait infailliblement la meilleure solution relève à ce jour de l'utopie. Penser qu'on peut structurer une démarche de sélection, utiliser à plein les possibilités de l'informatique et des banques de données pour orienter les choix possibles, devient aujourd'hui réaliste.

Aux différentes étapes de la conception [1], la sélection des matériaux et des procédés se pose en des termes différents, mais il est impératif de se poser cette question tout au long de la procédure de conception, faute de quoi l'on risque

* Laboratoire de thermodynamique et de physico-chimie métallurgiques (LTPCM), BP 75, Domaine universitaire de Grenoble, 38402 Saint Martin-d'Hères Cedex. Tél. : 04.76.82.65.00. Fax : 04.76.82.66.63. E-mail : ybrechet@ltpcm.inpg.fr

de se voir imposer une solution à moindre performance, faute d'avoir envisagé les différentes conceptions qu'un autre choix de matériau eût rendu possible. Le choix des matériaux et des procédés et la conception de la pièce se doivent idéalement d'être interactifs. A l'étape de conception préliminaire, on se doit de considérer l'ensemble des matériaux possibles, ce qui suggère l'utilisation de données sur de vastes familles, mais à relativement faible précision. Quand on parcourt les étapes successives de la sélection, les choix possibles deviennent de plus en plus précis dans des classes de matériaux de plus en plus définies : la conception détaillée impose le choix d'une nuance précise de matériau pour laquelle la conception est finalisée.

Un outil d'évaluation des matériaux de structure : la méthode des indices de performance

La rationalisation des méthodes de sélection a été entreprise voici moins de dix ans par M. Ashby, Cambridge, spécialiste bien connu des matériaux, et ce pour le cas des applications structurales [2] (industries mécaniques, génie civil, aéronautique...). L'exemple le plus simple qui vienne à l'esprit est la conception d'un tirant de longueur fixée, devant travailler en traction, sous une charge donnée sans s'allonger plus d'une grandeur prescrite, et que l'on doit réaliser à masse minimale [3]. En terme de propriétés, il est clair que la rigidité sera d'autant plus grande que le module d'élasticité E est plus élevé, et que la masse sera d'autant plus faible que la densité ρ du matériau choisi sera plus petite. Pour ce cas de figure, simple jusqu'à la caricature, comment peut-on comparer les matériaux ? Comment peut-on comparer un acier à fort module, mais dont la densité est élevée, à un alliage d'aluminium dont la densité est plus faible, mais le module aussi plus réduit ? Quel peut être pour cette situation l'avantage des alliages de titane ou des composites à matrice polymères ? Est-ce que les composites à matrice métalliques peuvent trouver un domaine potentiel d'application dans ce type de cahier des charges ? Il est clair que cette comparaison n'aura de sens que dans la mesure de la fiabilité des propriétés annoncées pour chaque matériau, mais il n'en demeure pas moins que cette comparaison objective, autant que faire se peut entre les différents matériaux, suppose une procédure systématique de dérivation de combinaisons de propriétés qui traduisent la « performance » d'un matériau à remplir ce cahier des charges. Dans le cas d'école énoncé ci-dessus, on voit clairement qu'il faut rechercher des matériaux qui ont le plus grand E possible et le plus petit ρ possible. Une façon de traduire cette recherche est de considérer les « propriétés spécifiques », en l'occurrence le « module spécifique » E/ρ . Mais on sent tout de suite ce que ce choix a d'arbitraire et d'imprécis : pourquoi E/ρ plutôt que E^2/ρ ou $E^{1/2}/\rho$? On sent bien que E^2/ρ favoriserait les matériaux à fort module (les aciers), alors que $E^{1/2}/\rho$ favoriserait les matériaux à faible densité (les alliages d'aluminium). En recherche d'une méthode objective de comparaison, il importe de pouvoir trancher entre les différentes options, et de pouvoir assurer que, pour la performance recherchée, le module spécifique est effectivement la mesure de l'adéquation

du matériau. Revenons donc à notre problème : on considère un tirant de longueur L dont la section S est libre : suivant le choix du matériau, on pourra avoir une section plus ou moins grande. Le tirant doit transmettre une force F sans se déformer élastiquement de plus de ΔL . Et on veut faire ce choix de telle façon que la masse M de l'ensemble soit minimale.

Traduisons ce cahier des charges en termes de propriétés : l'exigence de rigidité impose :

$$\frac{1}{E} \left(\frac{F}{S} \right) < \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

La masse de la pièce est donnée par :

$$M = \rho LS \quad (2)$$

En éliminant la variable libre S entre les équations (1) et (2), il devient clair que pour réaliser le cahier des charges, la pièce doit avoir une masse au moins égale à :

$$M > \left(\frac{\rho}{E} \right) \left(\frac{FL^2}{\Delta L} \right) \quad (3)$$

Cette expression comprend deux groupes de termes : le second groupe est formé de conditions imposées par la conception : quel que soit le matériau sélectionné, ce groupe de termes demeure le même car il traduit ce que le concepteur exige de la pièce. Le premier groupe de terme comprend

Tableau I - Quelques indices de performance classiques [2, 3].

| Indices de performance en rigidité à masse minimale | |
|---|--|
| Forme Fonction et contrainte | Indice de performance ^{1,2} |
| <i>Barre de traction</i> Rigidité et longueur spécifiées, section libre | E/ρ |
| <i>Arbre de torsion</i> Rigidité, longueur et forme spécifiées, section libre Rigidité, longueur, rayon externe spécifiés, épaisseur libre Rigidité, longueur, épaisseur spécifiées, rayon externe libre | $G^{1/2}/\rho$ G/ρ $G^{1/3}/\rho$ |
| <i>Poutre en flexion</i> Rigidité, longueur, forme spécifiées, section libre Rigidité, longueur, hauteur spécifiées, largeur libre Rigidité, longueur, largeur spécifiées, hauteur libre | $E^{1/2}/\rho$ E/ρ $E^{1/3}/\rho$ |
| <i>Colonne soumise au flambement</i> Longueur, charge, forme spécifiées, section libre | $E^{1/2}/\rho$ |
| <i>Plaque en flexion</i> Rigidité, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre | $E^{1/3}/\rho$ |
| <i>Plaque en compression</i> Charge, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre | $E^{1/3}/\rho$ |
| <i>Cylindre sous pression interne</i> Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre | E/ρ |
| <i>Coquille sphérique sous pression</i> Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre | $E/(1 - \nu)\rho$ |

1) Pour avoir les indices à coût minimal ou à volume minimal, il suffit de remplacer ρ , masse volumique par ρC ou par 1 respectivement.

2) G = module de cisaillement ; C = coût au kg ; E = module d'élasticité.

NB : lorsque la variable libre est la section, c'est à l'aire de la section que l'on se réfère.

| Indices de performance en solidité à masse minimale | |
|---|--|
| Forme Fonction et contrainte | Indice de performance ^{1,2} |
| <i>Barre de traction</i> Solidité et longueur spécifiées, section libre | R_c/ρ |
| <i>Arbre de torsion</i> Solidité, longueur et forme spécifiées, section libre Solidité, longueur, rayon externe spécifiés, épaisseur libre Solidité, longueur, épaisseur spécifiées, rayon externe libre | $R_c^{2/3}/\rho$ R_c/ρ $R_c^{1/2}/\rho$ |
| <i>Poutre en flexion</i> Solidité, longueur, forme spécifiées, section libre Solidité, longueur, hauteur spécifiées, largeur libre Solidité, longueur, largeur spécifiées, hauteur libre | $R_c^{2/3}/\rho$ R_c/ρ $R_c^{1/2}/\rho$ |
| <i>Colonne soumise au flambement</i> Longueur, charge, forme spécifiées, section libre | R_c/ρ |
| <i>Plaque en flexion</i> Solidité, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre | $R_c^{1/2}/\rho$ |
| <i>Plaque en compression</i> Charge, longueur, largeur spécifiées, épaisseur libre | $R_c^{1/2}/\rho$ |
| <i>Cylindre sous pression interne</i> Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre | R_c/ρ |
| <i>Coquille sphérique sous pression</i> Pression, rayon, distorsion élastique spécifiés, épaisseur libre | R_c/ρ |

1) Pour avoir les indices à coût minimal ou à volume minimal, il suffit de remplacer ρ , masse volumique par ρC ou par l respectivement.

2) C = coût au kg ; R = limite d'élasticité.

NB : lorsque la variable libre est la section, c'est à l'aire de la section que l'on se réfère.

une combinaison de propriétés du matériau : le matériau qui permettra la conception à masse minimale est effectivement celui qui rendra maximale la grandeur E/ρ : le module spécifique traduit objectivement la **performance pour un matériau à réaliser un tirant rigide à masse minimale**. Revenons à la dérivation de l'indice de performance : nous avons spécifié la forme (un tirant), les variables géométriques libres (la section) et celles qui sont imposées (la longueur), la contrainte à réaliser (ne pas subir de déflexion élastique supérieure à $\Delta L/L$) et l'optimum à recherche (minimiser la masse) : cette ensemble d'information nous a permis de définir un **indice de performance**. Supposons que la contrainte à remplir soit une exigence de non-plastification, toutes les autres requêtes du cahier des charges demeurant les mêmes : dans ce cas, l'équation d'indice de performance approprié est donné par : R_c/ρ , ou R_c est la limite d'élasticité du matériau. Si la sollicitation avait été en flexion, à rigidité imposée, c'est $E^{1/2}/\rho$ qu'il aurait fallu optimiser.

Actuellement, les indices de performances pour les grandes classes de sollicitations mécaniques ou thermiques sont disponibles (tableau I). La méthode de dérivation est d'une simplicité enfantine et ne dépasse pas la résistance des matériaux élémentaires : on peut donc, sans peine, les adapter à de très nombreux problèmes.

Les banques de données pour le choix des matériaux

Pour que cette méthode puisse être applicable à des cas concrets, il a fallu développer des **banques de données** sur les matériaux, qui soient **homogènes** quelle que soit la classe d'appartenance (métaux, polymères, céramiques, composites...). Ces banques de données, sous un format identique, ont des contenus plus ou moins spécialisés (banque générale, banque alliages ferreux, alliages légers, banque polymères, banque bois...). Les informations répertoriées pour chaque matériau sont soit quantitatives (comme les propriétés mécaniques et thermiques, le prix...), soit qualitatives (comme la tenue dans un environnement donné), soit booléennes (comme l'aptitude aux revêtements de surface ou la disponibilité sous une forme donnée. Leur réalisation a nécessité un travail énorme de collecte et de vérification de données, et la mise au point de méthodes d'estimation pour compléter les informations manquantes [4]. Ces banques de données permettent de comparer les matériaux pour une performance donnée (tableau II).

Tableau II - Comparaison de quelques matériaux pour des indices classiques.

| Matériaux | Rigidité en traction E/ρ | Rigidité en flexion $E^{1/2}/\rho$ | Solidité en traction σ_c/ρ |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|---|
| Aluminium de corroyage | 27 - 31 | 3,3 - 3,8 | 16 - 182 |
| Aciers à haut carbone | 25 - 27 | 1,8 - 1,9 | 51 - 166 |
| Alliages de titane | 21,7 - 28,5 | 2,2 - 2,5 | 47 - 233 |
| Magnésium de corroyage | 25 | 3,7 - 3,8 | 67 - 241 |
| Composites UD fibre carbone | 133 - 160 | 9,4 - 10,3 | 333 - 1050 |
| Sapin | 16 - 32 | 5,6 - 8 | 106 - 370 |

Les logiciels d'aide à la sélection

Il est extrêmement rare, toutefois, qu'un cahier des charges se réduise à une seule performance. En général, la sélection des matériaux répond à une **requête multicritère**. Il a donc été nécessaire de développer des **logiciels conviviaux** d'aide à la sélection des matériaux qui puissent guider le concepteur dans la procédure de choix. Le logiciel CMS de Cambridge [5] et le logiciel Fuzzymat de Grenoble [6] répondent à cette fonction : gérer un cahier des charges multicritères, avec des requêtes d'importance relative variable, et des possibilités de compromis. Le logiciel Fuzzymat, faisant usage de la « logique floue », permet de prendre en compte le caractère intrinsèquement complexe de la procédure de sélection (figure 1).

Au-delà de ces logiciels « génériques », la recherche des toutes dernières années a permis de développer des méthodes d'intégration du choix des procédés et des matériaux (logiciel de sélection des alliages de moulage [7]), des méthodes de sélection de matériaux à propriétés continuellement variables (logiciels de sélection des composites à

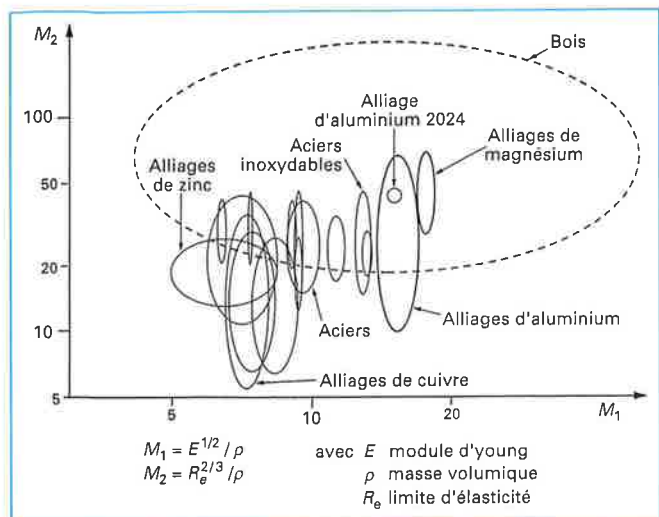


Figure 1 - Carte de sélection pour optimiser la masse à rigidité et à solidité fixées d'une pièce sollicitée en flexion.

matrice polymère [8], des systèmes d'aide à la sélection des méthodes d'assemblage [9], des méthodes d'optimisation de structure (logiciel de conception des structures sandwich utilisant des algorithmes génétiques) [10], des logiciels de formulation (pour les verres). Chacune de ces applications correspond, à la fois, à un problème scientifique et à une application.

Une discipline en plein développement

La branche de la science des matériaux, que nous avons brièvement présentée dans cet article, est très récente même si elle répond à un besoin très ancien. Son développement a été rendu nécessaire par l'hyperchoix des matériaux résultant de l'activité des chimistes, des physiciens et des métallurgistes dans les dernières décennies. Il a été rendu possible par le développement d'outils informatiques permettant de stocker et de gérer de nombreuses données, et par le développement d'outils d'intelligence artificielle tels que la logique floue, les réseaux de neurones et les algorithmes génétiques. Dans ces différentes directions, le travail de recherche se poursuit, avec une activité importante dans le domaine de la sélection des procédés et des méthodes de mise en œuvre.

Mais il est tentant de « retourner le gant » : on peut utiliser ces méthodes comme guides de développement et de formulation de nouveaux matériaux, comme outils d'identification d'un débouché possible pour un matériau donné. Il faut, pour cela, développer des méthodes systématiques d'exploration de banques de données de cahiers des

charges. Un exemple de cette démarche a récemment été proposé pour identifier des applications possibles aux amorphes métalliques massifs ou aux mousses métalliques [11]. L'objectif ultime est donc de faire, de ces outils de sélection des matériaux, des guides de conception de matériaux.

Conclusions

Nous avons brièvement envisagé les développements récents d'une nouvelle discipline : la sélection des matériaux et des procédés. Les méthodes de sélection permettent, dès aujourd'hui, de traiter des problèmes de sélection multicritère dans le domaine des applications structurales. Une démarche parallèle est envisageable pour les applications fonctionnelles. Enfin, ces méthodes peuvent fournir des guides de développement de matériaux, en vue d'un cahier des charges précis, qui permettent d'espérer que la déconvenue classique « des matériaux d'avenir qui le restent longtemps » soit moins fréquente. C'est donc à la fois au bureau d'étude et au laboratoire que s'adressent ces outils, à la fois au formateur d'ingénieur [12] et à l'industriel producteur ou utilisateur de matériaux. ■

Références

- [1] Pahl G., Beitz W., *Engineering Design*, Springer, 1980.
- [2] Ashby M., *Materials selection in mechanical design*, Pergamon Press, 1994.
- [3] Bréchet Y., Ashby M., Dupeux M., Louchet F., *Traité de conception des produits industriels, Choix et usage des matériaux*, Techniques de l'Ingénieur, 1996.
- [4] Bassetti D., Bréchet Y., Ashby M., Proc. Roy.Soc., 1998 (sous presse).
- [5] Ashby M., Cebon D., *CMS*, Granta Design, 1994.
- [6] Bassetti D., *Fuzzymat*, B & I, 1996.
- [7] Bréchet Y., Bassetti D., Péchambert P., *Aerospace Materials Engineering*, Le Bourget, CEAS, 1997.
- [8] Péchambert P., Bassetti D., Bréchet Y., Salvo L., *EECM7*, 1996, vol 2, p. 383.
- [9] LeBacq C., Rapport de DEA, *Méthodes de sélection des assemblages métalliques*, Institut National Polytechnique de Grenoble, 1997.
- [10] Bréchet Y., Bassetti D., Heiberg G., Péchambert P., Salvo L., Int. Conference on composite materials, Lake Louise (1997), P. Nicholson Ed., sous presse.
- [11] Bréchet Y., Landru D., Colloque franco-espagnol sur les matériaux nouveaux (1997), sous presse.
- [12] Chaque année, dans le cadre d'une formation d'ingénieurs en sélection des matériaux et des procédés, à l'INPG, une vingtaine d'études de cas données par des industriels permettent à la fois de tester les méthodes développées en recherche, d'identifier les manques et les développements nécessaires, et de former des ingénieurs à la sélection des matériaux à partir de problèmes concrets de l'industrie. Les projets sont choisis par les élèves en octobre et le travail donne lieu à un rapport en février.

Logiciels d'aide à la sélection des matériaux et des procédés

Du laboratoire à l'entreprise

David Bassetti* *gérant de SARL*

Les méthodes de sélection des matériaux et des procédés sont des outils importants pour développer des logiciels d'aide à la sélection qui ne soient pas simplement des outils pédagogiques, mais qui soient des aides efficaces au bureau d'étude et dans l'entreprise. Elles permettent de structurer une banque de donnée, de guider une démarche de sélection, de donner un cadre rationnel pour organiser la connaissance interne de l'entreprise dans le domaine des matériaux.

Ayant moi-même créé mon entreprise (B & I) sur ce thème de la sélection des matériaux et des procédés, et du développement personnalisé d'aides informatisées à la sélection, je peux **apprécier « sur le terrain » la valeur et les limites des méthodes** développées dans le cadre de la recherche universitaire. Je peux aussi quotidiennement **évaluer les besoins des entreprises** qui font appel à nos services en terme de sélection des matériaux. C'est le fruit de cette expérience (encore jeune) que je veux faire partager au lecteur.

Pourquoi des logiciels d'aide à la sélection ?

Les motivations qui conduisent une entreprise à développer des aides informatisées à la sélection des matériaux et à faire appel à nos services sont diverses, suivant l'entreprise (utilisatrice ou productrice de matériau) et suivant les utilisateurs visés par le logiciel à développer.

Il peut s'agir simplement d'archiver, de manière structurée, une **information sur les matériaux**, sur ceux **utilisés par l'entreprise**, sur ceux qu'elle envisagerait d'utiliser. Il peut s'agir d'organiser une base de données sur les **matériaux produits par l'entreprise** de façon à orienter le choix du client. Il s'agit, dans ce cas, d'un outil qui doit être adressé à des niveaux très divers dans l'entreprise et doit donc rester accessible à des utilisateurs de niveau technique très variable.

Il peut s'agir, pour l'entreprise, d'archiver ou de structurer une compétence qui est, pour elle, vitale et menacée par le **départ possible d'un expert**. Dans ce cas, le développement de l'outil d'aide à la sélection doit se faire en étroite collaboration avec l'expert interne à l'entreprise dont on veut archiver l'expérience. L'utilisation du logiciel dans

l'entreprise peut dans ce cas être de former les nouveaux ingénieurs.

Il peut s'agir, enfin, d'un outil permettant de développer et **d'optimiser les produits industriels**. Dans le cas d'utilisateurs de matériaux, le bureau d'étude sera le public visé par le logiciel. Dans le cas de producteur de matériaux, c'est le laboratoire de recherche de l'entreprise qui pourra utiliser l'outil afin de guider le développement de matériaux (formulation, composition, structure), permettant de répondre au mieux aux requêtes des cahiers des charges des applications.

Chacune de ces classes de motivation a été illustrée dans notre expérience par des contrats passés avec des entreprises très variées. Les méthodes de sélection, présentées ci-après dans l'article d'Yves Bréchet, sont très utiles au développement des outils informatisés, mais il est indispensable de réunir des conditions de réalisation des logiciels qui permettent d'assurer sa bonne adéquation avec les besoins de l'entreprise.

Conditions de développement d'outils informatisés personnalisés

Il peut se trouver que les demandes de l'entreprise correspondent aux fonctionnalités des logiciels généraux que nous avons déjà développés. Mais, dans la plupart des cas, une adaptation est nécessaire. Elle peut être simplement une **personnalisation des banques de données**, mais elle peut aussi relever d'une modification profonde de la démarche, soit parce que les données qui intéressent l'entreprise ont un format particulier (par exemple les courbes de propriétés dépendant de la température), soit parce que le procédé impose un couplage fort entre la forme, le matériau et la mise en œuvre (par exemple la sélection des alliages de moulage). La technique informatique doit permettre d'assurer une bonne convivialité de l'interface et une efficacité des procédures de calcul. Mais elle n'est en aucun cas la compétence suffisante pour développer un logiciel de sélection efficace : une bonne connaissance des matériaux et des procédés et une interaction étroite avec les experts de l'entreprise sont nécessaires en développement amont du logiciel ; une **action de formation en interne** à l'entreprise, une fois le logiciel réalisé, est une condition pour sa bonne intégration dans le portefeuille de compétence de la compagnie.

* Bassetti et Isaac SARL, 31 bis, rue Général Mangin, 38100 Grenoble. Tél. : 04.76.23.35.44. Fax : 04.76.23.35.49. E-mail : David.Bassetti@wanadoo.fr

Quelques actions en cours

Les entreprises, qui ont fait appel à nos services depuis deux ans pour le développement de logiciels d'aide à la sélection des matériaux et des procédés, sont très variées : Sagem, Plastic Omnium, Aérospatiale, Saint-Gobain, Hutchinson, Raufoss, Cermep, Matra BAE Dynamics, Sodern, BSN, Air Liquide, Totalgaz, EDF...

Les produits développés dans le cadre de ces relations contractuelles sont eux aussi très variés : ils vont de la simple adaptation des logiciels généraux, avec des bases de données spécifiques, au logiciel d'aide à la vente, en passant par des produits très techniques d'aide au développement de nouveaux matériaux, ou de bases de données structurées, très spécialisées et orientées vers la sélection des matériaux.

Les relations entre l'entreprise et l'université

Le domaine dans lequel notre entreprise s'est développée correspond à un besoin important : le bon choix des matériaux et des procédés est un critère de performance des entreprises. Du point de vue des méthodes, les connaissances de base nécessaires pour effectuer une sélection performante sont d'un développement récent et encore en pleine expansion. Les outils informatiques qui permettent de développer des logiciels conviviaux et efficaces sont eux-mêmes en évolution constante. Pour continuer à développer notre activité, il nous faut en permanence être à l'écoute des recherches en cours dans le domaine, aussi bien du côté du développement de méthodes d'aides à la sélection que du côté des outils informatiques les mieux adaptés. ■



Inventeur, avec Varilux, du concept même des verres progressifs, Essilor doit sa position à sa volonté permanente d'innovation.

Implanté en France et dans le monde, Essilor possède un savoir-faire unique, reconnu par l'ensemble des professionnels de l'optique.

Sciences de la vie et spécialités chimiques

Stratégies de redéploiement

Philippe Desmarescaux* *directeur général du groupe Rhône-Poulenc*

Dans le grand redéploiement industriel qui a secoué l'industrie chimique et pharmaceutique, il s'agit moins de savoir qui a fait les choix stratégiques les moins risqués que de parvenir à conjuguer gestion et innovation pour être certain de figurer en bonne place au cours du XXI^e siècle.

Glaxo-Wellcome a choisi de se focaliser sur un seul métier : la pharmacie humaine. Notamment pour profiter de la rentabilité et de la croissance élevées d'un secteur, de ce fait même, bien valorisé par les marchés financiers.

Novartis a, lui, décidé de couvrir l'ensemble des sciences de la vie, apportant ainsi des solutions adaptées pour la santé de l'homme, de l'animal et de la plante.

D'autres groupes, comme Zeneca ou Rhône-Poulenc, ont estimé nécessaire de compléter leurs activités sciences de la vie par une activité de spécialités chimiques focalisée sur certains marchés. Des créneaux spécifiques dans lesquels il est possible d'exploiter les savoir-faire développés pour les sciences de la vie.

Quelle sera la stratégie la moins risquée ? Il est tout fait impossible de le dire, car chacune a ses mérites et ses difficultés. Ce qui est par contre certain, c'est que les grands groupes chimiques mondiaux et européens ne pouvaient échapper à une redéfinition et à un remodelage de leur stratégie et de leur portefeuille d'activités.

Remise en cause et adaptation rapide

Sous la pression du grand mouvement d'ouverture des frontières, de la globalisation des marchés, toutes les industries ont dû se remettre fondamentalement en cause et s'adapter parfois très rapidement. Elles poursuivaient deux objectifs principaux. Un : disposer d'une infrastructure de commercialisation mais aussi de développement et, souvent, de production dans tous les pays et zones géographiques. Deux : dépasser la taille critique en matières de moyens et de compétences, de façon à leur assurer une innovation efficace et compétitive.

Ces adaptations sont souvent passées par un remodelage fondamental de leur portefeuille d'activités. Ceci, pour permettre à chaque entreprise de se concentrer sur les seuls métiers dans lesquels elles disposent d'atouts et d'infrastructures leur assurant de figurer parmi les meilleures dans la compétition mondiale.

* Rhône-Poulenc, 25, quai Paul Doumer, 92408 Courbevoie Cedex. Tél. : 01.47.68.12.34. Fax : 01.47.68.19.11.

Ces évolutions indispensables ont, il est vrai, souvent été amplifiées et parfois de façon artificielle, par la pression des analystes boursiers et des marchés financiers. Ces derniers préfèrent de très loin les entreprises focalisées sur un seul métier. Ces « pure players » comme les appellent les Anglo-saxons, leur sont plus faciles à comprendre et, de ce fait, deviennent susceptibles de constituer une des composantes d'un portefeuille de placement capable de s'adapter plus facilement aux tendances et aux modes du moment.

Chimie-biologie : interfaces complexes mais prolifiques

Dans l'industrie chimique et pharmaceutique qui a, certes, eu besoin, elle aussi, de se focaliser sur un nombre plus limité de métiers et de lignes de produits dans lesquels une position de leader est acquise ou possible, la situation s'est trouvée plus compliquée encore. En effet, cette industrie, située à l'interface de la chimie et de la biologie, doit, pour être efficace et compétitive, conjuguer un certain nombre de compétences-clés. Des savoir-faire qui, pour atteindre l'excellence, doivent être exploités dans des domaines différents, sur des marchés parfois éloignés.

Il en est ainsi du savoir-faire en synthèse organique fine, qui est tout aussi indispensable pour la découverte de nouvelles matières actives pharmaceutiques ou agrochimiques ou de nouvelles spécialités, que pour la production d'intermédiaires. Il en est de même pour les nouvelles approches physico-chimiques pour la mise en œuvre, la biodisponibilité de principes actifs pharmaceutiques comme la formulation de spécialités pour le couchage du papier, la préparation de peintures ou la protection des plantes.

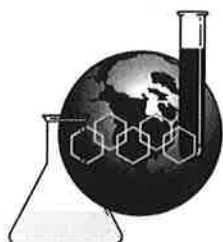
Risque et pari

Avec cette particularité propre, le redéploiement industriel dans les sciences de la vie et les spécialités chimiques s'est révélé complexe et très délicat. Il en résulte que chaque groupe, quelle que soit la stratégie adoptée, devra avoir un souci de gestion et une dynamique internationale encore plus irréprochable que par le passé. Surtout, chaque groupe devra s'appuyer sur une capacité d'innovation du meilleur niveau. Une capacité incontournable pour laquelle un nouveau choix se présente : labourer « profond » ou « large ».

En choisissant de labourer « profond », comme par exemple Glaxo-Wellcome, centré sur un seul métier, il ne faut commettre aucune erreur sur le choix du lieu et des moyens. En labourant large, comme dans le cas des groupes restés à la fois sur les sciences de la vie et sur les spécialités chimiques, il faudra savoir choisir où labourer autant par intuition que par une analyse rationnelle dans le cadre de cette alternative.

Quoiqu'il en soit, étant donné que l'explosion des connaissances à l'interface de la chimie et de la biologie va se poursuivre et même s'amplifier, il faudra garder des degrés de liberté suffisants pour choisir les « filons » à la fois les plus prometteurs et les moins risqués. La quadrature du cercle ? Non, une nécessité industrielle !

Une conviction enfin. Je fais le pari que dans 15-20 ans, nous aurons toujours un paysage industriel diversifié, avec de grands groupes actifs simultanément sur les sciences de la vie et les spécialités chimiques, mais aussi de grands groupes focalisés sur l'une ou l'autre des activités. Par contre, les uns et les autres seront, en quelque sorte, immergés dans un réseau de plus en plus diversifié de « start up » en continuel renouvellement, de PMI de haute technologie qui assureront mieux que quiconque les percées technologiques les plus risquées, les approches fondamentales nouvelles, etc. Et dans ce contexte, sans trop prendre de risques sur l'avenir, je pense que les grands groupes, qui auront survécu et prospéré, seront ceux qui auront su conjuguer sur tous les modes, dans toutes les langues, gestion et innovation. ■



30^e Olympiade Internationale de Chimie 5 - 14 juillet 1998, Melbourne, Australie

<http://www.ch.adfa.oz.au/ASO/IChO/30IChO/PrepProblems.html>

Étapes de la préparation

La 30^e Olympiade Internationale de Chimie sera précédée par une préparation intensive, à l'issue de laquelle les étudiants seront sélectionnés par deux épreuves. Cette préparation s'adresse aux élèves de première année des Classes Préparatoires scientifiques, de toutes filières (PCSI, TPC, BCPST, MPSI), et se déroule en trois temps :

- 1^{re} période (décembre à mai) : la préparation s'effectue au sein de la dizaine de centres ouverts cette année, sous forme de cours théoriques complémentaires des programmes de chimie des Classes Préparatoires, et orientés spécifiquement vers le type d'épreuve qui sera proposée par le pays organisateur. A l'issue de ces cours, une épreuve théorique permet de présélectionner 18 candidats.

- 2^e période (fin mai-début juin) : les candidats présélectionnés sont invités à effectuer un stage pratique intensif d'une semaine à Paris, à l'issue duquel une épreuve pratique permet de sélectionner les quatre étudiants qui représenteront la France aux épreuves finales à Melbourne.

- 3^e période (début juillet) : les 4 lau-

réats bénéficient de 4 journées de révisions intensives à la carte avant le départ de la délégation.

Déroulement du séjour

Les épreuves se déroulent les premiers jours. Le pays organisateur propose des sujets qui permettent de tester les aptitudes des candidats d'une manière qui n'est pas la plus habituelle en première année de Classes Préparatoires. Le jury attend des réponses précises sur des formulaires où la place est limitée (les copies sont corrigées en parallèle par les enseignants de l'équipe et par le jury du pays d'accueil, qui ne possède pas nécessairement la langue des candidats). La majorité des points est souvent attribuée à l'élégance et à la rapidité avec lesquelles le résultat a été obtenu. De plus, le mode de raisonnement exigé s'écarte en général des résultats directs du cours et fait appel à des qualités dont la maîtrise représente un défi intellectuel très motivant : le candidat doit lui-même gérer son temps et décider de l'attitude à adopter en termes d'efficacité.

Les organisateurs profitent ensuite de l'Olympiade pour faire découvrir la culture de leur pays à tous les participants.

Cette manifestation est ainsi essentiellement une occasion de rencontres et de nouvelles amitiés entre jeunes rassemblés au départ par une passion commune de la chimie. Les candidats de chaque délégation sont pris en main par un étudiant du même âge, qui possède, en plus de l'anglais, la langue maternelle de ses invités et leur sert de guide pendant toute la durée du séjour.

Coordination nationale

- Anne SERANI,
École Normale Supérieure, Département de Chimie, 24, rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05. Tél. : 01 44 32 32 65.
Fax : 01 44 32 34 65.
- Damien LAVERGNE
École Nationale Supérieure de Chimie de Paris, Laboratoire de Synthèse Organique, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75231 Paris Cedex 05. Tél. : 01 44 27 67 44.
Fax : 01 44 07 10 62.
- Julien LALANDE,
Lycée Condorcet, Paris,
20, rue du Chaufour, 59110 La Madeleine.
Tél. : 03 20 51 03 41.

Avec le soutien du ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie, de l'Union des Industries Chimiques, de l'École Normale Supérieure et de l'École Polytechnique.

De l'enseignement à l'éducation... tout au long de la vie

Gilbert Schorsch

Lors de la dernière rentrée académique de l'Institut Catholique de Paris, Jacques Delors a rendu compte de la réflexion engagée par 15 personnalités, sous l'égide de l'Unesco, sur les problèmes de l'éducation à l'aube du XXI^e siècle.

Certes, une telle tâche n'est pas aisée, car elle se heurte à un double obstacle : la **diversité des situations**, qui risque de conduire à des spécificités inutilisables ou, au contraire, à des banalités affligeantes, et la nécessité de se projeter au XXI^e siècle, ce qui, à une époque de changements rapides, nécessite de faire un **exercice de prospective difficile**.

Dans un premier temps, le travail a tenté de faire l'inventaire et de **distinguer l'immuable du changeant**, dans les tensions ou la dialectique qui opposent, en chaque individu, l'universel et le singulier, la tradition et la modernité, le spirituel et le matériel, le global et le local...

Les états européens sont actuellement défiés par nombre de mutations, délicates à maîtriser : le libre échange et l'arrivée de nouveaux acteurs qui aiguisent la compétition, les questions d'approvisionnement en énergie et d'environnement qui dépassent les frontières, le déséquilibre entre travail et capital et le chômage qui entraînent une rupture du lien social avec la montée de l'individualisme et la dilution du sentiment d'appartenance. Dans la vie publique, comme dans la vie des entreprises, des tensions apparaissent entre des décisions prises au nom de l'intérêt général par les responsables et le vécu quotidien des citoyens ou des employés, à l'origine de la morosité et de la démotivation actuelles.

Pour l'individu, un seul remède : **s'adapter sans se renier**. Pour cela, l'éducation, tout au long de la vie, devient une nécessité. La séparation école/travail n'est plus de mise, et le contenu même des formations continues ou permanentes, trop utilitaires, doit être remis en cause.

Le groupe a commencé à bâtir ses propositions autour de 4 piliers :

- **Apprendre à connaître**, c'est-à-dire passer du simple transfert de connaissances vers le développement de l'effort et de la soif de connaissance, et vers l'éveil de la curiosité.

- **Apprendre à faire**, c'est-à-dire appliquer concrètement les connaissances acquises, et éviter l'étiquette de « personnes hautement qualifiées mais incompetentes », accolée récemment... aux chimistes en Allemagne (NDLR).

- **Apprendre à vivre ensemble**, c'est-à-dire au-delà de l'apprentissage, développer la tolérance et le travail en équipe.

- **Apprendre à être**, c'est-à-dire permettre au potentiel créatif de chaque individu de s'exprimer.

Puissent ces recommandations, qui seront argumentées et affichées progressivement, être entendues par les responsables du Colloque, qui réunira la Direction générale de l'Enseignement supérieure et les responsables de l'Union des Industries Chimiques, le 24 mars prochain.

Il est en tout cas dommage que les étapes de cette réflexion ne soient pas davantage connues et partagées en France. Le rapport final sera en tout cas attendu avec impatience pour éclairer le débat actuel. ■

XV^e JIREC

Journées de l'innovation et de la recherche dans l'éducation en chimie

Besançon, 26-29 mai 1998

- Thème retenu : sécurité et protection de l'environnement dans l'enseignement de la chimie.
- Conférences plénières, ateliers, communications courtes.

Renseignements : Grimep, B. Montfort, IUT, Département Chimie, BP 1559, 25009 Besançon Cedex.
Tél. : 03.81.66.68.63 - Fax : 03.81.66.68.58 - E-mail : grimep@univ-fcomte.fr

UN NOUVEAU LABORATOIRE

Création à Nancy d'une structure de recherche unique en France

De la chimie du pétrole au traitement des déchets industriels et à la thérapie génique, des chercheurs nancéens associent leurs compétences au sein de l'Unité mixte de recherche (UMR) « Structure et réactivité des systèmes moléculaires complexes » (CNRS - Université Henri Poincaré).

Jean-Claude Bernier, directeur du département Sciences chimiques du CNRS, Jean-Pierre Finance, président de l'Université Henri Poincaré, Gérard Vivier, délégué régional du CNRS Nord-Est et Jean-Louis Rivail, directeur de l'UMR ont présidé l'inauguration de cette nouvelle unité de recherche, le 16 janvier 1998 à la Faculté des Sciences de Nancy.

Les 58 personnes permanentes, dont 45 chercheurs et enseignants-chercheurs, qui constituent les équipes de l'unité ont en commun une solide expérience : plus de 300 publications scientifiques, 36 contributions à des ouvrages et actes de congrès, 33 thèses, 12 brevets et autres actions de protections industrielles, 18 collaborations industrielles et contrats européens.

Le CNRS et l'Université Henri Poincaré ont décidé de réunir ces compétences et de coordonner les programmes de recherche au sein d'une même structure qui constitue un ensemble unique en France. Cet ensemble est capable de produire ou d'expliquer les propriétés de molécules nouvelles qui trouvent des applications dans la chimie du pétrole, les procédés de purification des déchets industriels et en particulier radioactifs, la purification de molécules à usage thérapeutique, l'efficacité de nouvelles familles d'antibiotiques sur des bactéries résistantes.

A l'occasion de cette inauguration, Georges Bram, chimiste et spécialiste de l'histoire des sciences, a donné une conférence intitulée « Les belles histoires de la chimie : du gaz d'éclairage aux sulfamides ».

Une exposition « Humour et cornues », mettant en scène des dessins de presse et caricatures de la fin du 19^e au début du 20^e siècle, a présenté les grandes découvertes de la chimie de cette époque et leurs applications industrielles (colorants, médicaments...).

Communiqué de presse du 7 janvier 1998

COMITÉ NATIONAL

Session d'automne 1997

Créations, renouvellements des unités au 1^{er} janvier 1998

Renouvellements

| | | | |
|----------|--|-------------------|----|
| UPR 8641 | ROUX Didier Centre de recherche Paul Pascal | Talence | 15 |
| EP 132 | DONARD Olivier Chimie bio-inorganique et environnement | Pau | 17 |
| USR 59 | GRENIER-LOUSTALOT Florence Service central d'analyse | Vernaison | 17 |
| UMR 9986 | BASSET Jean-Marie Laboratoire de chimie organométallique de surface | Villeurbanne | 18 |
| UPR 5401 | BIGOT Bernard p.i. Institut de recherches sur la catalyse | Villeurbanne | 18 |
| UPR 8241 | BALAVOINE Gilbert Laboratoire de chimie de coordination | Toulouse | 18 |
| URA 331 | MIALOCQ Jean-Claude Laboratoire de réactivité et mécanismes en chimie inorganique | Gif | 18 |
| URA 1194 | LATOUR Jean-Marc Chimie de coordination | Grenoble | 18 |
| UMS 818 | CHEYNET Bertrand Thermodynamique des matériaux | St Martin d'Hères | 19 |
| UPR 33 | BLONDIAUX Gilbert Centre d'études et de recherches par irradiation | Orléans | 19 |
| UPR 2801 | CHEVALIER Jean-Pierre Centre d'études de chimie métallurgique | Vitry | 19 |
| UPR 4212 | COUTURES Jean-Pierre p.i. Dir. adj. : MATZEN Guy Centre de recherche sur les matériaux à haute température | Orléans | 19 |
| UPR 7461 | ROUQUEROL Jean Centre de thermodynamique et de microcalorimétrie | Marseille | 19 |
| URA 451 | SIMONOFF Monique Réactions nucléaires à moyennes et hautes énergies | Bordeaux | 19 |

Créations

| | | | |
|----------|---|--------|----|
| UPR 1580 | LACOME Nelly Laboratoire de dynamique interactions et réactivité | Thiais | 17 |
| EP 811 | LECLERC Gérard Groupe de pharmacochimie moléculaire | Meylan | 20 |

Suppression

| | | | |
|--------|---|-------------|----|
| UMR 44 | CORRIU Robert Précurseurs organométalliques de matériaux | Montpellier | 18 |
|--------|---|-------------|----|

GDR

Renouvellements pour 2 ans

| | | | |
|----------|--|--|----|
| GDR 1148 | BOULON Matériaux lasers | | 19 |
| GDR 1168 | SENEAUD Etude physicochimique des poudres céramiques nanophasiques à base de silicium | | 17 |

Créations

| | | | |
|----------|--|--|----|
| GDR 690 | ILIOPOULOS Formulation, organisation et réactivité des matrices en évolution structurale | | 15 |
| GDR 1740 | BARTHES Influence des propriétés électroniques des films d'oxyde formés sur les matériaux métalliques | | 19 |
| GDR 790 | BODO Apports des peptides et protéines membranotropes dans la lutte contre les agents pathogènes | | 20 |
| GDR 897 | FRIBOULET Anticorps catalytiques et ingénierie des anticorps | | 20 |

FORMATION

Actions de formation en région

Synthèse peptidique sur support solide (SPPS) Assemblage, purification, caractérisation

FORMATION THÉORIQUE ET PRATIQUE

Objectif :

Donner les connaissances de base en SPPS pour effectuer une synthèse peptidique en phase solide (synthétiseur APPLIED BIOSYSTEMS 431A en stratégie Fmoc/tBu). Purification par HPLC. Mesure de la masse moléculaire du peptide par spectrométrie de masse (MALDI et/ou Electrospray).

Public :

Chercheurs, ingénieurs et techniciens souhaitant se former à la synthèse peptidique sur support solide (chimie, biochimie, biologie, immunologie).

Dates : 11-15 mai 1998

Limite d'inscription : 27 mars 1998

- Renseignements :
Bureau formation - CNRS
Délégation Centre-Auvergne-Limousin
Tél. : 02.38.25.76.15
E-mail : letour@dr8.cnrs.fr

Matériaux et joints d'étanchéité pour la réalisation d'installations fonctionnant sous haute pression

16-19 juin 1998

Centre de formation Marseille-Luminy

Objectif :

Donner aux participants une formation pratique « clé en main », ce qui leur permettra de concevoir et d'utiliser du matériel HP. Ces utilisateurs de la haute pression acquerront ainsi une compétence dans une technologie spécifique et peu courante.

Programme :

Matériaux pour les installations hautes pressions; classification; calcul des contraintes; joints d'étanchéité; principes généraux; matériaux; conditions d'utilisation; conception mécanique.

- Inscriptions auprès des Ressources humaines :
CNRS - Délégation Ile-de-France Ouest et Nord
1, place Aristide Briand - 92195 Meudon cedex
Fax : 01.45.07.58.29
- Contact organisation :
Patrick BOUSSINOT et Jean-Pierre MICHEL
Tél. : 01.49.40.39.02
E-mail : boissino@limhp.univ-paris13.fr
jpm@limhp.univ-paris13.fr
Patrick LANGLOIS
Tél. : 01.45.07.56.21
jpm@limhp.univ-paris13.fr

Ecole thématique nationale Spectrométrie de masse organique et bioorganique

25-29 mai 1998

Centre de formation de Marseille-Luminy

Le but de cette école est de fournir aux stagiaires les outils physico-chimiques utiles à la rationalisation de la spectrométrie de masse, de montrer les avancées récentes importantes sur le plan analytique et d'amener participants et conférenciers à partager leur expérience.

Le programme, issu de l'expérience d'écoles antérieures est composé de cours et de travaux dirigés qui regroupent :

- La technologie d'un spectromètre de masse : vide ; systèmes d'introduction; formation des ions par les techniques classiques (impact électronique, ionisation chimique) et par les techniques de désorption ou de désolvatation-ionisation (FAB, PD, MALDI, ESI/MS) ;
- Interprétation d'un spectre de masse: principes de thermodynamique en phase gazeuse; influence du mode d'ionisation (EI, CI, FAB, PD, MALDI, ESI); règles de fragmentation des «petites» molécules monofonctionnelles et polyfonctionnelles ; fragmentations spécifiques des biopolymères.
- Applications analytiques: petites molécules (médicaments, pesticides); molécules moyennes (porphyrines, lipides calixarènes, peptides...); « grosses » molécules (biopolymères, polymères de synthèse; stratégie d'analyse d'un échantillon ; réactions chimiques en phase gazeuse.

- Contacts scientifiques :
Yannik Hoppilliard
Tél. : 01.69.33.34.04 - Fax : 01.69.33.30.41
E-mail : Yannik@dcmr.polytechnique.fr
Christian Rolando
Fax : 01.43.37.00.51
E-mail : Christian.Rolando@univ-lille1.fr

Analyser une image numérique : région/contour. Deux primitives pour la reconnaissance des formes

18, 19, 20 mai 1998 - de 9h à 18h

Centre de Formation (Gif-sur-Yvette)

Objectifs :

Acquérir les bases nécessaires à l'interprétation automatique des images numériques.

Public :

Chercheurs, ingénieurs possédant les bases du traitement d'image. Le nombre des participants est fixé à 8.

Prérequis :

Pratique courante du micro ordinateur. Les candidats doivent avoir suivi le premier atelier ou posséder des connaissances en filtrage linéaire appliquées au domaine de l'image numérique.

Programme :

- Détection de contour :
Filtrage linéaire, opérateurs de gradient, laplacien.
Filtrage non linéaire, filtrage optimal et opérateurs morphologiques.

- Segmentation en régions :

Connexité, étiquetage.

Seuillage optimal, multiseuillage par l'histogramme.

Croissance et découpage de régions.

Mesures simples : analyse de formes, ellipsoïde d'inertie.

Introduction à l'analyse de la texture.

Cette formation donne les bases des outils classiques du traitement de l'image en matière de détection de contour et segmentation en régions. A partir de ces deux primitives on présentera quelques mesures qui permettent d'aborder la reconnaissance des formes.

Le stage s'effectue sous un environnement Unix Windows à partir d'une station de travail et de terminaux graphiques. Les notions théoriques seront étudiées sous la forme de programmes écrits en langage C et exploités sur des images de différentes provenances.

- Contact :
christian.huet@dr4.cnrs.fr
Tél. : 01.69.82.32.73 - Fax : 01.69.82.39.85
Bureau formation CNRS
Délégation Ile-de-France Sud
Gif-sur-Yvette

DISTINCTIONS

Académie des Sciences

Grands prix

PRIX LÉON VELLUZ (120 000 F)

Le prix est décerné à Marie-Claude Fournié-Zaluski, professeur à l'Université Pierre et Marie Curie.

Marie-Claude Fournié-Zaluski et ses collaborateurs ont développé des inhibiteurs mixtes agissant sur des métallopeptidases impliquées dans l'activation ou le métabolisme de peptides contrôlant des réponses physiologiques telles que la douleur dans le système nerveux central ou la pression artérielle à la périphérie. Le développement de ce concept, qui s'est appuyé sur des données structurales et de biologie moléculaire, a conduit à plusieurs molécules actives en clinique humaine. Celles-ci représentent de nouvelles classes thérapeutiques potentielles dans le domaine de l'algésie et de l'insuffisance cardiaque.

PRIX JAFFÉ (50 000 F)

Le prix est décerné à Joël Janin, professeur de biophysique à l'Université Paris-Sud à Orsay.

Joël Janin est un spécialiste internationalement reconnu des relations structure - fonction des protéines. Grâce à la détermination cristallographique de leur structure tridimensionnelle, il a établi le mécanisme catalytique d'enzymes tels que la zylose isomérase, l'énolase et la nucléoside diphosphate kinase. Ses travaux en ingénierie des protéines sont susceptibles d'applications industrielles et pharmacologiques.

Prix thématiques chimie

PRIX EMILE JUNGFLAISCH (20 000 F)

Le prix est décerné à **Guy Solladié**, professeur à l'Université Louis Pasteur à Strasbourg, pour l'introduction en chimie organique synthétique de méthodes stéréospécifiques fondées sur l'utilisation de sulfoxydes comme inducteurs de chiralité, ainsi que pour l'utilisation synthétique de réactions de transfert monoélectronique.

PRIX CLAVEL (20 000 F)

Le prix est décerné à **Bernard Meunier**, directeur de recherche au Centre national de la Recherche scientifique à l'Université Paul Sabatier à Toulouse, pour ses travaux sur l'oxydation catalytique en chimie et biochimie.

PRIX LANGEVIN

En hommage à la mémoire des savants français assassinés par les nazis en 1940-1945 en mémoire de Raymond Berr, Gabriel Florence, André Wahl (10 000 F).

Le prix est décerné à **Roger Guillard**, professeur à l'Université de Bourgogne à Dijon, pour ses travaux en chimie moléculaire des éléments de transition, en particulier les méthodes d'activation catalytique de l'ozone.

PRIX GRAMMATICAKIS-NEUMANN

(10 000 F)

Le prix est décerné à **Coryn Hague**, directeur de recherche au CNRS à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris, pour la mise au point et le développement de nouvelles méthodes de spectroscopie X pour l'étude du magnétisme de matériaux complexes.

PRIX PAUL PASCAL (10 000 F)

Le prix est décerné à **Michel Verdaguer**, professeur à l'Université Pierre et Marie Curie à Paris, pour la synthèse des aimants à précurseurs moléculaires présentant des températures critiques élevées, qui a ouvert la voie à l'utilisation de tels matériaux dans des dispositifs magnéto-optiques.

PRIX BERTHELOT (Médaille)

La médaille est décernée à **Bernard Meunier**, lauréat du prix Clavel.

Prix franco-britannique

Olivier Laprévotte, chargé de recherche au CNRS à l'Institut de Chimie des substances naturelles à Gif-sur-Yvette, ICSN (UPR 2301) a reçu le 11 décembre 1997, des mains de Sir Michaël Jay, Ambassadeur de Grande-Bretagne, le Prix franco-britannique 1997 de l'Académie des Sciences et de la Royal Society. L'attribution de ce prix de 3 000 Livres, offert par le British Council, sera suivie par un séjour du lauréat en Grande-Bretagne à l'occasion duquel il sera amené à présenter ses travaux lors de conférences organisées à son intention dans diverses universités, centres de recherche ou entreprises.

Prix Feynman 1997

Le prix Feynman 1997 a été attribué à **Christian Joachim** du CEMES-LOE et **R.R. Schlittler** d'IBM Zürich pour leur travail en nanotechnologie sur les manipulations de molécules, l'adressage d'une molécule et l'amplificateur moléculaire. Ce prix est décerné tous les deux ans par les Américains au meilleur travail dans le domaine nanoscience-nanotechnologie.

Chaptal 97

Sur proposition du Comité des arts chimiques, **Yves Laurent** (UMR CNRS 6512, Rennes) a reçu le « Chaptal de la chimie » de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale.

Jubilee Silver Medal

Michel Martin, directeur de recherche au CNRS (section 17) (URA CNRS 857, Paris) est l'un des deux récipiendaires pour l'année 1997, de la Jubilee Silver Medal, décernée chaque année par la Chromatographic Society (Société de chromatographie du Royaume-Uni). Cette médaille lui a été remise le 8 octobre dernier lors de la rencontre « Advances in Gas Chromatography »

organisée à Runcorn, près de Manchester par la Chromatographic Society. D'après la lettre du président de cette société, elle lui a été attribuée en reconnaissance de sa contribution au domaine de la science de la séparation. Au-delà, ce sont les travaux de l'ensemble de la communauté scientifique française de la chimie analytique et de la science de la séparation, et en particulier du CNRS, qui sont internationalement reconnus et appréciés.

Médaille « Luigi Galvani »

Jean Michel Savéant, directeur de recherche, URA CNRS 438, Paris, a reçu fin septembre la prestigieuse Médaille « Luigi Galvani » attribuée tous les deux ans par la Société chimique italienne, en reconnaissance de sa contribution au progrès de l'électrochimie.

Parmi les récipiendaires récents, on peut noter les noms de A.J. Bard et de M. Pourbaix.

Docteur Honoris Causa

Le Pr Claude Hélène honoré en Belgique

Le **Pr Claude Hélène**, directeur scientifique de Rhône-Poulenc, vient de recevoir le titre de docteur *honoris causa* de l'université catholique de Louvain, en Belgique. Ce titre couronne ses travaux de recherche sur l'identification des mécanismes de reconnaissance moléculaire au niveau de l'ADN et des protéines. Les nucléases artificielles, la formation de triple hélice et des oligonucléotides antisens, et le contrôle artificiel de l'expression. Chez Rhône-Poulenc, le Pr Hélène coordonne le programme Bio Avenir associant le groupe avec l'ensemble des organismes de recherche publique (URA 481 CNRS-MNHN, INSERM, INRA, CEA et Institut Pasteur).

Le Quotidien du Médecin

Appel à candidature pour la présidence de la Société Française de Chimie

Le mandat de Président de Monsieur Marc Julia venant à expiration et, en conformité avec les articles 5, 6 et 7 de nos statuts, nous informons nos adhérents, à jour de leur cotisation, qu'ils peuvent présenter leur candidature à la présidence de la Société.

Chaque candidat devra accompagner sa demande par un curriculum vitae, rappelant sa formation et sa carrière, accompagné du programme qu'il souhaite mettre en œuvre au sein de la Société Française de Chimie.

La date limite de dépôt des candidatures, accompagnées des documents propres à chaque candidat, est fixée au **15 avril 1998**.

DIVISIONS

Catalyse

Prix de la division : appel de candidatures

Le Conseil de la SFC décerne chaque année le prix de la division Catalyse d'un montant de 10 000 F, sur proposition de la DivCat. Ce prix est destiné à récompenser les travaux de chercheurs ayant publié des contributions scientifiques de portée internationale dans le domaine de la catalyse.

Pour assurer une sélection sur la base la plus large possible, les propositions de candidature ainsi que les candidatures spontanées sont les bienvenues. Les suggestions des directeurs de laboratoire sont fortement recommandées. Les propositions doivent être accompagnées d'un dossier comprenant :

- une description succincte de la carrière du candidat (date de naissance, études, diplômes, distinctions...),
- un bref résumé des recherches effectuées,
- les références des travaux publiés,
- un tiré à part des cinq publications jugées les plus importantes.

Ces propositions et documents sont à adresser, au plus tard le 31 mars 1998, au président de la DivCat, Michèle Breysse.

- Renseignements : Michèle Breysse, Laboratoire de réactivité de surface-UMR 7609, Université P. et M. Curie, case 178, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : 01.44.27.25.77 - Fax : 01.44.27.60.33. E-mail : breysse@ccr.jussieu.fr

Chimie de coordination

Prix de la division : appel de candidatures

Les dossiers doivent parvenir avant le 15 avril 1998 à R. Guillard, président de la division Chimie de coordination. Cette année, aucune limite d'âge n'est imposée aux candidats.

- Renseignements : R. Guillard, Université de Bourgogne, Laboratoire d'ingénierie moléculaire pour la séparation et les applications des gaz (LIMSAG), UMR 5633, Faculté des sciences Gabriel, 6, bd Gabriel, 21100 Dijon. Tél. : 03.80.39.61.11 - Fax : 03.80.39.61.17. E-mail : Roger.Guillard@satie.u-bourgogne.fr ou : limsag@satie.u-bourgogne.fr

Matériaux polymères et élastomères

Manifestations pour 1998

- XV^e Colloque national de chromatographie d'exclusion stérique et autres méthodes de fractionnement des polymères

Le Mans, 12-13 mai 1998

- XVII^e Congrès international sur les cristaux liquides

Strasbourg, 19-24 juillet 1998

- JEPO XXVI (Journées d'études des polymères)

Veules-les-Roses, 21-25 septembre 1998

- 28^e Colloque national du GFP

Villeneuve d'Ascq, 17-19 novembre 1998

- Renseignements : L. Reibel, Institut Charles Sadron, 6, rue Boussingault, 67083 Strasbourg. Tél. : 03.88.41.40.72 - Fax : 03.88.41.40.99. E-mail : gfp@ics-crm.u-strasbg.fr

SECTIONS

Normandie (Basse) Sarthe/ Normandie (Haute)

26 mars 1998

École doctorale Normandie chimie-biologie (Rouen-Caen)

Rouen

Cette journée est co-organisée par la Société de Biologie de Caen, l'Institut de Recherche en Chimie Organique Fine (IRCOF), l'Institut Fédératif de Recherches multidisciplinaires sur

les Peptides (IFRMP), et les sections Normandie (Basse)-Sarthe et Normandie (Haute) de la SFC. 8 h 30, accueil.

9 h, ouverture de la Journée.

9 h 10, conférence de J. Martinez (université Montpellier I) : *Sur une hypothèse de mécanisme d'action d'hormones peptidiques amidées : exemples de la Gastrine et de la Bombésine*.

10 h 30, six communications orales des doctorants, simultanées en chimie et biologie.

16 h 30, conférence de D. Mansuy (université Paris V) : *Nouveaux outils pour la mise au point de médicaments et la prévision de leur métabolisme chez l'homme*.

17 h 30, clôture et conclusion de cette journée.

- Renseignements : Gérard Plé, IRCOF, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex. Tél. : 02.35.52.24.10 - Fax : 02.35.52.24.11/29.71. E-mail : gerard.plé@univ-rouen.fr

Normandie (Haute)

25 juin 1998

Journée de la section : Polymères et santé

Mont-Saint-Aignan

La journée se tiendra à la faculté des sciences de Rouen/Mont-Saint-Aignan (amphi Laplace).

8 h 30, accueil des participants.

9 h, ouverture officielle.

9 h 15, Christian Pichot (Bio-Mérieux, CNRS, UMR 103) : *Polymères réactifs fonctionnels pour applications dans le diagnostic médical*.

10 h 45, Philippe Guérin (Paris XII) : *Matériaux polymères pour utilisation thérapeutique temporaire*.

11 h 45, Elias Fattal (Paris XI, faculté de pharmacie, URA 1218, Châtenay-Malabry) : *Applications des polymères biodégradables aux systèmes à libération contrôlée*.

14 h 15, Véronique Bernard (Sidel, Le Havre).

14 h 45, Patrice Dole (INRA, Reims) : *Sécurité et qualité des emballages alimentaires : modélisation des phénomènes de migration*.

15 h 15, Francis Quinn (L'Oréal, Aulnay-sous-Bois).

16 h 15, Alexander Stern (université de Syracuse, États-Unis) : *Développement de membranes*

polymères à très haute sélectivité pour la séparation des gaz.

17 h 15, clôture.

- Renseignements : Gérard Plé, Faculté des sciences, IRCOF-URA 464 CNRS, 76821 Mont-Saint-Aignan Cedex. Tél. : 02.35.52.24.10 - Fax : 02.35.52.24.11. E-mail : Gerard.ple@univ-rouen.fr

Provence-Alpes-Côte d'Azur

3 avril 1998

Journée annuelle de la chimie

Toulon

Thème de la journée : les matériaux moléculaires.

– A. Gorgues (université d'Angers) : *Nouveaux tétrathiafulvalènes pour matériaux organiques à propriétés électroniques spécifiques.*

– P.C. Lacaze (université de Paris VII) : *Élaboration électrochimique de polymères conducteurs sur métaux oxydables. Une nouvelle voie prometteuse pour la protection des métaux contre la corrosion.*

– J.F. Muller (université de Metz) : *Les récents développements de la spectrométrie de masse en chimie organique, inorganique et biologique.*

– 6 à 8 communications orales et des communications par affiche.

- Renseignements : Jean Musso, Université de Toulon et du Var, BP 132, 83957 La Garde Cedex. Tél. : 04.94.14.25.33 - Fax : 04.94.14.21.68. Robert Guglielmetti, Université de la Méditerranée, Faculté des sciences Luminy, ERS 158 CNRS, case 901, 13288 Marseille Cedex 9. Tél. : 04.91.82.91.54 - Fax : 04.91.82.93.04.

Rhône-Alpes

Nouveau bureau

A la suite de récentes élections, le bureau de la section régionale est désormais constitué comme suit :

- Denis Sinou, président (Lyon I),
- Gilbert Reverdy, vice-président (Chambéry),
- Catherine Santini, secrétaire (CPE Lyon),

– Philippe Touzain, secrétaire adjoint (Grenoble I),

– Hélène Parrot, trésorier (Lyon I),

– Claude Dupuy, trésorier adjoint (Grenoble I),

– Bernard Cazes (Lyon I), Jean-Roger Desmurs (Saint-Fons), René Brennetot (président du club des jeunes sociétaires de la section), membres.

- Denis Sinou, Laboratoire de synthèse asymétrique, CPE, bât. 308, Université Claude Bernard Lyon I, 43, bd du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex. Tél. : 04.72.44.62.63 - Fax : 04.72.44.81.60. E-mail : sinou@univ-lyon1.fr

GROUPES

Club d'histoire de la chimie

21 mars 1998

Réunion conjointe de la Société d'histoire de la pharmacie et du Club d'histoire de la chimie

Paris

La réunion se tiendra dans la salle des Actes, à la faculté de pharmacie de Paris (4, av. de l'Observatoire), de 9 h 45 à 17 h, sur le thème : interactions chimie-pharmacie, quelques exemples historiques.

– Introduction à la journée : Christian Warolin et Claude Viel.

– Claude Viel : L'enseignement de la chimie et de la matière médicale aux apothicaires aux XVII^e et XVIII^e siècles.

– Michel Golfier : Pharmaciens et chimistes français au XIX^e siècle.

– Jean Flahaut : Charles-Louis Cadet de Gassicourt et les charlatans.

– Josette Fournier : Joseph-Louis Proust pharmacien (1754-1826).

– Christian Warolin : Pierre-Jean Robiquet (1780-1840).

– Jean Jacques : Quelques souvenirs du « bon Maître » Marcel Delépine (1871-1965).

– Conclusion : Christian Warolin.

L'après-midi sera consacrée à des visites commentées.

- Inscription : M. Chambrin, secrétaire général de la Société d'Histoire de la Pharmacie, 4, avenue de l'Observatoire, 75005 Paris.

Commission interdivisions Enseignement

Le professeur Marc Lafitte a été nommé président de la Commission interdivisions Enseignement. Il remplace le professeur Gérard Montel décédé en octobre dernier.

- Marc Lafitte, Superbastouan, bât. E, 13260 Cassis. Tél. : 04.42.01.12.30.

PARRAINAGES

30 août-3 septembre 1999

5th International symposium on heterogeneous catalysis and fine chemicals

Lyon

Tenu la semaine précédant EuropaCat IV, ce 5^e Symposium est parrainé par la Société Française de Chimie (SFC), la Société de Chimie Industrielle (SCI) et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Thème : les applications de la catalyse hétérogène, y compris les complexes supportés pour la préparation des produits dans la chimie fine.

Des résumés de contributions, sur des sujets fondamentaux ou appliqués, peuvent être soumis jusqu'au 28 février 1999.

- Renseignements : Pierre Gallezot, HCFC 99, Institut de Recherches sur la Catalyse - CNRS, 2, av. Albert Einstein, 69626 Villeurbanne Cedex. Tél. : 04.72.44.53.86 - Fax : 04.72.44.53.99. E-mail : gallezot@catalyse.univ-lyon1.fr

Un accord SFC-sociétés sœurs au bénéfice de leurs membres

Après l'accord, signé en avril dernier, entre la Société Française de Chimie (SFC) et la Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) (*SFC Info*, juin 1997, p. III), la SFC a signé de nouveaux accords de coopération avec les sociétés suivantes : Société Royale de Chimie Belge (Belgique), Royal Society of Chemistry (Grande-Bretagne), Real Sociedad Española de Química (Espagne) et Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (Pays-Bas).

Ces accords précisent les avantages octroyés mutuellement aux membres de ces quatre sociétés consœurs. Les membres de la SFC bénéficient des avantages suivants, comme les membres des autres sociétés consœurs (ou membres étudiants si c'est le cas) :

1. Participation aux mêmes conditions, aux conférences, congrès, symposiums, ateliers, organisés par les sociétés consœurs.
2. Utilisation des services recherche d'emploi pour les membres de la SFC résidant dans le pays.
3. Participation aux conférences des partenaires des sociétés consœurs aux mêmes conditions que leurs membres.

ANALYSIS

Analysis est un journal pluridisciplinaire qui traite tous les aspects de la chimie analytique organique, minérale ou biologique. Il décrit aussi bien les concepts et les stratégies des méthodes d'analyse que les innovations instrumentales touchant à la séparation, à l'identification et au dosage des substances chimiques.

En 1998, la Société de chimie allemande (Gesellschaft Deutscher Chemiker, GDCh) s'associe à la Société Française de Chimie (SFC) et à la Société de Chimie Industrielle (SCI) pour promouvoir plusieurs journaux européens de chimie, destinés à une large audience. *Analysis* sera le vecteur des actions menées pour la chimie analytique.

Ce partenariat s'inscrit dans la politique, suivie par la Société Française de Chimie et le CNRS, de fusionner les activités de publication de sociétés savantes européennes, afin d'augmenter leur diffusion, internationaliser les publications nationales et mieux lutter face à la diffusion des publications américaines, comme l'ont rappelé récemment J.-C. Bernier¹ et M. Julia². Ce mouvement touche en chimie plusieurs revues majeures : *Chemistry*, *A European Journal* ; *European Journal of Organic Chemistry (EurJOC)* ; *European Journal of Inorganic Chemistry (EurJIC)* ; *New Journal of Chemistry* ; le *Journal de Chimie Physique (JCP)*, destiné à devenir *European Journal of Physical Chemistry* ; et enfin *Analysis*, destiné à devenir *European Journal of Analytical Chemistry (EurJAC)*. Des revues de physique procèdent de même, notamment *European Physics Review (EPR)*, résultant de la fusion du *Journal de Physique* et de *Zeitschrift für Physik*. Les Editions EDP Sciences, déjà en charge de plusieurs de ces nouvelles revues européennes, notamment le *JCP* et *EPR*, sont le nouvel éditeur d'*Analysis* depuis le 1er janvier 1998.

A côté des conditions plus avantageuses d'abonnement accordées aux membres des sociétés savantes co-propriétaires, tous les abonnés pourront examiner sur Internet (<http://www.ed-phys.fr>) l'ensemble des articles de recherche et des dossiers thématiques publiés dans *Analysis*. Des abonnements de six mois pour évaluer *Analysis* au moyen de ce type de consultation

sont actuellement proposés, et les personnes intéressées doivent contacter Catherine Duval (duval@ed-phys.fr). Le bureau de rédaction d'*Analysis* reçoit les manuscrits rédigés en anglais ; les auteurs souhaitant coordonner un dossier thématique sont invités à le contacter préalablement.

- **Renseignements : Analysis**, 28, rue St Dominique, 75007 Paris. Tél. : 01.45.55.97.32.
E-mail : analysis@calva.net
Rédacteur en chef : Patrick Arpino, EDPS, 7, av. du Hoggar, BP 112, 91944 Les Ulis Cedex.
Tél. : 01.69.18.75.75.
E-mail : subscribers@ed-phys.fr

¹ Bernier J.-C., *Lettre des Sciences Chimiques du CNRS*, 1997, n° 63, p. 28.

² Julia M., *SFC Info*, novembre 1997, p. 1.

Sommaire n° 1, janvier-février 1998

Dossier : Chromatographie en phase gazeuse

Avant-propos, par G. Gaspar.

I. Utilisateurs

- Le rôle de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) dans l'industrie pétrolière et la pétrochimie. De l'analyse détaillée des hydrocarbures à la distillation simulée, par J.P. Durand.
- L'apport du couplage chromatographie en phase gazeuse spectrométrie de masse (CPG/SM) dans les études environnementales, par Y. Gervaise, F. Bacha, F. David, A. Pelluchon, I. Carpentier.
- L'apport de la chromatographie en phase gazeuse dans les industries chimiques et pharmaceutiques, par W. Lutjen.
- Application du couplage chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse en tandem (CPG/SM/SM) à l'analyse des produits alimentaires, par L.B. Fay.

II. Constructeurs

- Injection de volumes importants de liquides et de gaz : dispositif universel, par J.L. Barraña.
- Un nouveau mode de communication pour un chromatographe en phase gazeuse, par D. Duparque.
- Nouveau concept d'injection en chromatographie en phase gazeuse. Une interface modulaire permettant d'améliorer les performances d'un système chromatographique, par P. Parsy.
- Additifs de polymères : application d'une base de données à la pyrolyse/CPG/SM, par P. Schwarzer, M. Kuch, D. Martinez.

III. Colonnes

- Séparation chirale de g-lactones C₈-C₁₂ sur une colonne de cyclodextrine chimiquement modifiée, par D. Simler.
- Analyse des hydrocarbures C₁-C₅ avec la colonne CP SilicaPLOT, par P. Saint-Martin.
- Une colonne capillaire pour l'analyse des amines et d'autres composés fortement basiques : Rtc-5 amine, par R. Brun.
- Analyse simultanée sur deux colonnes pour confirmation d'identité des pesticides chlorés, phosphorés et azotés par CPG/SM, par D. Crowshaw.
- Nouvelle colonne à faible bleeding pour couplage CPG/SM et dosage des traces : DB-XLB, par G. Poletti.

Articles originaux

- Étude par coulométrie de la pénétration de l'eau dans des films de polymères formulés, par K. Vallée-Rehel, B. Mariette, P.A. Hoarau.
- Analyse simultanée des phénylurées et des triazines présents dans l'eau par chromatographie en phase gazeuse capillaire avec une détection type « ion trap » et une injection à grand volume, par C. Charrêteur, R. Colin, D. Morin, J.J. Péron.
- Utilisation des plans d'expériences pour évaluer la robustesse d'une méthode d'analyse quantitative par chromatographie en phase liquide, par J. Vial, A. Jardy.
- Représentation graphique de Gran pour la détection du point final des dosages potentiométriques du vin, par D. Rudan-Tasic et C. Klofutar.
- Intérêt de l'analyse élémentaire des produits viticoles : dosage de 25 éléments par spectrométrie d'émission atomique dans un plasma à couplage induit, par J.B. Fournier, O. Hirsch, G.J. Martin.
- Analyse quantitative des principaux composés volatils présents dans du bois de chêne par désorption thermique directe (DTD) et CPG/SM, par E. Garcia-Romero, M.S. Perez-Coello, J. Sanz, M.D. Cabezedo.
- Couplage de la dialyse avec la CLHP pour la préparation automatisée et l'analyse en ligne des acides aminés des sucres et des acides organiques dans les jus de raisin et les vins, par C. Linget, C. Netter, D. Heems, E. Vérette.
- Caractérisation des eaux de vies et des extraits de bois par électrophorèse capillaire, par M. Rosario Bronze, L.F. Vilas Boas.

Industrie

Brèves nouvelles industrielles...

L'enquête a montré l'intérêt des lecteurs pour une rubrique industrielle. Nous vous proposons, mensuellement, une sélection d'informations significatives.

Les réorganisations dans l'industrie chimique et pharmaceutique.

• Inversion de tendance ?

En examinant, de près, les résultats des neuf premiers mois de 1997, publiés au dernier trimestre, on ne peut qu'être frappés par une certaine convergence des tendances. Alors que la plupart des groupes avaient parié sur les perspectives des sciences de la vie et quelque peu délaissé les activités chimiques traditionnelles, celles-ci se rebiffent.

En effet, Bayer et BASF affichent des chiffres records avec des résultats opérationnels substantiels (4,2 et 3,8 milliards de DM), en hausse respectivement de 11 % et 12,5 %, tirés en grande partie par la croissance américaine... et la chimie.

Il en est de même chez Rhône-Poulenc, où la chimie enregistre une hausse de 21 % de ses résultats, alors que la pharmacie est en recul de 6 % environ.

Chez Hoechst, les sciences de la vie enregistrent une baisse de 30 % du bénéfice opérationnel. Cette chute est même de 34 % à 1,3 milliard de DM pour HMR alors que la chimie de Hoechst (chimie de base, peintures et fibres polyester) affiche une amélioration.

Les résultats d'ICI, après ses acquisitions des spécialités d'Unilever, sont en amélioration.

Si elle se confirmait, cette tendance montre que des stratégies trop voisines et trop conformistes ne s'avèrent peut-être pas les plus efficaces...

Il n'y a que les résultats de Novartis qui paraissent satisfaisants mais en deçà des espérances.

• Attention, un train peut en cacher un autre !...

Après avoir annoncé et salué le 20 janvier le rapprochement de SmithKline Beecham avec American Home Product qui devait constituer le plus grand laboratoire mondial, la presse était informée de la fin des négociations, dix jours plus tard, en même temps... que des pourparlers de fusion entre SmithKline Beecham... et Glaxo Wellcome, les deux géants anglais de la pharmacie.

Constitué en 1995 à la suite d'une OPA hostile de Glaxo sur Wellcome (2^e rang mondial), Glaxo-Wellcome commercialise des médicaments comme le Zantac (anti-ulcéreux, 16 milliards de F en 96) et le Zovirax (antiviral, 6,6 milliards de F) qui figurent parmi les 10 médicaments les plus vendus au monde.

SmithKline Beecham est né, en 1989, de l'union du groupe britannique Beecham et de l'américain SmithKline. Il commercialise surtout des vaccins et des antidépresseurs.

L'ensemble ainsi formé constituerait avec 20 milliards de \$, le leader mondial, avec 8 % du CA de l'industrie pharmaceutique, loin devant Merck and Co (13 milliards). Derrière ces deux leaders incontestés, nous trouvons : Novartis (fusion en 96 des Suisses Ciba et Sandoz), les Américains Bristol-Myer Squibb, Johnson Johnson, Pfizer et Lilly, ainsi que les Européens Hoechst-Marion-Roussel et Roche.

Les investissements en recherche se situeraient pour le nouvel ensemble aux alentours de 2,8 milliards de \$ devant ceux de Novartis (1,9 milliard) et de Merck (1,5 milliard).

Mais, aux dernières nouvelles en date du 24 février, les pourparlers entre les deux sociétés ont été interrompus.

Est-il raisonnable et responsable d'annoncer aussi rapidement ce type d'informations qui suscite toujours, parmi le personnel concerné, des inquiétudes justifiées ?

Nouvelles des sociétés

Total, 2^e producteur européen d'adhésifs

Bostik, filiale de Total, vient de conclure un accord avec la société britannique BTP, pour l'acquisition de sa division Mydrin, spécialisée dans les adhésifs et les revêtements textiles.

Le CA de Mydrin est de 1 milliard de F environ, mais Bostik ne conservera que les trois quarts de cette activité.

Mydrin, installé en France à Cholet (Maine-et-Loire), Premery (Nièvre) et Privas (Ardèche), permet à Bostik d'équilibrer son portefeuille d'activité orienté à 45 % vers le bâtiment et à 25 % vers les adhésifs industriels, dont les marchés sont plus porteurs. Il apporte un savoir-faire dans les adhésifs thermofusibles à base de polyamide et de polyester (destinés aux marchés de l'électronique de la chaussure et de l'automobile), et dans les colles aqueuses.

Cette acquisition permet à la filiale de Total de porter son CA de 2,1 à 2,9 milliards de F et de se hisser, ainsi, à la deuxième place sur le marché européen des adhésifs derrière Henkel.

Elf Atochem, 1^{er} fabricant européen de compounds vinyliques

Par l'acquisition d'Industrie Generale Spa, entreprise familiale italienne (70 000 t de compounds vinyliques dans deux unités à proximité de Milan), Elf Atochem devient, avec une capacité totale de 350 000 t, le leader européen des compounds vinyliques dont le marché est de 1 200 000 t environ.

Les compounds vinyliques sont mis en forme principalement par extrusion (câblerie, tubes et profilés...) et par injection

(emballages et flacons, électronique...). Des applications plus spécifiques sont apparues plus récemment pour l'habillage des tableaux de bord des voitures et l'appareillage médical.

Rhône-Poulenc

• Une unité d'HCN pour RPNA

Rhône-Poulenc Animal Nutrition démarre, à Roussillon (Isère), une unité de production d'acide cyanhydrique.

D'un montant de 220 millions de F, l'investissement doit approvisionner les sites de production de méthionine de Roussillon (45 000 t) et de Commentry (40 000 t). L'objectif est double : assurer l'indépendance des approvisionnements et réduire les risques potentiels liés au transport et au stockage.

Le marché mondial de la méthionine représente 360 000 t/an et est partagé entre 3 producteurs mondiaux : Degussa, RP et Novus (ex-Monsanto).

• Rhône-Poulenc lance l'isoxaflutole avec un accord de production... avec le Finlandais Kemira

De la famille des isoxazoles, l'isoxaflutole permet un désherbage du maïs à une dose à l'hectare (moins de 100 g), très inférieure aux pratiques courantes. Le maïs est le deuxième marché herbicide en Europe et le plus gros marché agrochimique mondial (de l'ordre de 2,7 milliards de dollars en 96).

Un contrat de sous-traitance sur 10 ans pour 1 milliard de F a été accordé... au Finlandais Kemira, qui affirme que ce contrat constitue une base solide pour le développement de « l'activité chimie fine » sur le site de Kokkula.

Extraits de la conférence de presse de Schering

Le groupe Schering SA, Berlin, commercialise trois lignes de produits :

– Les produits de contraste pour imagerie médicale qui ont

suivi l'évolution des techniques radiologiques des rayons X à l'échographie en passant par l'imagerie par résonance magnétique (1,6 milliard de DM, soit 31 % du CA en 1996). Un produit de contraste pour échographie vasculaire stable dans le sang, lancé en avril 1996 en Allemagne, sera disponible en France en 1998.

- **L'hormonologie** pour le

contrôle de la fertilité, le traitement de la ménopause, et celui de l'acnée (1,57 milliard de DM, soit 30 % du CA en 1996) a été fortifiée par l'acquisition de Jenapharm et le Finlandais Lenas qui a développé les utilisations non orales des hormones.

Un **système intra-utérin** délivrant pendant 5 ans du Levonorgestrol (Mirena) et un **patch heb-**

domadaire d'un estrogène naturel pour le traitement de la ménopause (Climara) seront lancés en France.

- **Les maladies graves invalidantes** parmi lesquels un produit pour la forme remittente de la **sclérose en plaque** (Betaferon), un anti-oncogène stéroïdien contre le cancer de la **prostate** (Androcur) et un produit pour le

traitement de la **leucémie lymphoïde dermique** (Fludara).

Schering consacre 18 % de son chiffre d'affaires à la recherche (3 300 personnes).

Un investissement de 100 millions est en cours sur le site de Lys-Lez-Lannoy (Nord) avec sa spécialisation en formes comprimés hormonaux et non hormonaux.

Recherche

Appel à candidature

• Prix 1998 - Yvette Mayent

M. Pierre Mayent a consenti un legs important à l'Institut Curie en vue d'attribuer un prix récompensant un chercheur pour une découverte effectuée en physique, chimie, biologie ou médecine, découverte susceptible de contribuer à court, moyen ou long terme à améliorer la prévention, le diagnostic ou le traitement du cancer.

Cette découverte devra avoir été effectuée dans un laboratoire de recherche public ou privé,

implanté dans l'un des pays de l'Union européenne, et ce, quelle que soit la nationalité de son auteur.

Le prix Yvette Mayent - Institut Curie est décerné tous les deux ans depuis 1994. Au titre de l'année 1998, son montant est de 1 000 000 FF. La date limite de réception des dossiers de candidature est le 15 juin 1998. Le règlement du prix et le formulaire de candidature peuvent être obtenus à l'adresse suivante :

Institut Curie, Présidence, Prix Yvette Mayent - Institut Curie, 26, rue d'Ulm, 75248 Paris Cedex 05.

Elf : les 13^{es} Trophées de l'Innovation

Elf a récompensé, en décembre, les innovations suivantes :

- André Chippaux pour un **nouveau procédé** dit « Mini-cuivre » pour les unités **micro-suspension de PVC** à Saint-Auban et Hernani qui réduit le développement d'une couleur rose du PVC à la lumière.

- Roger T. Clark, du centre de Kesig of Prussia et Vijav Srivimas de l'usine de Besançon qui ont mis au point un **nouveau catalyseur**, le Selexorb K, pour

la **fabrication du méthyl-mercaptopan**, intermédiaire de la méthionine. Une gélification du catalyseur, à l'aide d'une base, puis une réactivation par H₂S permet de diminuer significativement la formation de sulfure de diméthyle, impureté du procédé.

- Philippe Soubrié, de Sanofi, pour l'**exploration de nouvelles cibles biologiques**, qui doivent trouver à terme des développements d'antipsychotique, le traitement de l'alcoolisme, et qui ont déjà été valorisées dans un némotrope pour la sclérose latérale amyotrophique et la maladie d'Alzheimer.

Enseignement

L'intelligence du bout des doigts

Nombre d'étudiants sont prêts à participer à l'aventure de la chimie : n'est-ce pas la plus belle des sciences ? Ils ont l'enthousiasme, le goût de la compétition amicale, et il ne leur manque que la connaissance.

Le « **Défi expérimental** » organisé par Laboscope et par le Palais de la Découverte, avec le soutien de la Société Française de Chimie et de nombreux sponsors, leur permet de s'affronter, non sur le terrain de la connaissance, mais sur celui de l'intelligence du

bout des doigts, laquelle caractérise le chimiste, me semble-t-il.

Le troisième Défi s'est achevé, avec une finale et la remise des prix au Palais de la Découverte, le 4 décembre 1997. Tous les participants avaient été conviés, pour voir trois équipes, deux de l'ESCOM, une de l'ENS Paris, effectuer les expériences sélectionnées pour la finale. L'équipe de l'ENS l'emporta de peu.

Cette finale couronnait une série d'épreuves qui avaient testé les capacités expérimentales de 137 équipes, composées chacune de trois étudiants, de niveau compris entre le baccalauréat et ce

dernier plus cinq années d'études : les inscrits appartenaient aux universités, aux IUT, aux

grandes écoles. Pour cette troisième édition du Défi, les épreuves étaient préparées et orchestrées



Figure 1 - Un jeune réalisant une expérience lors de la finale du Défi.

par l'équipe gagnante de l'an passé : celle de l'ESPCI, assistée du bureau des élèves de l'université Paris VI et de l'équipe de Laboscope.

Le Défi restait limité à l'Île-de-France, et toutes les épreuves, à l'exception de la finale, avaient lieu à Laboscope, le magasin de Merck + Prolabo, rue Le Goff, à Paris.

Au cours des diverses épreuves, chaque équipe recevait le protocole détaillé de trois expériences simples (**tirer un film de savon aussi grand que possible, préparer une réaction oscillante, etc.**), ainsi que le matériel et les produits pour l'exécuter. Pour être bien notés, les étudiants (qui se répartissaient les protocoles) devaient effectuer les opérations indiquées avec intelligence, et avec doigté. C'est sans doute cela, l'intelligence du bout des doigts, où la main prend le relais de la pensée en une harmonie qui fait une belle expérience de chimie.

Comment faire évoluer le Défi ? Nous imaginons deux développements, l'un assez simple, et l'autre plus complexe. Tout d'abord, l'accueil chaleureux fait au Défi expérimental par les étudiants nous pousse à proposer une extension du Défi aux étudiants de toute la France. Il faudra alors des bénévoles, pour effectuer les sélections dans les différents centres régionaux : les Clubs jeunes de la SFC voudront-ils s'en charger, en liaison avec l'équipe parisienne de Merck + Prolabo ? Apparemment, quelques clubs jeunes se sont déjà déclarés partants pour l'aventure. Nous sommes donc sur la bonne voie.

D'autre part, comment, en ces temps de réflexion sur la main à la pâte, ne pas vouloir faire participer des plus jeunes ? A chaque âge sa notation, à chaque âge ses expériences, qui peuvent, si elles sont bien choisies, ne présenter aucun danger.

Restera toutefois le problème important de l'organisation matérielle du Défi pour les plus jeunes, un « Défi junior » : toutes les propositions sont bienvenues, à ce stade très préliminaire de la réflexion.

Sabine Thomas (Laboscope)

Hervé This (*Pour la Science*, Laboratoire de chimie du Collège de France).

Un prix parrainé par la Société Française de Chimie : Le 4^e Grand Prix Chimique Européen

Depuis 1991, le Grand Prix Chimique Européen, concours spécialement conçu et réservé aux élèves de l'enseignement technologique et professionnel, se déroule tous les deux ans. En 1997, c'est la ville de Rotterdam, ville natale de van't Hoff (premier prix Nobel de chimie en 1901) qui a accueilli la quatrième édition du concours (3-8 novembre 1997).

Les pays participants étaient : l'Allemagne, le Danemark, la France, la Hongrie, les Pays-Bas, la Norvège (comme observateur), la République Tchèque, la Slovaquie et la Slovaquie.

Chaque pays était représenté par trois candidats et un accompagnateur.

151 élèves de 14 lycées des classes terminales STL CL étaient inscrits à la sélection nationale et trois Français ont participé aux épreuves finales.

Les trois premiers prix sont allés respectivement à :

- une candidate allemande, Patricia Teuscher, élève du centre de formation Hoechst à Francfort s/Main, qui a totalisé 264 points,
- une candidate des Pays-Bas, Miranda Kruisdijk, de Ermelo (avec 263 points),
- un candidat hongrois, Viktor Ujvari, de Gyömrö (avec 261 points).

Les trois représentants français : Mathilde Valnet du lycée Sainte Marie (Caen), Yann Lagouge du lycée Jean Rostand (Strasbourg) et Magali Guérin du lycée Le Mans Sud (Le Mans), ont obtenu une place respectable, avec pour le meilleur d'entre eux un total de 215 points (pour une moyenne de 14,3/20) ; les deux autres candidats français arrivent à 12,7 et 12,6 de moyenne.

Le concours a été parrainé par la Société Française de Chimie et les sociétés Stracel (UPM), Bayer Polymères, Société Chimique Roche, Soprema et Tech. et Doc.

• Alfred Mathis, Lycée Jean Rostand, 1, bd de la Victoire, 67000 Strasbourg.

Un CD-Rom sur le secret des couleurs

Utilisant les nouvelles technologies de communication interactives, ce CD-Rom, consultable sur micro-ordinateur PC ou Mac Intosh, propose une véritable découverte et compréhension du monde des couleurs :

– un parcours scientifique attrayant, composé d'animations et d'expériences interactives, permettant de comprendre le phénomène physique « couleur » à travers la nature de la lumière, l'œil, l'objet, l'atome, la molécule...

– une découverte historique de l'usage de la couleur dans les sociétés, au point de vue technique, artistique, économique...

– une large vision des colorants et pigments, naturels et synthétiques, de leur structure moléculaire à leur production industrielle,

– une véritable expérience simulée de teinture d'un jean où le résultat visuel dépend fortement du doigté de l'opérateur...

– des enquêtes sur quelques mystères de la nature (la couleur bleu du ciel, le blanchiment des cheveux, la couleur des oiseaux...),

– un jeu test pour le bilan.

Le CD-Rom est présenté dans une atmosphère colorée, vivante, où le « lecteur » peut à tout moment se reporter à une autre séquence pour mieux comprendre ou faire le lien entre les différentes approches proposées du sujet.

Ce premier CD-Rom de la collection « Sciences pour tous » est co-édité par Carré multimédia, Chimagora et MédiaDesign. Il a été conçu par Sylvia Arditi (journaliste scientifique), Maurice Chastrette (professeur à l'université Claude-Bernard, Lyon), Annick Méary (professeur au lycée La Martinière Duchère, Lyon), Dominique Cardon (chargé de recherche au CNRS) et Michel Boyer (professeur à l'université Pierre et Marie Curie, Paris).

31 mars-1er avril 1998

Entretiens de la technologie'98

Paris

Ces entretiens, organisés par l'Association des Centraliens, seront consacrés aux transferts de technologie et à l'innovation en Europe, facteurs de compétitivité internationale.

- **Renseignements :** Secrétariat général des ET 98, Network Communication, 25, rue de Ponthieu, 75008 Paris. Tél. : 01.53.53.07.79. Fax : 01.53.53.07.77. E-mail : network-com@infonie.fr. Serveur : <http://www.centraliens.fr>

1er avril 1998

Séminaire du service des molécules marquées

Saclay

Organisé par le SMM du département de biologie cellulaire et moléculaire du Centre d'Études Nucléaires de Saclay, ce séminaire se tiendra dans la bibliothèque du bâtiment 547 du CEN-Saclay, à 11 h :
– *Enantioselective catalysis with antibodies*, par J.L. Remond (université de Berne).

- **Renseignements :** pour assister à ce séminaire, contacter le SMM. Tél. : 01.69.08.52.55.

21-24 avril 1998

Analytica 98

Munich (Allemagne)

La Conférence Analytica se tiendra dans le cadre du 16e salon international de l'analyse, de la biotechnologie, du diagnostic et des techniques de laboratoire.

- **Renseignements :** Analytica 98, Messe München GmbH, Messengelände, D-80325 München, Allemagne. Tél. : +49 (89) 51 07-0. Fax : +49 (89) 51 07-506. E-mail : info@messe-muenchen.de

26 avril-2 mai 1998

European research Conferences : stereochemistry

Bürgenstock (Suisse)

- **Renseignements :** J. Hendekovic, European Science Foundation, 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Tél. : 03.88.76.71.35. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org. Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

27-29 avril 1998

Congrès français/espagnol/italien de biochimie et biologie moléculaire (SFBBM)

Marseille

Ce congrès est organisé par la Société Française de Biochimie et Biologie Moléculaire (SFBBM), la Sociedad Espanola de Bioquímica y Biología Molecular (SEBBM) et la Società Italiana di Biochimica (SIB).

- **Renseignements :** Mireille Bruschi, Bioénergétique et Ingénierie des Protéines, CNRS, 31, Ch. Joseph Aiguier, 13402 Marseille Cedex 20. Tél. : 04.91.16.41.44. Fax : 04.91.77.95.17. E-mail : bruschi@ibsm.cnrs-mrs.fr. Serveur : <http://garlaban.cnrs-mrs.fr/>

28-30 avril 1998

5e Salon Eurodeur/Airodeur 98

Paris

Dans le cadre du salon se tiendra le 1er congrès PAS sur les polluants atmosphériques spécifiques.

- **Renseignements :** Harbour, BP 15, 35801 Dinard Cedex. Tél. : 02.99.16.35.33/31. Fax : 02.99.16.35.34. E-mail : 101564.1347@compuserve.com. Serveur : <http://www.eurodeur.com>

29-30 avril 1998

Réunions franco-polonaises dédiées à Pierre et Marie Curie

Paris

Ces réunions se tiendront dans le cadre du Centenaire de la découverte de la radioactivité et sont organisées par l'université Pierre et Marie Curie :

– 29 avril 1998 (le matin à l'amphithéâtre Lacassagne, 26, rue d'Ulm, et à l'amphithéâtre Marie Curie, 11 rue P. et M. Curie l'après-midi) : conférences scientifiques sur l'état de l'art en chimie nucléaire.

– 30 avril 1998 : La vie et l'œuvre de Pierre et Marie Curie (campus Jussieu, amphithéâtre 24, place Jussieu).

Au cours de ces deux journées, une exposition « radioactivité » sera présentée au pied de la tour centrale du campus. Un « par-

cours des sciences » sera organisé sur les sites historiques liés à la radioactivité. Enfin, associé à cet événement, sera célébré le jumelage entre le Musée Curie de Paris et le Musée Sklodowska-Curie de Varsovie.

- **Renseignements :** G. Djega-Mariadassou, UPMC, tour 54-55, casier 178, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél. : 01.44.27.36.26. Fax : 01.44.27.60.33. E-mail : djega@ccr.jussieu.fr

14-16 mai 1998

Risques cancérigènes dus aux rayonnements ionisants

Paris

Le colloque est organisé par l'Académie des sciences et l'Institut de France sur :

- les mécanismes du maintien de l'intégrité génétique et altérations radio-induites,
- les mécanismes de la cancérogenèse,
- les implications pour la radiobiologie, la thérapeutique et la radio-protection.

- **Renseignements :** Chantal Iannarelli, Congrès Scientifique Services/Carcinogenic, 2, rue des Villarmains, BP 124, 92210 Saint-Cloud. Tél. : 01.47.71.90.04. Fax : 01.47.71.90.05. E-mail : c2s@club-internet.fr

18-20 mai 1998

Pyrolysis'98

Munich (Allemagne)

- **Renseignements :** Ulla Schrödel, Pyrolysis'98, GSF-Forschungszentrum, Congress Service, Postfach 11 29, D-85758 Neuherberg, Allemagne. Tél. : +49 (89) 3187 3030. Fax : +49 (89) 3187 3362.

24-29 mai 1998

Concoord-Gecom'98

Noirmoutier

Concoord-Gecom 1998 (Concertation en chimie de coordination et Groupe d'étude en chimie organométallique) regroupe une centaine de participants pour favoriser des échanges scientifiques directs entre de jeunes doctorants et des chercheurs plus confirmés, du secteur universitaire comme du secteur

industriel. Tous les aspects de ces disciplines seront traités, tant d'un point de vue fondamental qu'appliqué : matériaux hybrides, chimie fine, catalyse, nouveaux procédés, mésophases.

- **Renseignements :** Concoord-Gecom'98, IMN, 2, rue de la Houssinière, BP 32229, 44322 Nantes Cedex 03. Tél. : 02.40.37.39.17. Fax : 02.40.37.39.95. E-mail : concoord.gecom@cnrs-imn.fr. Serveur : <http://www.cnrs-imn.fr/concoordgecom98.html>

25-28 mai 1998

Bioconversion en synthèse organique (CBSO)

Nouan-le-Fuzelier (Loir-et-Cher)

Le colloque annuel du club français Bioconversions en synthèse organique se tiendra avec la participation de collègues britanniques.

- **Renseignements :** C. Augé, ICMO, Université Paris-Sud, Orsay. Tél. : 01.69.15.47.18. Fax : 01.69.15.47.15. E-mail : clauauge@icmo.u-psud.fr. E. Guibé, ICMO, Université Paris-Sud, Orsay. Tél. : 01.69.15.47.61. Fax : 01.69.15.46.79. E-mail : eriguibe@icmo.u-psud.fr

25-29 mai 1998

14e Rencontres interdisciplinaires de biochimie

Verdon-sur-Mer

Ce congrès s'adresse à des doctorants, postdoctorants ou jeunes chercheurs. Le nombre de participants est limité à 35 car les présentations des travaux ne se font que sous forme de communications orales. En outre, des conférenciers, au nombre de 7, sont également invités.

- **Renseignements :** Claire Parisel, Laboratoire de recherches sur les macromolécules, Université Paris-Nord, Avenue Jean-Baptiste Clément 93430 Villetaneuse. Tél. : 01.49.40.33.43. Fax : 01.48.23.28.01. Serveur : <http://vega.crbm.cnrs-mop.fr/ppellegr/zerib.htm>. E-mail : claire@galilee.univ-paris13.fr

1-5 juin 1998

XVIIe Journées de la chimie et de la biochimie des glucides

Trégastel

Le Groupe Français des Glucides

(GFG), présidé alternativement par un chimiste et un biochimiste, organise tous les deux ans un congrès rassemblant entre 120 et 150 participants français ou étrangers.

Les thèmes retenus couvriront les domaines de la chimie et de la biochimie, le domaine biomédical ainsi que les glyco-technologies.

- **Renseignements :** Daniel Plusquellec, CNRS ESA 6052, ENSCR, Av. du Général Leclerc, 35700 Rennes. Tél. : 02.99.87.13.36. Fax : 02.99.87.13.48. E-mail : Daniel.Plusquellec@ensc-rennes.fr

4-5 juin 1998

Diagnostic de panne et supervision de procédés dans l'industrie chimique

Solaize

Ce séminaire IFAC est organisé par l'Institut Français du Pétrole (IFP).

- **Renseignements :** Marie-France Baltus. Tél. : 01.47.52.67.13. Fax : 01.47.52.70.96. E-mail : m-france.baltus@ifp.fr

10-11 juin 1998

Synthèse et biosynthèse de produits naturels

Gif-sur-Yvette

Ce symposium comprendra une quinzaine de conférences des personnalités suivantes :

S. Arseniyadis, D. Grierson, M. Isobe, P.J. Kocienski, C. Marazano, S.F. Martin, C. Mioskowski, K.C. Nicolaou, M. Rohmer, J. Royer, D. Uguen, P. Vogel, E. Winterfeldt, M.H. Zenk.

- **Renseignements :** Dr A. Al Mourabit, Institut de chimie des substances naturelles, CNRS 91198 Gif-sur-Yvette. Tél. : 01.69.82.30.66. Fax : 01.69.07.72.47. E-mail : ali.almourabit@icsn.cnrs-gif.fr

16 juin 1998

Chromatine, Structure et fonction

Paris

Cette journée scientifique est organisée sous les auspices de l'Académie des Sciences, Paris (professeurs François Gros et Pierre Potier).

Parmi les conférenciers invités :

H. Buc (Paris), P. Chambon (Strasbourg), A. Klug (Cambridge), T. Kouzarides (Cambridge), J. Parello (Montpellier), T. Richmond (Zürich), J. Rouvière-Yaniv (Paris), F. Thoma (Zürich), A. Travers (Cambridge).
Date limite de soumission des résumés : 1er mai 1998.

- **Renseignements :** Nicole J. Moreau, Université Paris 6 - LRMA, 15, rue de l'École de Médecine, 75270 Paris Cedex 06. Tél. : 01.43.25.00.33/01.43.25.68.12. Fax : 01.43.25.68.12. E-mail : njmoreau@ccr.jussieu.fr

27 juin-3 juillet 1998

European research Conferences : Molten salts : from structural aspects to waste processing

Porquerolles

Responsable de la conférence : M. Gaune-Escard (Marseille).

- **Renseignements :** J. Hendekovic, European Science Foundation, 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Tél. : 03.88.76.71.35. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org
Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

28 juin-3 juillet 1998

8th International Conference on polymer based technology

Jerusalem (Israël)

POC'98 est consacré aux emplois des polymères en chimie organique ; la 8e conférence abordera les domaines suivants :

- réactifs sur polymères,
- polymères en synthèse organique,
- catalyseurs supportés sur polymères,
- synthèses automatisées, applications photographiques et biotechnologiques,
- systèmes organisés : structure et applications,
- techniques combinatoires,
- frontières des polymères biomédicaux.
- **Renseignements :** A. Warshawsky, POC'98 secretariat, PO Box 3190, Tel-Aviv 61031, Israël. Fax : +972 (352) 390 99. E-mail : POC98@unitours.co.il
Serveur : <http://www.weizmann.ac.il/POC98>

5-14 juillet 1998

30e Olympiade internationale de chimie

Melbourne (Australie)

La 30e Olympiade internationale de chimie sera précédée par une préparation intensive, à l'issue de laquelle les étudiants seront sélectionnés par deux épreuves. Cette préparation s'adresse aux élèves de première année des classes préparatoires scientifiques, de toutes filières (PCSI, TPC, BCPST, MPSI).

- **Renseignements :** Anne Serani (ENS). Tél. : 01.44.32.32.65. Damien Lavergne (ENSCP). Tél. : 01.44.27.67.44. Julien Lalande (lycée Condorcet). Tél. : 03.20.51.03.41.

7-9 juillet 1998

Journées francophones des Jeunes physico-chimistes

Montpellier

Les premières éditions des Journées francophones des jeunes physico-chimistes, ont eu lieu à Paris (1992), Bordeaux (1994) et Lille (1996). Elles proposent aux étudiants et aux jeunes chercheurs, appartenant à des laboratoires de recherche publics et industriels, un lieu de rencontre et d'échange autour de la physico-chimie.

Ces Journées concernent un vaste domaine, comprenant aussi bien les procédés de synthèse et d'élaboration que les caractérisations, les structures et les propriétés, les applications et l'impact sur l'environnement, les méthodes et techniques expérimentales (spectroscopies, diffraction, imagerie...), les aspects thermodynamiques et cinétiques, les études théoriques (analyse, simulation, modélisation)...
Cet ensemble sera réparti dans trois grands domaines :
- biologie/santé/environnement,
- matière/matériaux,
- réactivité/surfaces /interfaces.
Inscriptions : le montant des frais d'inscription est fixé à 250 FF, pour tous les participants.

- **Renseignements :** P.E. Lippens et D. Cachau-Hereillat, JFJPC-98, Laboratoire de physico-chimie de la matière condensée, Université de Montpellier 2, UMR 5617 CC003,

34095 Montpellier Cedex 05
Tél. : 04.67.14.45.48/04.67.14.32.04.
Fax : 04.67.14.42.90.
E-mail : jfjpc@crit.univ-montp2.fr
Serveur : <http://ubik.crbm.cnrs-mop.fr/jfjpc98/jfpc98.html>

8-10 juillet 1998

XXXIVe Rencontres internationales de chimie thérapeutique

Nantes

Au programme : thrombose et antithrombotiques, anti-inflammatoires.

- **Renseignements :** Secrétariat des XXXIVe Rencontres internationales de chimie thérapeutique, Faculté de pharmacie, Laboratoire de chimie thérapeutique, 1, rue Gaston Veil, 44035 Nantes Cedex 1. Tél. : 02.40.41.28.71. Fax : 02.40.41.28.76. E-mail : Guillaume.LeBaut@sante.univ-nantes.fr

13-18 juillet 1998

18th International Symposium on organic chemistry of sulfur (ISOCS-18)

Florence (Italie)

- **Renseignements :** Giuseppe Cappozzi, Dipartimento di Chimica Organica, Università di Firenze, Via G. Capponi, 9, I-50121 Firenze, Italie. Tél. : + 39 (55) 2757633. Fax : +39 (55) 2476964. E-mail : isocs-18@chimorg.unifi.it
Serveur : <http://www.chimorg.unifi.it/isocs18.html>

30 août-4 septembre 1998

GECO XXXIX 39e groupe d'études de chimie organique

La Bourboule

Le Geco permet de consolider les liens étroits qui unissent les chercheurs du CNRS, de l'université et du secteur privé.

Inscription avant le 10 avril 1998.

- **Renseignements :** Yves Troin, ENSC de Clermont-Ferrand, Ensemble scientifique des Cézeaux, BP 187, 63174 Aubière Cedex. Tél. : 04.73.40.71.39. Fax : 04.73.40.70.95. E-mail : troin@chimtp.univ-bpclermont.fr
serveur : <http://chimtp.univ-bpclermont.fr/geco39.htm>

Revue

REPÉRÉ POUR VOUS... DANS LES REVUES CHIMIQUES EUROPÉENNES...

Nous proposons de vous signaler, périodiquement, les articles les plus pertinents publiés par nos confrères.

Chemistry in Britain (novembre 1997 à janvier 1998)

• Produits pharmaceutiques

- *The voice within* : New drugs for schizophrenia promise to revolutionise treatment and to reduce the side effects of conventional therapies (novembre, p. 31-36).

- *Resisting changes* : Emerging strains of multi-resistance in bacteria call for new strategies (novembre, p. 46-50).

- *A landmark in drug design* : Smithkline Beecham's work to develop the anti-ulcer drug Tagamet in the 1970's heralded a new era in logical drug design (décembre, p. 25-28).

- *All in the mind* : A complex molecular packaging strategy is making the delivery of therapeutic peptides to the brain a reality (janvier, p. 36-42).

• Produits alimentaires

- *A nose for trouble* : Electronic noses are detecting the freshness of foods (novembre, p. 31-36).

- *Not naughty, but nice* : Low calorie, reduced fat foods are becoming more popular but what do these claims mean for consumers and manufactures (novembre, p. 50-53).

- *Food, glorious food* : From genetic modification and irradiation to salmonella listeria and BSE scares, food is rarely out of the news headlines (janvier, p. 21-26).

• Polymères

- *Making plastics green* : There's a great future in... biodegradable plastics made from plants and bacterias (décembre, p. 29-32).

- *Good mixers* : Surfactants made from polymers are encouraging seemingly incompatible components to mix (décembre, p. 46-49).

• Sécurité des produits

- *Staring up troubles ?* : More than 50 years since EDTA and related ligands were first introduced, is it time for industry to start looking at alternatives ? (janvier, p. 48).

• Histoire des sciences

- *Triumph of the Wittig* : All chemists will know about his reaction, but, 100 years

after Georg Wittig was born, what do we know of the man ? (décembre, p. 25-28).

- *A man of action* : Best known for his definition of acids and bases, J.M. Brønsted's pioneering work on thermodynamics is still celebrated 50 years after his death (décembre, p. 43-46).

- *The secret of success* : Arthur Nobile's discovery of the steroids, prednisone and prednisolone in the 1950's revolutionised the treatment of arthritides (janvier, p. 46-48).

LES CAHIERS DE SCIENCES ET VIE RÉVOLUTIONS SCIENTIFIQUES : ATOMES, UNE GUERRE DE CENT ANS

Numéro Hors Série, décembre 1997

Dix articles, rédigés de façon alerte par des spécialistes en histoire des sciences, d'origine européenne et américaine, et agréablement illustrés, retracent les péripéties de l'émergence et de la confirmation de l'hypothèse atomique.

Ce travail intéressant détaille d'abord les querelles des chimistes qui opposent partisans de l'hypothèse atomique et équivalentistes. Les apports des physico-chimistes nordiques et de la mécanique statistique, initiée par J.C. Maxwell et développée par L. Boltzmann, sont ensuite bien analysés. C'est J. Perrin qui conclura en 1913 le débat en faveur de l'hypothèse atomique, après la description de l'atome par E. Rutherford en 1911. Les querelles et les collaborations qui se sont installées à partir des lois de Dalton et de Proust entre 1804 et 1913 sont rapportées en détails. Quelques événements circonstanciels - tels le premier congrès des chimistes réunis le 3 septembre 1860 à Karlsruhe à l'initiative d'A. Kekulé et de C.A. Wurtz et qui influencerait D. Mendeleev, ou la séance du 28 mai 1877 à l'Institut où G.A. Wurtz défie M. Berthelot - sont mis dans leur contexte.

Les documents ainsi rassemblés permettent de se rendre compte des comportements et des apports des pères fondateurs de la chimie, que nous voyons évoluer comme dans un film.

Quelques remarques se dégagent de cette lecture :

- Les savants de l'Europe entière, dans leurs collaborations et plus encore dans leurs confrontations, ont contribué à

asseoir les bases de la chimie... Ils nous livrent une bonne illustration de « l'euro-scientifique ».

- Les techniques analytiques (mises au point dans les laboratoires-écoles de J. Liebig à Gressen et J.B. Dumas à Paris) ont bien sûr joué un rôle déterminant dans le cheminement des idées. Mais aussi, et déjà, la circulation des personnes (G.F. Gerhardt et C.A. Wurtz formés respectivement au contact de J. Liebig et J.B. Dumas).

- La théorie atomique, vivement combattue par J.B. Dumas et M. Berthelot, « anti-atomistes » militants au départ, ne s'est imposée que tardivement en France sous les engagements de C.F. Gerhardt et C.A. Wurtz. L'industrie chimique allemande a d'emblée adoptée une approche plus pragmatique et a accepté plus tôt l'hypothèse atomique. Cette position ne lui-a-t-elle pas permis de devenir la première industrie du monde pour les colorants ?

Nous ne pouvons que recommander la lecture de cette contribution, aux jeunes et aux... moins jeunes. Les premiers regretteront peut-être l'absence d'un tableau synoptique qui permette de se remémorer facilement les étapes et les contributeurs essentiels. Les autres seront peut-être un peu frustrés... Un retour sur les techniques utilisées et les nombres trouvés par J. Perrin aurait été utile.

C'est en tout cas un numéro à conserver par les enseignants de la chimie... et *Sciences et Vie* donne un bon exemple... et une bonne leçon aux membres de la Société Française de Chimie. Merci en tout cas à *Sciences et Vie*.

Gilbert Schorsch

NATURES SCIENCES SOCIÉTÉS RECHERCHES ET DÉBATS INTERDISCIPLINAIRES

Publications Elsevier - Editions scientifiques et médicales SAS
Paris

• Objectifs

La revue *Natures Sciences Sociétés* a pour vocation d'accueillir tout texte (en français et occasionnellement en anglais), traitant des rapports que l'homme entretient avec la nature, y compris avec la

sienne propre, que ce soit à travers les représentations qu'il en a, les usages qu'il en fait, les transformations qu'il provoque dans les processus biophysicochimiques dont sa vie dépend.

Cette couverture thématique requiert une grande diversité de disciplines (science de la nature, de la vie, de la société et de l'ingénieur) et de démarches de recherche. La revue souhaite s'ouvrir largement à ce pluralisme et a ainsi engagé trois paris :

- construire une interdisciplinarité,
- rapprocher la recherche de l'action,
- établir un lien entre science et culture.

Natures Sciences Sociétés est une revue de l'association Natures Sciences Sociétés

- Dialogues publiée avec le soutien du Cirad, du Cemagref, du CNRS, de l'Ifremer, de l'Inra, du ministère de l'Environnement et de l'Orstom.

• Sélection d'articles récents

Forum

- Le principe de précaution : quelques réflexions sur son application en santé publique, *William Dab*

- Recherche et société : de l'abstention à la co-responsabilité, *Guy Paillotin*

Entretien

- Dilemme de la procréation assistée. Rencontre entre un médecin parlementaire et deux sociologues, *Jean-François Mattéi, Françoise Laborie, Simone*

Novaes

- Edgar Morin : « le contrebandier » d'une pensée complexe, *Marianne Cohen, Nicole Mathieu, Alfredo Penavega*

Libres opinions

- Les sélectionneurs d'espèces cultivées et la biodiversité, *Bertrand Vissac*

Actualités de la recherche

- Champs urbains et développement durable : les approches canadiennes de la ville écologique, *Gilles Sénécal*

- Environnement et développement : approches scientifiques, structuration du domaine et coévolution des recherches, *Alain Pavé*

Livres

MÉTALLURGIE : DU MINÉRAI AU MATÉRIAU

J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet,
P. Combrade
Masson - 1997
1 152 pp. - 485 F

Ce livre, comme l'indique son sous-titre, entend couvrir complètement le vaste domaine de la métallurgie.

A cet effet il est organisé en cinq parties : métallurgie extractive, métallurgie physique, transformations structurales, métallurgie mécanique, corrosion et oxydation.

Dans chaque partie, les auteurs se sont attachés à traiter systématiquement les aspects fondamentaux dont la connaissance est indispensable à la compréhension de l'état métallique (bases thermodynamiques mécaniques et chimiques ; relations propriétés - microstructures) avant de décrire les procédés d'élaboration et de mise en forme, les traitements thermiques, les alliages industriels puis d'analyser leurs comportements en service (endommagement mécanique, divers types de corrosion...)

Public : Etudiants de l'enseignement supérieur. Universités et écoles d'ingénieurs. Chercheurs des laboratoires universitaires et industriels. Ingénieurs et techniciens supérieurs.

Jean Philibert est professeur émérite à l'Université Paris-Sud Orsay.

Alain Vignes est professeur des universités, professeur à l'Institut supérieur des matériaux et de la construction mécanique.

Yves Bréchet est professeur des universités, professeur à l'Institut national polytechnique de Grenoble

Pierre Combrade est responsable du département chimie-corrosion, centre technique Framatome.

LES FONDEMENTS DE LA CHIMIE ORGANIQUE

Michael Hornby
(Stowe School, Buckingham),
Joséphine M. Peach
(Somerville College, Université d'Oxford)
Editions De Boeck Université
Collection : Les essentiels en chimie
104 p. - 79 F

Public : Etudiants et professeurs de chimie et biochimie (lycée et premier cycle universitaire)

Les trois premiers chapitres sont consacrés à la présentation des notions de base de chimie physique nécessaires à la compréhension de la chimie organique mécanistique développée dans les chapitres suivants. Tout au long des chapitres, le lecteur est invité à tester ses connaissances en répondant à des questions. De très nombreux exemples couvrant des domaines variés dont ceux des produits naturels et des médicaments sont présentés et permettent d'illustrer les principes de base exposés

LES RÉACTIFS ORGANOMÉTALLIQUES EN SYNTHÈSE

Paul R. Jenkins
(Université de Leicester)
Editions De Boeck Université
Collection : Les essentiels en chimie
104 p. - 79 F

Public : Etudiants et professeurs de chimie

Ce manuel très facile à lire s'intéresse aux propriétés et réactions des principales classes de composés organométalliques, en insistant plus précisément sur leurs applications en synthèse. Il concerne plus particulièrement les composés du lithium, sodium, potassium, magnésium, aluminium et cuivre. Ce livre développe une approche logique de la chimie organométallique, apportant à l'étudiant une vue d'ensemble concise sur le domaine et un grand nombre de stratégies, pour résoudre les problèmes de synthèse.

CHIMIE DES HÉTÉROCYCLES AROMATIQUES

David T. Davies
Editions De Boeck Université
Collection : Les essentiels en chimie
96 p. - 79 F

Public : Etudiants et professeurs de chimie, chercheurs

Cet ouvrage concis fournit les caractéristiques essentielles, les principes de réactivité de base et des références sur l'ensemble des classes importantes de composés hétérocycliques, en illustrant chaque thème abordé par de nombreux exemples récents de synthèses de médicaments. Il met l'accent sur l'aspect synthétique plutôt que sur les propriétés des composés hétérocycliques aromatiques dont on connaît l'importance tant industrielle qu'académique.

LES RÉACTIFS ORGANOMÉTALLIQUES EN SYNTHÈSE

Paul R. Jenkins (Université de Leicester)
Editions De Boeck Université
Collection : Les essentiels en chimie
104 p. - 79 F

Public : Etudiants et professeurs de chimie

Ce manuel très facile à lire s'intéresse aux propriétés et réactions des principales classes de composés organométalliques, en insistant plus précisément sur leurs applications en synthèse. Il concerne plus particulièrement les composés du lithium, sodium, potassium, magnésium, aluminium et cuivre. Ce livre développe une approche logique de la chimie organométallique, apportant à l'étudiant une vue d'ensemble concise sur le domaine et un grand nombre de stratégies, pour résoudre les problèmes de synthèse.

SYNTHÈSE ORGANIQUE : LES ROLES DU BORE ET DU SILICIUM

Susan E. Thomas
Editions De Boeck Université
Collection : Les essentiels en chimie
104 p. - 79 F

Public : Etudiants et enseignants en chimie organique

Les composés du bore et du silicium jouent un rôle essentiel en synthèse organique. L'étude de leurs propriétés et de leurs réactions est ainsi un aspect important de l'enseignement de la chimie aux niveaux licence et maîtrise.

Dans cet ouvrage, les aspects principaux et fondamentaux de la chimie des organoboranes et organosilanes sont présentés avec clarté et simplicité en insistant sur la façon dont ces dérivés peuvent être utilisés afin d'apporter des solutions simples à de nombreux problèmes de synthèse.

INTRODUCTION À LA CHIMIE ORGANIQUE

Harald Hart, Jean-Marie Conia
Masson
Collection Enseignement de la chimie
1997 - 600 p., broché - 249 F

Préface de Sir Derek Barton, prix Nobel de chimie

Changement de couverture pour cette introduction très complète et très pédagogique à la chimie organique, qui constitue également un excellent passage vers la biochimie, en fournissant les bases indispensables pour comprendre et interpréter les mécanismes des réactions. Les auteurs présentent de nombreux exemples, très souvent tirés de la vie moderne quotidienne, et utilisent la nomenclature internationale. L'ouvrage comporte de nombreux problèmes, dont plus d'une centaine sont corrigés.

Public : DEUG SM et SV, PCEM ; étudiants en pharmacie.

CHIMIE INDUSTRIELLE

Robert Perrin, Jean-Pierre Scharff
Masson
Collection Enseignement de la chimie
1997 - 1 159 p., broché - 395 F

Désormais en un seul tome, cet ouvrage fait le point sur tous les aspects chimiques actuels concernant l'obtention des principaux minéraux métallurgiques, organiques et polymériques : problèmes relatifs aux matières premières, à l'énergie, à l'environnement et à la dépollution, à la qualité, à la propriété industrielle. Tous les grands produits fonctionnels, des caoutchoucs aux verres, sont traités. L'iconographie est très complète, et toutes les formules des produits cités sont représentés. Cet ouvrage a reçu le prix Roberval 1993 du livre et de la communication en technologie.

HANDBOOK OF HYDROXYACETOPHENONES

Robert Martin
formerly of the Institut Curie, Paris, France
Klawer Academic Publishers
May 1997, 544 p.
NLG 460.00/USD 272.00/GBP 165.00

Hydroxyacetophenones constitute the

starting material for a large variety of syntheses in organic chemistry. In this handbook, the diverse ways of obtaining over 1 400 hydroxyacetophenones are described, and their physico-chemical properties and spectroscopic data references are indicated. Here, ketones are classified methodically. They are thus easily accessible from three tables : the molecular formula index, the Chemical Abstracts Registry numbers and the usual names index. This work will prove to be a valuable tool for laboratory work and research and development departments. It is set to become the reference on hydroxyacetophenones.

Audience : This handbook is particularly intended for engineers in chemical synthesis and academic as well as industrial researchers from various branches of chemistry. Hydroxyacetophenones are most useful synthetic intermediates in the chemical industry, for example in pharmaceuticals, colours, fragrances, explosives and plastics.

Contents : Preface. Introduction. 1. Compounds Derived from Acetic Acids. 2. Compounds Derived from Bromoacetic Acids. 3. Compounds Derived from Chloroacetic Acids. 4. Compounds Derived from Fluoroacetic Acids. 5. Compounds Derived from Iodoacetic Acids. References, Molecular Formula Index, Chemical Abstracts Registry Numbers, Usual Names Index. Common Abbreviations.

Tarifs 1998

L'Actualité Chimique (11 numéros par an)

• Particuliers/Institutions

France 1 100 FF
Étranger 1 325 FF

• Étudiants*

France 420 FF
Étranger 660 FF

* Sur présentation de la carte d'étudiant

• Membres de la SFC : service inclus dans la cotisation.

Abonnement

Société Française de Chimie, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : 01.40.46.71.60. Fax : 01.40.46.71.61.

Prix de vente au numéro : 120 FF

OFFRES

ELF-AQUITAINE

Accueil en mobilité :

- Un chercheur, **rhéologue** ayant une certaine expérience de la physico-chimie des polymères et/ou des systèmes dispersés. Etude des polymères à l'état fondu ou à l'état solide, gels, émulsions, adhésifs. Utilisation de la technique « ultrasons » comme moyen de caractérisation complémentaire.

Lieu : Lacq (64)

- Un chercheur, **docteur en sciences des matériaux** avec, si possible, une formation en mécanique des polymères. Définition d'essais mécaniques pertinents et d'études pour le développement de nouvelles applications et nouveaux produits.

Lieu : Serquigny (27)

Accueil en détachement pour 3 ans :

- Un chercheur, **docteur en sciences des matériaux**, spécialisé dans le domaine des céramiques. Elaboration, transformation, évaluation des matériaux céramiques, de préférence Nitrure d'Aluminium (AlN).

Lieu : Pierre Bénite (68)

• **Contact** : Monique KRIEGER.
Tél. : 01.47.44.66.86.

97219 - FAITES VOTRE THÈSE AVEC L'ADEME : APPEL À CANDIDATURES 1998

Étudiants, titulaires d'un DEA au 1^{er} octobre 1998 et âgés de moins de 30 ans,

Si votre thèse porte sur :

- la pollution de l'air,
- les déchets,
- les sites et sols pollués,
- l'utilisation rationnelle de l'énergie et des matières premières,
- les énergies renouvelables, notamment d'origine végétale,
- les technologies sobres et propres,
- les nuisances sonores.

L'Ademe vous propose l'une de ses 80 allocations d'études et de recherche.

Les propositions associant une entreprise ou une collectivité et l'Ademe sont prioritaires. La thèse est alors cofinancée à parité par l'Ademe et le partenaire. Montant de l'allocation pour un cofinancement avec une entreprise : 10 488 brut sur 3 ans.

Les candidatures sont à adresser à l'Ademe avant le 31 mars 1998.

• **Contact** : Eliane Jallot, Ademe, Cellule, Thèse, 2, square Lafayette, 49004 Angers Cedex 01.
Fax : 02.41.87.23.50 ou 02.41.20.41.97.
Serveur : <http://www.ademe.fr>

97220 - INGÉNIEUR SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT

Fiche de poste vacant

N° 568

Lieu de travail

Andra - Châtenay-Malabry

Affectation

Direction de la Sûreté / Service Doctrine et Méthodes de Sûreté

Nature du travail

Sous l'autorité du Chef de Service, l'Ingénieur sûreté de fonctionnement est responsable de la sûreté des systèmes de confinement. A ce titre et pour les différents stockages, il doit :

Définir les méthodes d'analyse de sûreté : analyse fonctionnelle, analyse de la robustesse, analyse de risque, arbres d'événements...

Proposer aux unités concernées les outils adaptés à ces analyses.

Vérifier la bonne mise en œuvre de ces méthodes, identifier les écarts, et s'assurer de la cohérence de leur application aux différents stockages.

Intégrer le retour d'expérience des stockages de surfaces, des centres industriels et des expériences internationales pour faire évoluer si nécessaire les méthodes proposées.

En raison de sa fonction d'analyste des systèmes de confinement dans leur globalité,

il est en charge de la sûreté d'exploitation. A ce titre, il apporte son concours au Service Sécurité et Radioprotection pour l'analyse des incidents du Centre de l'Aube. Des échanges internes mais aussi externes à l'Agence sont nécessaires pour confronter les approches.

Compétences professionnelles

Ingénieur physico-chimiste ayant des connaissances en sûreté de fonctionnement. Expérience minimum de 2 ans dans le domaine.

Qualification

Cadre de niveau P 1-P2

Qualités demandées

Persuasif, esprit curieux et rigoureux, bonne relation humaine, esprit critique, capable de s'intégrer dans une équipe pluridisciplinaire, maîtrise de l'anglais.

• **Personnes à contacter** :
Sylvie VOINIS. Tél. : 01.46.11.81.10.
Correspondant emploi :
Christophe Cheron. Tél. : 01.46.11.80.27.

97221 - PROFESSEUR (PR2) EN 33^e SECTION

Le candidat devrait être un spécialiste de l'élaboration des matériaux notamment par chimie « douce », chargé de développer de nouvelles méthodes dans ce domaine pour mettre en évidence, caractériser et étudier des phases originales : métastables, non stœchiométriques et (ou) nanocristallisées. Il devrait également s'intéresser aux problèmes des débouchés industriels de ces matériaux dans les secteurs des céramiques avancées, des couches minces, des milieux particuliers.

• **Personne à contacter** : Professeur ROUSSET, directeur du LCMIE, Université Paul Sabatier, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex. Tél. : 05.61.55.62.81. Fax : 05.61.55.61.63. E-mail : rousset@iris.ups-tlse.fr

Contact : Bourse de l'emploi, Évelyne Girard, SFC, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.
Tél. : 01.40.46.71.63. Confidentialité assurée.

Henri Normant (1907-1997)

Il y a peu de temps, nous déplorions le décès de Raymond Paul (*L'Actualité chimique*, décembre 1997, p. 32) et c'est maintenant Henri Normant qui nous a quittés. Ils étaient pratiquement contemporains, tous deux venus de l'ouest de la France, et partageaient au plus haut point la passion de la science et du bien commun.

Henri Normant, né en 1907, était le dernier d'une famille de huit enfants riche surtout d'affection et de chaleur humaine. Son père étant boulanger, son orientation scientifique n'allait pas de soi. Déjà, à l'école de son village, ses dons exceptionnels sont remarqués et vont se développer, ce qui ne l'empêchera pas de courir sur la grève et la lande. Son origine se reconnaissait dans la couleur de ses yeux d'un bleu très clair. On voyait très loin dans ses yeux et il était bienveillant et ouvert. De temps en temps, un éclair d'ironie y allumait une lueur brillante comme du soleil.

Il est remarquable que son village natal de Plozevet, à l'extrémité occidentale de la Bretagne sur la baie d'Audierne (pays bigouden), compte parmi ses enfants six agrégés de l'université. Ce phénomène a donné lieu à de nombreuses études sociologiques en particulier par R. Gessain, directeur du Musée de l'Homme

Après ses études au collège Saint Louis de Brest, il choisit les sciences physiques à l'université de Caen puis, après sa licence, passe l'agrégation en 1931. Il enseigne alors au lycée de Roanne jusqu'en 1935 : mais, déjà, sa passion pour la recherche et la chimie organique le pousse à passer les fins de semaines à Lyon dans le laboratoire de Victor Grignard. Il a reçu de ce maître des encouragements précieux et une initiation aux techniques fondamentales de la chimie organique. En 1935, des raisons familiales l'appellent dans l'Ouest, et il est nommé au lycée d'Angers. Désormais, il mène de front son service d'enseignement et ses premières recherches originales qu'il commence sous la direction de Raymond Paul qui devient bientôt son ami. Il

devait les poursuivre seul lorsque R. Paul fut appelé à la direction scientifique de la société Rhône-Poulenc. Il a pu saisir très tôt l'intérêt pour tous des relations entre science et industrie. Après sa thèse, soutenue en 1942, malgré des difficultés considérables, personnelles et professionnelles, il est nommé jeune professeur à l'université de Caen en 1945. C'est dans des ruines qu'il doit tant bien que mal établir un laboratoire ; il déploie une énergie farouche pour y parvenir, tout en sachant utiliser la diplomatie pour obtenir les « bons matières » nécessaires. Il a pu reprendre des recherches en 1947.

En 1948, il est nommé professeur à l'université de Lille et, très peu de temps après, en 1951, à l'université de Paris, où il était titulaire d'une chaire de synthèse organique depuis 1963 jusqu'à l'éméritat (1978). Il est passé graduellement des locaux sombres de la rue Cuvier à la « vieille Sorbonne », puis aux locaux neufs du campus Saint-Bernard. Évoquer le cadre de ses recherches n'est pas indifférent car il tenait beaucoup à faire des expériences lui-même. Je me souviens l'avoir trouvé, un jour, en train de distiller le nouveau produit obtenu dans une nouvelle réaction, assis de côté sur son tabouret de laboratoire, en utilisant avec virtuosité la flamme du brûleur ; il était heureux.

Sa personnalité attirait de très nombreux jeunes gens pour travailler avec lui et, au cours des années, le laboratoire Normant a été une pépinière de talents ; plusieurs sont devenus des maîtres. Le « patron » avait travaillé très dur pour acquérir son savoir et aimait le communiquer avec toute la passion de l'enseignant.

On peut distinguer trois grandes orientations dans sa production scientifique, elles ne sont d'ailleurs pas indépendantes : les hétérocycles oxygénés, les organométalliques, et les solvants aprotiques polaires.

Il avait été intéressé aux hétérocycles oxygénés par R. Paul, pionnier dans ce domaine. En 1948, paraît la très élégante méthode de synthèse des alcools bêta éthyléniques. Après chloration du dihy-



Henri Normant.

dofurane en 2,3-, la substitution par un grignard en -2 et l'action du sodium donnent très efficacement le résultat. Les dérivés du tétrahydropyrane donnent d'une façon analogue les alcools gamma éthyléniques. Ces réactions sont une addition puissante à l'arsenal des méthodes et conduisent à une foule de composés très divers, dont certains sont commercialement intéressants comme parfums (l'« alcool de feuille »).

Toutes ces études lui permettent d'observer que le tétrahydrofurane se coordonne aux ions magnésium beaucoup plus fortement que l'éther éthylique. D'autre part, l'élimination réductrice de l'halogène et d'un groupe alcoxy portés par des carbones voisins (pour former une double liaison) est beaucoup plus facile quand le produit à traiter est un dérivé du tétrahydrofurane. Or, l'étape essentielle dans cette réaction est l'insertion du métal entre le carbone et l'halogène. Ceci l'a conduit aux études d'organométalliques et à l'introduction du THF

En effet, cette insertion de métal se produit aussi lors de la formation des dérivés de Grignard à partir des halogénures et de magnésium où on savait bien que l'éther est nécessaire. Si donc l'éther cyclique favorise cette insertion dans la même molécule, peut-être en fera-t-il autant dans une autre molécule. Il existait une très regrettable limitation à la réaction de Grignard : elle ne

marche pas si le carbone portant l'halogène est éthylénique (vinylique comme nous disons). H. Normant a montré effectivement que, si l'on travaille dans le tétrahydrofurane (THF) au lieu d'éther éthylique, les halogénures vinyliques donnent les « grignards » correspondants, avec toute la richesse de leur réactivité. Les aromatiques chlorés réagissent maintenant aussi aisément que les bromés ou iodés, ce qui étend énormément le domaine d'applicabilité.

L'étude systématique de ces nouveaux agents de synthèse a été poursuivie dans le laboratoire de leur inventeur, puis dans de très nombreux autres laboratoires du monde entier. Ils permettent l'introduction d'un motif éthylénique dans les structures les plus diverses avec conservation de la stéréochimie.

Ces résultats lui ont apporté une réputation internationale et de nombreuses invitations à prononcer des conférences. Il avait ainsi traversé l'Atlantique sur le paquebot *France* par très mauvais temps. Comme il était presque le seul passager valide et qu'il parlait breton, il était dorloté par tout le personnel du bateau.

Le THF a aussi permis l'accès à de nombreux organométalliques portant une autre fonction (alcoxy ou même halogène) sur le carbone lié au métal. Ces carbénoïdes ont connu un fort développement.

Les propriétés du THF ont fait merveille dans d'autres domaines de la chimie organométallique, celui des radicaux anions et du transfert d'électrons comme celui (immense) des énolates. Ces résultats ont grandement contribué à la compréhension du « rôle du

solvant » dans les réactions organiques, qui s'est révélé fondamental et s'épanouit dans la chimie supramoléculaire de J.-M. Lehn..

C'est en cherchant à mieux comprendre pourquoi et comment le THF exerçait une action si puissante que H. Normant a apporté une autre contribution majeure. Cherchant une corrélation avec le moment dipolaire, il a étudié comme « solvants aprotiques polaires » divers amides encombrés de l'azote puis du phosphore. Il a proposé ainsi l'« hexaméthyl phosphotriamide » (HMPT) qui a permis de faire avancer encore une fois les limites de la réactivité anionique. Celle-ci est augmentée des milliers de fois dans des conditions très douces. L'interprétation est que ce solvant colle étroitement à l'ion métallique, dégageant ainsi l'anion associé qui peut ainsi utiliser beaucoup mieux sa réactivité intrinsèque. Ce solvant a été universellement adopté et utilisé avec les précautions convenables.

Beaucoup d'autres contributions ont été apportées par H. Normant et ses élèves, mais ces découvertes majeures suffisaient à mériter notre admiration et notre reconnaissance.

D'un naturel réservé, il ne parlait pas beaucoup et n'aimait pas que de trop longues discussions en comités ou commissions consomment le temps qu'il eut voulu consacrer à la recherche. Il n'en a pas moins rempli des fonctions très diverses à l'université comme au CNE-SER et dans les commissions du Ve Plan ou du Comité National de la Recherche ou de comités de directions de laboratoires, où ses avis étaient très écoutés à cause de sa compétence et de son honnêteté. Il était animé par une foi

chrétienne discrète mais très solide. Il consacrait aussi du temps au Service des Poudres, au Palais de la Découverte, etc. Il avait été président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale et, président, en 1971 et 1972, de ce qui était alors la Société Chimique de France.

Ses mérites avaient bien sûr été reconnus. En France : lauréat de nombreux prix de la SCF ou de l'Académie des sciences, il avait été élu dans cette compagnie en 1966. Il était officier de la Légion d'honneur et des Palmes académiques. A l'étranger, il était lauréat de la médaille Bruylants de l'université de Louvain (1963), de la Fondation vant'Hoff (1969), de la médaille d'honneur Marin Drinov de l'Académie bulgare des sciences. Il était membre des Instituts internationaux de physique et de chimie (Comité Solvay, 1972), et de la Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (1972).

Il faut évoquer la personnalité si attachante de Madame Henri Normant, trop tôt disparue, qui a été sa compagne précieuse dans les bons et les mauvais jours. Un de leurs cinq enfants a suivi les traces de son père et s'est fait comme on dit « un prénom », en chimie organométallique : notre confrère Jean Normant.

Toute la communauté des organiciens se joint à moi, je suis sûr, pour exprimer à Henri Normant notre reconnaissance pour l'œuvre accomplie, l'exemple qu'il a laissé, et pour avoir incarné la renaissance après les années noires. C'était une très belle figure d'homme de science.

Marc Julia
Président de la SFC

Jean-Claude Martin nous a quittés

Jean-Claude Martin, directeur de recherche au CNRS, est brusquement décédé le 11 décembre 1997 à l'âge de 57 ans. Ingénieur ESCIL et nommé stagiaire de recherche au CNRS en 1962, il a préparé sa thèse au Laboratoire de chimie organique 2 de Lyon et soutenu son doctorat en 1966. Il effectue ensuite un séjour postdoctoral en 1968-1969 au Canada, dans le laboratoire du professeur R.U. Lemieux où il travaille sur les effets stéréo-électroniques des sucres et, en particulier, sur l'effet anomère. Après son retour en France, il réintègre l'URA 463 « Composés polyoxygénés » et poursuit ses recherches dans divers domaines de la glycochimie. Mais, dès 1976, il est mis à la disposition de l'ESCIL pour assurer les relations extérieures et le placement des élèves ingénieurs. Au contact de la région Rhône-Alpes, il est ensuite détaché du CNRS et nommé, au bout de quelques années, directeur de l'économie, de l'enseignement supérieur et de la recherche du Conseil régional Rhône-Alpes. Très à l'aise dans le milieu universitaire et économique, il développe de façon très importante l'intérêt de la région pour la recherche et s'investit totalement dans des opérations de

grande envergure régionale (schéma Université 2000, ENS de Lyon, CPE, programmes Tempra, etc.) où il apporte toute son énergie, sa diplomatie et son art de convaincre.

L'ayant personnellement apprécié comme chercheur et comme animateur de la recherche, Jean-Claude Martin a su donner, dans la gestion de ses nombreuses activités, tout son sens de l'organisation et de la planification. D'une totale disponibilité et au service de tous ceux qui le sollicitaient, il était très apprécié par les élus, les décideurs et les chercheurs rhône-alpins. Sa disparition brutale crée une réelle émotion auprès de tous ceux qui l'ont connu et reconnu dans sa vie professionnelle. Ayant suivi Jean-Claude Martin toutes ces dernières décennies dans son ascension sociale et dans ses activités administratives et scientifiques, j'ai pu apprécier également son dynamisme, son esprit d'ouverture et sa grande fidélité. Je lui rends hommage avec beaucoup d'amertume et je me permets de transmettre à Annie, son épouse, et à sa fille Céline, mes condoléances les plus sincères.

Gérard Descotes

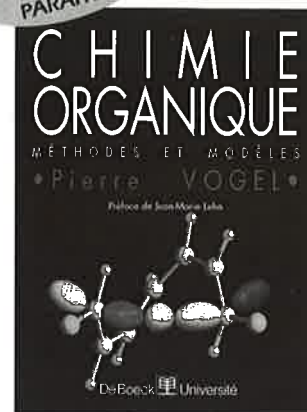
Professeur à l'Université Lyon 1
Directeur de l'UMR 143



De Boeck
Université

171, rue de Rennes • F-75006 PARIS
39, rue des Minimes • B-1000 BRUXELLES

VIENT DE
PARAITRE



499 F

**Une réflexion approfondie
sur la réactivité organique
et organométallique**

Parution
avril 98



320 F

**Enfin un ouvrage
sur la spectrométrie
en français**

En vente chez votre libraire habituel ou,
à défaut, chez notre distributeur :

ÉDITION BELIN
8, rue Férou • 75278 Paris Cedex 06
Tél. (0)1 46 34 21 42 • Fax (0)1 43 25 18 29

La **Société Française de Chimie** constitue un centre privilégié de rencontres entre les différentes composantes de la communauté des chimistes, grâce à ses publications et à ses structures d'animation scientifique : divisions spécialisées, sections régionales, clubs de jeunes sociétaires, groupes thématiques. Elle regroupe des chimistes venant de tous les secteurs de cette discipline : enseignement, recherche, industrie.

Son action s'exerce en particulier par :

- L'organisation de colloques, journées d'étude, symposiums et congrès scientifiques.
- Un bulletin mensuel de liaison entre les membres : *L'Actualité Chimique*, qui rassemble des articles scientifiques, des informations sur le monde de la chimie et des nouvelles sur les activités de la SFC.
- Des collaborations permanentes avec des sociétés sœurs, nationales ou internationales, dont les objectifs sont analogues aux siens. Ceci permet aux membres de la SFC de bénéficier d'avantages équivalents à ceux accordés aux adhérents des sociétés européennes.

Activités scientifiques

La Société Française de chimie est organisée :

• **En Divisions à vocation scientifique :** Catalyse, Chimie analytique, Chimie de coordination, Chimie organique, Chimie physique, Chimie du solide, Matériaux polymères et élastomères.

Par ailleurs, l'ensemble des divisions de la société a constitué une commission interdivisions Enseignement, qui permet de mettre en commun des initiatives et de proposer des actions dans ce domaine.

• **En Sections régionales et Clubs de jeunes sociétaires**

Les sections représentent l'Association au niveau régional. Les clubs de jeunes sociétaires, rattachés aux sections régionales, regroupent des étudiants de l'enseignement supérieur (écoles de chimie, facultés des sciences, instituts de chimie), des jeunes chercheurs et des jeunes professionnels.

• **En Groupes thématiques**

Ceux-ci organisent des réunions dans des domaines plus spécialisés et souvent interdisciplinaires qui intéressent plusieurs divisions.

Communication Internet

La SFC s'est dotée d'un serveur Internet à la disposition de l'ensemble de la communauté des chimistes.

Ce serveur comporte actuellement les rubriques suivantes : Informations sur les activités de la SFC, Informations sur les manifestations scientifiques, Bourse de l'emploi.

D'autres rubriques sont en cours de réalisation, par exemple : une synthèse par domaines d'intérêt des actions de formation continue dispensées dans le secteur de la chimie.

L'adresse de ce serveur est : <http://www.sfc.fr>

Bourse de l'emploi

La SFC a créé une bourse de l'emploi ouverte à tous ses adhérents. Un formulaire détaillé est disponible au siège et dans les sections régionales. Ce formulaire, une fois rempli par le demandeur d'emploi, est diffusé sur Internet. De plus, des entretiens personnalisés sont effectués, sur demande, par notre délégué à l'emploi pour la région parisienne. Un même service est disponible en province.

Publications

• La SFC a pris une participation dans :

- *Chemistry, a European Journal*

• La SFC s'est associée, au niveau européen, avec les sociétés sœurs allemande, belges, hollandaise et italienne pour éditer :

- *European Journal of Inorganic Chemistry* (EurJIC)

- *European Journal of Organic Chemistry* (EurJOC)

qui se substituent à partir du 1er janvier 1998 au Bulletin de la Société Chimique de France.

- *Journal of Chemical Research*

(coédité depuis 20 ans avec les sociétés allemande et britannique).

• La SFC édite également les revues suivantes, en cours d'eupéanisation :

- *Analysis* en association avec la Société de Chimie Industrielle (SCI) et la Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh)

- *Le Journal de Chimie Physique*

Ces revues sont largement ouvertes sur la communauté internationale.

Les membres de la SFC bénéficient de réductions considérables (de plusieurs fois supérieures à la cotisation) sur les tarifs d'abonnement à ces revues, ainsi que de tarifs préférentiels sur les revues *Pour la science* et *Angewandte Chemie*.

**SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE, 250, RUE SAINT-JACQUES
75005 PARIS**

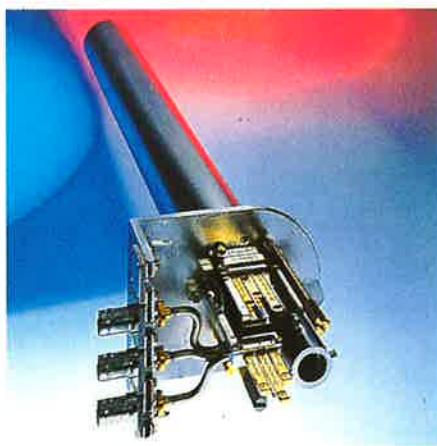
Tél. : 01.40.46.71.60. Fax : 01.40.46.71.61. E-mail : sfc@sfc.fr

Site Internet : <http://www.sfc.fr>

Devancer pour avancer



Une gamme complète de produits hautement intégrés dans le domaine de la chimie et de la physico-chimie



Le savoir-faire technique du Groupe BRUKER

et en particulier de BRUKER FRANCE permet de proposer une gamme complète de produits hautement intégrés, couvrant toutes les gammes de l'Analyse dans le domaine de la chimie et de la physico-chimie, entre autres :

- La spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire en phase liquide et solide
- La spectroscopie de Résonance Magnétique Nucléaire d'imagerie et de Micro-imagerie
- La spectroscopie de Résonance Paramagnétique Electronique.
- La spectroscopie Infra-Rouge et la spectroscopie Raman par transformée de Fourier
- La spectrométrie de masse (TOF)
- Les analyseurs mobiles de pollution
- Les analyseurs de qualité en industrie agro et alimentaire.
- Les alimentations ultra-stabilisées en tension courant
- Les cages de Faraday



Fidèle à la philosophie générale du Groupe, avec près de 50 spectromètres RMN d'applications/développement installés dans le monde entier, BRUKER France a également développé des laboratoires d'applications importants. Ces laboratoires d'applications forment, avec l'Université Louis Pasteur à Strasbourg, l'Unité Mixte de Recherche 50, associée au CNRS.

BRUKER

*ici 19/3 ?
Bebus 25/24/5 ?*

34, rue de l'Industrie
67166 Wissembourg CEDEX France
Tél.: 33 3 88 73 68 00 • Télex: 870 639 • Fax: 33 3 88 73 68 79