

# L'actualité chimique

Mensuel - Juillet 2007 - N° 310

## 1857-2007 : la Société Française de Chimie fête ses 150 ans

$9 \text{ F}$   
18.998  
fluor

$13 \text{ Al}$  +  $4 \text{ He}$  =  $30 \text{ P}$  +  $1 \text{ n}$

$\text{SO}_2 + 1/2 \text{ O}_2 \rightleftharpoons \text{SO}_3$

$\text{CO} + 3 \text{ H}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$

$\text{M} = \text{CH}_2$   
+  
 $\text{H}_2\text{C} = \text{CH}_2$

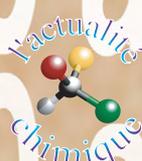
$\text{RMgX}$

$84 \text{ Po}$   
(209)  
polonium

$88 \text{ Ra}$   
(226)  
radium



**Inserm**  
Institut national  
de la santé et de la recherche médicale



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



Édité par la Société Française de Chimie

# « Made in Europe for the World »

## Oui, mais avec vos contributions !

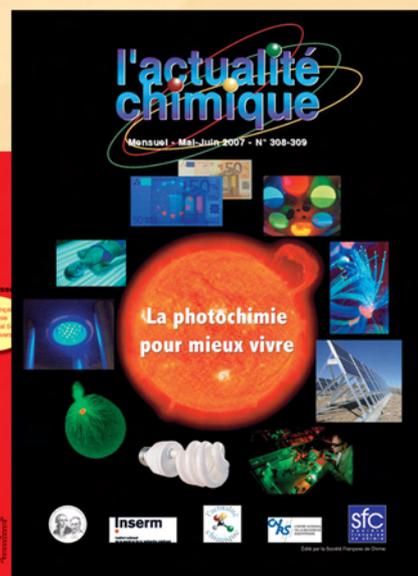
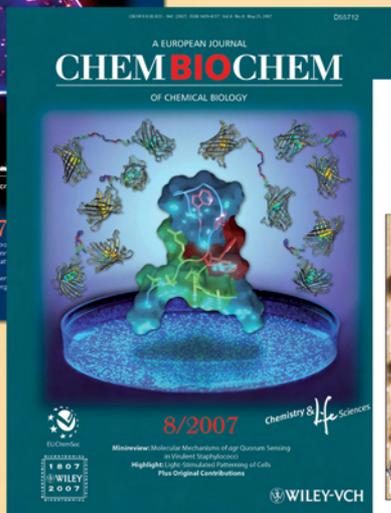
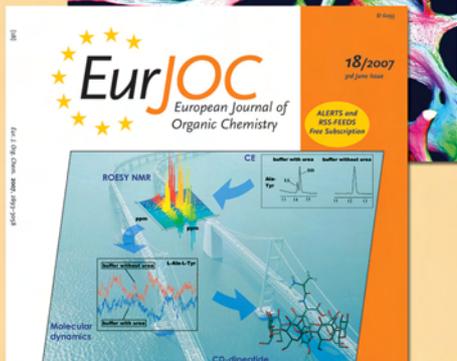
Les journaux de l'**EUChemSoc** (Editorial Union of Chemical Societies), qui appartiennent à quatorze sociétés de chimie européennes (dont la SFC) :

- **Chemistry, a European Journal** (facteur d'impact 2005 : 4,907)
- **European Journal of Organic Chemistry** (2,548)
- **European Journal of Inorganic Chemistry** (2,514)
- **ChemBioChem** (3,940)
- **ChemPhysChem** (3,607)
- **ChemMedChem** (lancé en 2005)

ainsi que **Analytical and Bioanalytical Chemistry** (2,695), qui a succédé à *Analusis*

sans oublier **L'Actualité Chimique**, un magazine réalisé par vous et pour vous !

## n'attendent que vos meilleurs articles, revues et communications, pour montrer la vitalité de la chimie française.



#### RÉDACTION

**Rédacteur en chef :** Paul Rigny

**Rédactrice en chef adjointe :**

Séverine Bléneau-Serdel

**Secrétaire de rédaction :** Roselyne Messal

**Webmestre :** Jérémie Meyer de Ville

<http://www.etage-13.com>

#### Comité des rubriques :

Recherche et développement : Paul Rigny, Industrie : Gilbert Schorsch, Enseignement et formation : Michel Boyer et Katia Fajerweg, TP : Xavier Bataille et Nicolas Cheymol, Histoire de la chimie : Marika Blondel-Mégrelis, Comment ça marche ? : Véronique Nardello-Rataj, A propos de : Bernard Sillion, En bref : Séverine Bléneau-Serdel, Actualités de la SFC et Agenda : Roselyne Messal, Livres et médias : Yves Dubosc

#### Comité de rédaction :

P. Arpino, X. Bataille, H. Belhadj-Tahar, J. Belloni, M. Blanchard-Desce, E. Bordes-Richard, D. Bouveresse, J. Buendia, N. Capron-Joubert, C. Cartier dit Moulin, J.-C. Daniel, R.-E. Eastes, K. Fajerweg, E. Florentin, J.-P. Foulon, J. Fournier, J.-F. Lambert, A. Marquet, H. Chalopin-Méjean, N. Moreau, A. Ouali, P. Pichat, A. Picot, M. Poite, E. Soulié, H. This, H. Toulhoat, M. Verdaguer, P. Vermeulin, C. Viel, D. Vivien, D. von Euw

**Partenariat :** CNRS, Fondation Internationale de la Maison de la Chimie, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm)

*L'Actualité Chimique* bénéficie du soutien du Ministère de la Culture et de la Communication (Délégation générale à la langue française et aux langues de France)

Publication analysée ou indexée par :

Chemical Abstracts, base de données PASCAL

#### ÉDITION

Société Française de Chimie

250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

Tél. : 01 40 46 71 64 - Fax : 01 40 46 71 61

Courriel : [redaction@lactualitechimique.org](mailto:redaction@lactualitechimique.org)

<http://www.lactualitechimique.org>

**Directeur de la publication :** Armand Lattes,

président de la Société Française de Chimie

**Imprimerie :** SPEI, BP 26, 54425 Pulnoy

**Maquette articles :** e-Press, Casablanca

Technopark, Route de Nouaceur, Casablanca (Maroc)

**Maquette hors articles :** Mag Design

<http://www.magdesign.info>

ISSN 0151 9093

#### PUBLICITÉ

EDIF, Le Clemenceau, 102 avenue Georges

Clemenceau, 94700 Maisons-Alfort

Tél. : 01 43 53 64 00 - Fax : 01 43 53 48 00

[edition@edif.fr](mailto:edition@edif.fr), <http://www.edif.fr>

Index des annonceurs : p. 1

© SFC 2007 - Tous droits réservés

Dépôt légal : juillet 2007

Toute représentation ou reproduction, intégrale ou partielle, fait sans le consentement de l'auteur, ou des ayants droits, ou ayant cause, est illicite (loi du 11 mars 1957, alinéa 1er 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.

#### TARIFS 2007 - L'ACTUALITÉ CHIMIQUE

(11 numéros par an)

**Particuliers :** France 95 € - Étranger 100 €

**Institutions :** France 195 € - Étranger 205 €

**Lycées :** France 110 € - Étranger 130 €

**Membres de la SFC (hors membres associés) :**

abonnement inclus dans la cotisation

**Abonnement :** SFC, Nadine Colliot

250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

Tél. : 01 40 46 71 66 - Fax : 01 40 46 71 61

[adhesion@sfc.fr](mailto:adhesion@sfc.fr)

Prix de vente au numéro : 20 € (port inclus)

## Le dossier

I à XX

Esquisse pour une histoire de la Société chimique, 1857-2007, par **M. Blondel-Mégrelis**

## Éditorial

2

Pierre-Gilles de Gennes n'est plus, par **P. Rigny**

2

## Hommage

3

Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007) : le départ d'un Grand esprit, par **J. Prost** et **J.-M. Lehn**

3

## 150 ans en chimie

4

1857-2007 : 150 ans d'évolution de la chimie, par **L. Lestel** et **I. Tkatchenko**

4

## A propos de

8

Light, additifs et chimie : pourquoi tant de haine ?, par **P. Aldebert**

8

## Recherche et développement

12

Mise sur orbite de « l'Europe de la connaissance ».

« To-day is the future » (Bruxelles, 7 mars 2007), par **G. Schorsch**

12

Microtechnologies pour la libération contrôlée des molécules fragiles, par **E. Fattal**, **A. Bochot** et **N. Tsapis**

16

Les polymères utilisés dans le domaine des biomatériaux :

de la fonctionnalisation de surface à l'ingénierie tissulaire,

par **Y. Arntz**, **V. Ball** (*coordinateur*), **N. Benkirane-Jessel**, **F. Boulmedais**,

**C. Debry**, **M. Dimitrova**, **R. Elkaim**, **Y. Haikel**, **J. Hemmerlé**, **P. Lavalley**,

**F. Meyer**, **S. Muller**, **J. Ogier**, **P. Schaaf**, **B. Senger**, **V. Stanic**,

**H. Tenenbaum**, **D. Vautier**, **C. Vodouhê**, **D. Volodkin**, **J.-C. Voegel**

et **S. Werner**

20

## Industrie

32

Lancinant « développement durable » !, par **P. Rigny**

32

## En bref

35

## Livres et médias

38

## Agenda

42

## Actualités de la SFC

44

### Index des annonceurs

BASF

4<sup>e</sup> de couv.

EDIF

p. 34

EDP Sciences

p. 15

Eurisotop : Johnson Matthey

3<sup>e</sup> de couv.

Nanomeps

p. 37



#### Couverture :

Quelques figures illustres de la chimie française ayant marqué l'histoire des sciences depuis la création de la Société en 1857.

De gauche à droite et de haut en bas : **J.A. Le Bel**, **J.-M. Lehn**, **H. Moissan**, **P.-G. de Gennes** (portrait : ©ESPCI-Centre de Ressources Historiques/A. BEGOU, Mediapress 1991 ; cristal liquide : ©CNRS Photothèque/POULIN Philippe), **H. Le Chatelier**, **M. Berthelot**, **F. et I. Joliot-Curie** (©ACJC-Fonds Curie et Joliot-Curie), **C. Friedel**, **V. Grignard**, **P. Sabatier**, **Y. Chauvin**, **J. Rouxel**, **P. Potier** (portrait : ©Fondation de la Maison de la Chimie ; pervenche : ©CNRS Photothèque/CONREUR Roland), **M. Curie** (©ACJC-Fonds Curie et Joliot-Curie) et **L. Pasteur**.

Composition graphique réalisée par Mag Design ([www.magdesign.info](http://www.magdesign.info)).



## Pierre-Gilles de Gennes n'est plus

**P**ierre-Gilles de Gennes (PGG comme il était respectueusement et affectueusement appelé) enseignait la mécanique quantique pendant l'année 63/64 au DEA de physique du solide d'Orsay. La communication entre professeur et élèves n'était pas de l'espèce habituelle. La matière enseignée, certes, n'y était pas pour rien : la mécanique quantique, en général peu et mal enseignée à l'époque, avait du prestige. Elle frappait par son côté paradoxal – intégrant l'indétermination dans ses bases, mais fournissant de pleines capacités de prédictions, utilisant par ailleurs un formalisme mathématique élégant mais déconcertant et peu dévoilé dans les enseignements antérieurs. Mais le style de PGG marquait encore bien davantage ce cours : c'était l'entrée dans un domaine – la recherche moderne – qui promettait émerveillements et satisfactions. Il faudrait avoir la plume de Marguerite Duras pour faire passer l'atmosphère d'émotion qui régnait dans la salle. Peut-être plus que le contenu de ses phrases, pourtant d'une pédagogie exceptionnelle, PGG faisait passer une attitude affective, se mettant en scène comme s'il découvrait avec nous ce qu'il écrivait sur le tableau noir (pas de PowerPoint à l'époque... l'orateur se livrait davantage), s'émerveillant vraiment, à chaque fois, du résultat : ce qui passait, c'était un amour profond de la recherche, sa dévotion totale à cette activité – de curiosité, de puissance de l'esprit – et son désir de les faire partager, désir souvent couronné de succès tant les étudiants étaient transformés. Cette même fascination a prévalu tout au long de sa vie auprès de ses collaborateurs dans les divers groupes de recherche qu'il a constitués et même auprès de ceux du deuxième cercle, ceux qu'il influençait de plus loin. Le mot « charisme » vient naturellement à l'esprit, mais il masquerait que cette personnalité semblait toujours habitée d'un certain doute, toujours en quête d'aller encore plus loin.

Sur son œuvre scientifique, pourtant si parfaite, des reproches ou des regrets ont été formulés – à ma très grande surprise – mais qui finalement pointent certaines contradictions. Il a lui-même regretté une « certaine naïveté » dans la conduite de ses recherches et de celles de son « Groupe des cristaux liquides d'Orsay », vis-à-vis de la valorisation industrielle. Avoir ouvert la voie de la compréhension des cristaux liquides et constater trente ans plus tard que les applications sont japonaises, c'est évidemment moyen. Contradictions : volonté d'assurer la liberté de l'activité

intellectuelle, condition de sa fécondité d'une part, ardente obligation de donner une utilité sociale (en l'occurrence d'abord « économique ») à la science d'autre part. Autre reproche : à force de s'intéresser à beaucoup de domaines, PGG aurait pêché par « touche à tout ». Quel reproche étonnant ! C'est pourtant surtout la cohérence de son approche qui frappe : détenteur d'un outil surpuissant (sa maîtrise de la physique), il voulait l'appliquer au monde qui nous entoure, à ces objets ou phénomènes familiers mais muets, objets de sa curiosité sans limites, pour les animer, les faire vivre.

L'annonce de sa disparition laissait atterré et incrédule. Avoir connu son enseignement, son rayonnement est une chance qui ne s'effacera pas.

Les relations entre PGG et la chimie ont été profondes. Physicien, selon tous les critères possibles, PGG se disait « physico-chimiste », et ce n'était pas coquetterie. Son initiative de recruter deux chimistes dans son groupe d'Orsay a agi comme un électrochoc dans le (alors) petit monde de chercheurs qui l'entourait. Tellement doué pour modéliser simplement les systèmes naturels (une molécule remplacée par un vecteur, une loi d'interaction en fonction simple... et les propriétés du milieu décryptées), il savait que la richesse des molécules conduirait à de nouvelles situations : agir par l'esprit, mais à la fois en créant des concepts et des objets. Plus ou moins directement, il a développé une nouvelle interface entre la physique et la chimie, comme l'a illustré son action sur les laboratoires de l'École de Physique et Chimie de Paris ou au laboratoire « Unité physico-chimie Curie » (PCC) de l'Institut Curie. Les nombreux laboratoires, en particulier en France, aujourd'hui actifs dans l'étude des « systèmes moléculaires organisés », sont un écho de son rayonnement scientifique ; même la chimie de synthèse a pu être portée par ce mouvement. *L'Actualité Chimique* reviendra ultérieurement sur cet aspect majeur peut-être mal connu de l'œuvre scientifique de Pierre-Gilles de Gennes : ce qu'il a tiré de la chimie, ce qu'il lui a donné. En cette année d'anniversaire de la Société Française de Chimie, c'est aussi l'occasion de rappeler ce que, fille de l'ancienne « Société de Chimie Physique », elle doit à l'ancien président de cette dernière, Pierre-Gilles de Gennes.

**Paul Rigny**  
Rédacteur en chef

## Pierre-Gilles de Gennes (1932-2007)

### Le départ d'un Grand esprit

Pierre-Gilles de Gennes aurait pu choisir n'importe quelle carrière en littérature, philosophie, expression artistique, politique, direction d'entreprise, etc. Dans le magnifique discours qu'il a donné à l'occasion du transfert de Pierre et Marie Curie au Panthéon, les raisons de son choix en faveur des sciences étaient claires : la découverte, ignorée à son époque, par Pierre et Jacques Curie de la piézoélectricité a eu des conséquences incroyablement importantes sur notre vie quotidienne et sur notre compréhension du monde. Les champs ouverts s'étendent en effet de la physique nucléaire au biomédical. Très jeune, Pierre-Gilles a fait sciemment ce choix d'influencer durablement le monde qui l'entourait. Sa contribution au savoir de l'humanité et à son utilisation est immense. Il a effectué des contributions pionnières dans une vingtaine de domaines différents s'étendant de la physique « dure » à la biologie ! Cela s'est aussi traduit par son soutien marqué à la chimie, aux sciences moléculaires, à la science de la « matière molle ». Une diversité unique dans la science contemporaine.



© P. Aventurier/GAMMA

Ses travaux sur la supraconductivité de surface auraient pu lui valoir le prix Nobel de physique, mais c'est essentiellement pour ses contributions de génie sur les cristaux liquides et les polymères que ce prix lui a été décerné. Nous pourrions tout aussi bien citer son impact sur la science des colloïdes, des milieux désordonnés, des granulaires, des superfluides, des supersolides, de l'hydrodynamique physique, du frottement solide, de l'adhésion, et même de la synthèse asymétrique et plus récemment de la biologie ! Son activité n'a jamais baissé : l'année dernière, il a publié des articles majeurs dans cinq domaines différents : le mouvement de dislocations en régime quantique, la friction solide, le stockage de l'information olfactive dans le cerveau, la croissance axonale dans l'hippocampe, la dynamique cellulaire. Son influence dans la communauté scientifique mondiale était colossale : une simple phrase de Pierre-Gilles pouvait susciter des années de travail à des dizaines d'équipes du monde entier. Sa culture scientifique dépassait largement ses domaines de publications pourtant immenses : il pouvait parler avec précision des naines blanches ou des pulsars, de la dérive des icebergs ou des anyons. Discuter avec lui était un privilège inoubliable.

Pierre-Gilles était aussi un pédagogue de talent. Ses cours au Collège de France étaient comparables à ses esquisses : en quelques grands traits dégagant l'essentiel du problème, il rendait accessibles à toute une communauté les notions les plus subtiles. Un des cas les plus frappants est l'introduction de la notion de « blob » dans la science des polymères : il permettait à tous de comprendre et d'utiliser des notions très complexes issues des techniques de renormalisation. Il a eu aussi une profonde influence sur l'enseignement à l'ESPCI. C'est sous son impulsion que les tutorats y ont été introduits, longtemps avant les autres écoles françaises, y compris les écoles de commerce. Il a aussi introduit la biologie, convaincu à juste titre qu'un ingénieur du XXI<sup>e</sup> siècle ne peut ignorer cette composante de la science en pleine explosion. Là encore, il avait vu juste. S'il était clair que la bio-ingénierie avait besoin d'ingénieurs polyvalents, il était beaucoup moins évident que la récupération assistée du pétrole et le vieillissement du béton pourraient aussi impliquer la biologie ! En outre, il accordait beaucoup d'importance à l'expérience, d'où les longues heures que passent nos élèves dans les laboratoires, ce qui leur donne une grande solidité scientifique. Son action pédagogique ne se limitait pas au Collège de France et à l'ESPCI. Il répondait toujours présent aux sollicitations du Palais de la découverte ; il est allé avec un grand plaisir au contact des élèves dans les lycées où il a éveillé de très nombreuses vocations. Enfin, il a créé, à l'ESPCI, une structure originale par laquelle le grand public, des élèves de primaire aux retraités, peuvent avoir accès à la science contemporaine.

Son activité aurait déjà été très impressionnante si elle n'avait couvert que ces aspects académiques. Pierre-Gilles avait de plus le souci de voir utilisés dans notre vie quotidienne les concepts qu'il avait développés. Cet intérêt s'est manifesté dans son implication forte dans les conseils scientifiques d'entreprises variées : il a ainsi été directeur scientifique pour la physico-chimie chez Rhône-Poulenc et a continué à conseiller Rhodia.

Enfin, c'est un homme d'une élégance rare que nous avons la tristesse de perdre aujourd'hui : élégance physique, élégance intellectuelle, élégance artistique, mais aussi élégance dans les relations personnelles. La communauté scientifique mondiale est orpheline. Notre affection va à sa famille et à ses proches.

**Jacques Prost et Jean-Marie Lehn**

*La Société Française de Chimie et la rédaction de L'Actualité Chimique  
s'associent à la peine de sa famille, de ses amis et collègues.*

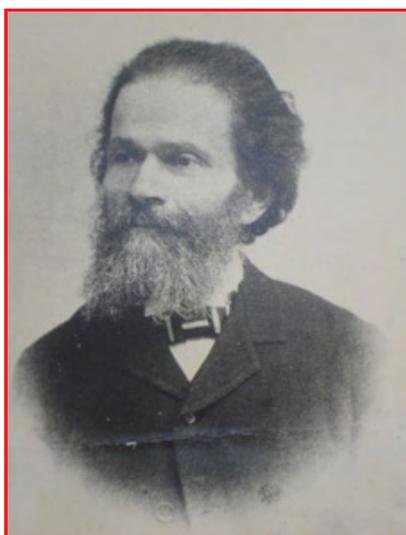
# 1857-2007 : 150 ans d'évolution de la chimie

Laurence Lestel et Igor Tkatchenko

<b>Résumé</b>	La Société Française de Chimie fête son cent cinquantième anniversaire. Cet article décrit l'évolution de la chimie pendant cette période, où s'épanouissent de nombreuses nouvelles branches de recherches, où se développent l'industrie chimique et des disciplines à la frontière de la chimie et de la physique, de la chimie et de la biologie, et où la chimie sut répondre au défi du développement durable.
<b>Mots-clés</b>	<b>Histoire de la chimie, XIX-XX<sup>e</sup> siècles, Société Française de Chimie, synthèse, structure, analyse, spectroscopies, industrie chimique.</b>
<b>Abstract</b>	<b>1857-2007: 150 years of chemistry evolution</b> The French Chemical Society celebrates this year 150 years of activities. This paper recalls several aspects of the chemistry evolution during this period that witnessed the flourishing of its numerous domains, the rise of chemical industry, its increasing role at the borders with physics, biology and its essential contribution to sustainable development.
<b>Keywords</b>	<b>History of chemistry, 19-20<sup>th</sup> centuries, Société Française de Chimie, synthesis, structures, analysis, spectroscopies, chemical industry.</b>

En 1857 est créée une petite société de chimistes se réunissant à Paris. Prenant acte de sa stature nationale, elle se transforme en Société Chimique de France en 1906, puis, après avoir fusionné avec la Société de Chimie Physique, devient la Société Française de Chimie en 1984. Elle fête son cent cinquantième anniversaire cette année. À côté de ses consœurs créées en 1841 (the Chemical Society), 1867 (die Deutsche Chemische Gesellschaft), 1868 (la Société chimique russe), 1876 (the American Chemical Society) ou 1878 (la Société chimique du Japon), cette société a vu évoluer le monde de la chimie et des chimistes, de leurs connaissances et de leurs buts. Peut-on en quelques mots saisir l'ampleur de ces changements ?

En 1857, la synthèse organique est encore balbutiante. Berthelot a obtenu la formation de corps gras par la combinaison de la glycérine sur des acides en 1854, synthétise des composés organiques à partir de dérivés inorganiques (carbone et hydrogène) dans son célèbre « œuf électrique », finissant de mettre à mal le vitalisme. Son livre, *Chimie organique fondée sur la synthèse* (1860), eut un succès considérable et pose Berthelot comme le fondateur de cette discipline. Au même moment, Perkin dépose en Angleterre son brevet « Dying fabrics » (1856), qui décrit l'obtention de colorants à partir de résidus de distillation de la houille, ouvrant la voie de l'industrie de la matière colorante de synthèse. Après avoir déposé 152 brevets pour couvrir la mise au point du procédé industriel, BASF commence la production d'indigo de synthèse en 1897. Dans ces années cruciales se sont mises en place les structures qui permettront le développement de l'industrie de la chimie organique : les entreprises (BASF, Hoechst, Bayer, Ciba, Geigy, British Alizarine, les Usines du Rhône...); les laboratoires de recherche industriels,



**Jacques Arnaudon (1829-1893),** cofondateur et premier président de la Société Chimique de France (photo aimablement fournie par Josée Brienne-Jacques).

associés à la recherche académique ; la formation d'ingénieurs chimistes ; le génie chimique, terme introduit en Angleterre en 1887 par Davis, qui prend ensuite son essor au MIT.

Après avoir utilisé des réactions « simples » comme la nitration, la réduction ou l'oxydation de molécules organiques, les chimistes commencent à utiliser des réactions spécifiques à la chimie organique : préparation d'iodures d'alkylzinc par Frankland pour la synthèse d'hydrocarbures, synthèse de Williamson pour la préparation d'éthers, usage du sodium pour la condensation d'halogénures d'alkyle ou d'aryle par Wurtz, puis par Fittig. En 1877, Friedel et Crafts utilisent le chlorure d'aluminium anhydre comme catalyseur pour la condensation d'hydrocarbures aromatiques et d'halogénures d'alkyle. La réaction de Friedel et Crafts a permis la préparation de parfums, de produits

pharmaceutiques, de matières colorantes, puis de monomères. Modifiée afin d'être plus éco-compatible, elle est encore



aujourd'hui indispensable à l'industrie chimique. Quelques années plus tard, la réaction de Grignard (1900), qui permet l'obtention d'une très grande variété de produits organiques par réaction du magnésium avec des iodures organiques, connaîtra un engouement unique dans l'histoire de la chimie. Parmi les réactions utiles au développement de la synthèse organique, il faut citer l'utilisation de catalyseurs pour l'hydrogénation des oléfines étudiée par Sabatier et Senderens. Ces progrès de la chimie organique s'accompagnent de la mise en place de sa nomenclature lors du congrès de Genève d'avril 1892, après deux années de travail par la commission de nomenclature parisienne dirigée par Friedel.

Commence alors une compétition entre naturel et artificiel, entre produits issus de la nature, l'imitant, la dépassant. Pour comprendre les produits naturels, le chimiste les décompose puis tente leur synthèse. L'apothéose est la synthèse totale de la vitamine B12, entreprise par Woodward et son équipe à Harvard, en collaboration avec Eschenmoser de Zurich. Plus de cent chercheurs, dont Lehn, y ont participé. Elle fut achevée en onze ans et annoncée à Delhi en 1972.

Pour pallier à l'insuffisance des ressources, le chimiste trouve de nouvelles voies de synthèse : le carbonate de soude par le procédé Solvay, l'ammoniac par hydrogénation de l'azote, les hydrocarbures et le méthanol à partir du charbon. Le jeu est infini. Il s'élargit encore avec la découverte du fluor par Moissan, des gaz rares par Ramsay, des radioéléments par les Curie.

Le chimiste crée également des entités totalement nouvelles. Parmi celles-ci, les macromolécules. La chimie des polymères, qui prend son envol dans les années 1920 avec Hermann Staudinger, a conduit la communauté scientifique à proposer la synthèse de longues chaînes dont les propriétés physico-chimiques ont longtemps intrigué et ont commencé à être comprises grâce au concept de matière molle de de Gennes.

La connaissance de l'organisation de la matière molle au travers de la large palette d'interactions faibles entre molécules, non plus atomes, permet de concevoir une grande variété de matériaux artificiels aux performances améliorées, voire « intelligents », imitant les propriétés uniques de certains matériaux naturels. Elle a également favorisé le développement du domaine des cristaux liquides, ingrédients inséparables de notre vie quotidienne.

En même temps, la conception de nouvelles stratégies de synthèse et leur

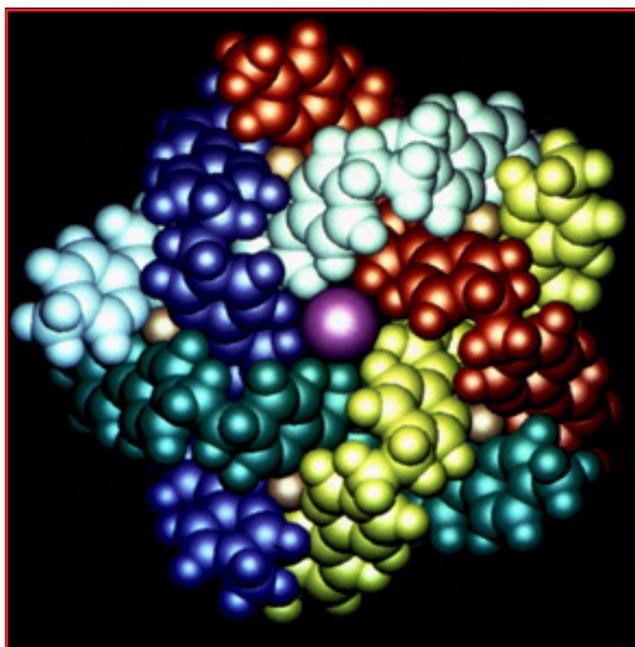
Courtesy of DuPont.



aboutissement industriel a conduit à des substituts des polymères naturels comme la soie (Nylon) et le caoutchouc (polychloroprène, polybutadiène, polyisoprène...). Plus près de nous, des matériaux nouveaux sont apparus avec l'obtention des polyesters et des polyoléfines au départ d'unités  $C_2-C_6$ . Ces développements démontrent à nouveau la continuité existant entre recherche fondamentale et procédés industriels : l'exemple le plus éclatant est certainement la découverte des catalyseurs Ziegler-Natta, qui ont grandement contribué à l'essor de la pétrochimie.

Le développement des communications terrestres (chemin de fer, ponts métalliques) et maritimes dès la seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, mais aussi de l'armement, a bénéficié des progrès de la métallurgie où se sont illustrés Bessemer, Thomas, Siemens et Martin pour l'obtention d'aciers à partir de la fonte, et Hall et Héroult pour l'électrolyse de l'alumine et le four à arc électrique. Cette vision scientifique de l'industrie est démontrée également par les nombreux travaux de Le Chatelier, professeur au Collège de France puis à la Sorbonne, tant pour la métallurgie que pour l'industrie des ciments. Bien que remontant au néolithique, la céramique est alors ré-examinée d'une manière beaucoup plus rationnelle conduisant à une diversification des propriétés et des applications, mais aussi à une meilleure compréhension de ces matériaux où les défauts sont à la fois inconvenients majeurs et sources de comportements originaux. La chimie du solide apparaît ainsi comme une discipline à part entière avec le congrès de Bordeaux, tenu en 1964. De chimie « dure », « mélanger et cuire », elle devient chimie douce grâce aux travaux notamment de Rouxel et Livage qui abordent, l'un le traitement chimique de matériaux préformés, l'autre l'élaboration de structures par des étapes contrôlées à partir de composés en solution (sol-gel). Substances naturelles et produits de synthèse se retrouvent encore une fois intrinsèquement liés lors de la répllication de structures comme les architectures minérales des diatomées ! Une approche complémentaire concerne les matériaux microporeux, sources de catalyseurs « à sélectivité de forme », de membranes, voire dans ses versions les plus élaborées « MOFs », de pièges et réservoirs d'espèces moléculaires.

L'exploration de nouvelles sources de produits naturels qui peuvent avoir des structures étonnantes, au nombre impressionnant de centres chiraux, montre la diversité des structures moléculaires, macromoléculaires et inorganiques. Un Alsacien, Werner, en proposant des arrangements spatiaux d'entités moléculaires autour d'un cation métallique pour décrire les complexes de coordination, a jeté les fondations de l'organisation à une échelle supramoléculaire. Un autre Alsacien, Lehn, a développé ce concept qui conduit, d'une manière raisonnée, de la chimie supramoléculaire à l'auto-organisation, puis à l'auto-assemblage d'entités de plus en plus complexes. La nature, en s'appuyant sur l'immense variété des modes de liaisons et d'interactions ion-ion, ion-molécule, molécule-molécule, a exploité cette notion qui mène à la complexité et finalement au vivant, capable d'auto-répllication. Cette démarche suggère que si ces interactions peuvent se défaire comme se faire, une réelle *chimie*



Entrelacs moléculaires (image aimablement fournie par Jean-Marie Lehn).

*dynamique constitutive* est à l'œuvre, fournissant des structures originales capables d'auto-réparation, une autre propriété liée au vivant.

Baucoup de ces développements n'auraient pas eu lieu si la structure des molécules organiques n'avait pas été comprise. C'est en 1858 que Kekulé propose de décrire les molécules organiques par leurs enchaînements carbonés, le carbone étant tétravalent. La même année, Couper, qui travaille chez Wurtz à Paris, présente devant la jeune Société Chimique de Paris ses idées sur les « forces d'attraction » qui existent entre les différents éléments d'une molécule organique, en fait les liaisons entre atomes. Les formules de Couper sont reprises par Meyer en Allemagne, par Boutlerov en France, qui propose le terme de « structure chimique » en 1864 « pour désigner l'enchaînement chimique ou la façon dont les atomes sont reliés entre eux dans un corps composé. » La même année, apparaît l'écriture chimique moderne, grâce à Brown qui représente les atomes par leurs symboles et chaque liaison par un trait. En 1874 est proposée la représentation tétraédrique du carbone, par van't Hoff et Le Bel, qui ouvre la voie des représentations tridimensionnelles des molécules organiques. On comprend ainsi pourquoi des corps de formules apparemment identiques sont en fait dissymétriques et dévient différemment la lumière. Si « seuls les produits nés sous l'influence de la vie sont dissymétriques, [...] tous les corps préparés dans nos laboratoires sont symétriques », nous dit Pasteur. Cependant, en 1894, Fischer, qui étudie la stéréospécificité des enzymes, déduit de ses observations la relation structurale « clé-serrure » entre un sucre et l'enzyme le transformant. Prelog, Kagan et bien d'autres sauront plus tard utiliser tous les raffinements de la synthèse asymétrique pour synthétiser des composés optiquement actifs.

Chacun d'entre nous se fait une représentation claire de l'atome chimique. Nous en avons oublié la très forte opposition à l'atome en France au XIX<sup>e</sup> siècle. À cette époque, l'atome était un concept théorique introduit par

Dalton au début du XIX<sup>e</sup> et adopté par l'ensemble de la communauté chimique au congrès de Karlsruhe de septembre 1860. En 1877, l'Académie des sciences fut le témoin d'une violente dispute entre Berthelot, opposé à l'atome, et Wurtz, défenseur de l'atomisme. Wurtz et ses nombreux élèves firent de la Société Chimique de Paris et de son *Bulletin* un véritable « camp retranché de l'atomisme » en France, ce qui leur permit petit à petit de convertir les chimistes français. Puis Bohr applique la théorie quantique au modèle de l'atome planétaire proposé par Rutherford en 1911. Pour décrire la liaison chimique, Lewis et Kossel développent en 1916 la règle de l'octet, basée sur le nombre d'électrons des couches externes. Hückel en Allemagne et Mulliken aux États-Unis proposent des interprétations mathématiques de la liaison chimique, à l'aide des orbitales moléculaires. C'est cependant Pauling qui sera le porteur de cette nouvelle approche de la liaison chimique, en introduisant l'hybridation des orbitales du carbone dans un article de 1931 et en publiant son fameux livre *The nature of the chemical bond* en 1939. Si cette période représente l'âge d'or de la liaison covalente, d'autres types d'interactions sont cependant déjà prises en compte, comme les liaisons datives introduites par Werner, les interactions de Lewis ou les liaisons faibles de type van der Waals que l'on retrouve dans la matière molle. La mise en évidence de la liaison hydrogène, illustrée par les travaux de Pimentel, a puissamment contribué à comprendre les interactions mises en jeu dans les systèmes biologiques : rappelons que la structure de l'ADN est gouvernée par les liaisons hydrogène que l'on retrouve également en chimie supramoléculaire. Parallèlement à cette diversité des modes de liaison, l'introduction de nouveaux concepts, le perfectionnement des moyens mathématiques, puis informatiques a conduit à des outils descriptifs puis prédictifs de ces liaisons, des propriétés qui en découlent. Quarante ans après les bases jetées par Schrödinger, les travaux de Hartree et Fock, puis de Kohn et de Pople débouchent sur des outils comme la théorie de la fonctionnelle de densité (DFT), maintenant incontournables pour expliquer propriétés physiques et chimiques.

Parallèlement au développement de cette écriture qui fait de la chimie une science qui possède son propre alphabet, le désir de compréhension de la réactivité chimique était également très fort. À la suite des travaux fondateurs de Carnot puis de Kelvin et Clausius, les développements de la thermodynamique ont conduit à la naissance de la chimie physique, confluence de la chimie et de la physique, où s'illustrèrent Le Chatelier, Gibbs, Arrhenius, van't Hoff et Ostwald, qui étaient le plus souvent autant chimistes que physiciens : Ostwald n'a-t-il pas mis au point le procédé d'oxydation de l'ammoniac ? Il est intéressant de noter les différences subtiles qui sont apparues depuis entre « physical chemistry » et « chemical physics », surtout si l'on considère les champs d'études microscopiques et maintenant nanoscopiques, où une nouvelle réactivité chimique est en train de naître. La chimie physique, comme les sciences analytiques, irrigue toutes les disciplines de la chimie et les jeunes générations négligent souvent son importance : elle est par exemple derrière la synthèse organique avec la classification de ses réactions fondamentales établie par Ingold !

Ces grandes avancées en chimie n'auraient pas eu lieu si les chimistes n'avaient élargi la palette des instruments analytiques à leur disposition, repoussant petit à petit les limites



Système RMN très haut champ à 800 MHz (18 Tesla).  
© Bruker BioSpin.

de détection et les échelles temporelles. L'analyse centésimale introduite par Lavoisier et Priestley, Gay-Lussac et Thenard, Berzelius, Dumas, Liebig et Pregl, pour ne citer que les contributeurs les plus importants, a été complétée par l'analyse isotopique et la détermination des masses exactes des molécules par spectrométrie de masse à haute résolution. L'analyse séparative a connu des développements extraordinaires avec l'invention de la chromatographie par Tswett, un botaniste russe au nom prédestiné. Même si elle n'est vraiment utilisée par les chimistes que trente ans plus tard, pour la séparation de carotènes par Kuhn en 1931, la période après-guerre voit la généralisation de cette technique et de ses nombreuses alternatives récompensée par le prix Nobel de 1958 à Sanger. L'industrie pharmaceutique a su exploiter ces techniques séparatives pour obtenir des composés optiquement actifs à partir des mélanges racémiques.

Les spectroscopies d'émission et d'absorption s'appliquent maintenant à une gamme de fréquences extrêmement large fournissant des informations sur la structure et le mouvement des édifices chimiques. Ce développement va de pair avec une maîtrise grandissante des technologies nécessaires : Beckmann introduit ainsi en 1939 le premier spectrophotomètre UV-visible qui permet à Woodward d'accomplir sa thèse en un an (les premières règles de Woodward...). La spectrométrie de masse connaît un essor considérable, retombée du projet Manhattan. De même, l'accès aux radiofréquences de plus en plus élevées, l'utilisation de champs magnétiques de plus en plus intenses, ont profité aux techniques de résonance magnétique pour conduire par exemple aux spectromètres RMN à 1 GHz capables de résoudre la structure de protéines de plusieurs dizaines de milliers de dalton. Enfin, les ressources informatiques contemporaines ont permis de systématiser le recours aux transformations de Fourier en RMN, IR, RPE, spectrométrie de masse, etc.

La découverte des rayons X à l'aube du XX<sup>e</sup> siècle a également contribué à la connaissance de la structure cristalline de molécules de plus en plus complexes. De fait, le développement de sources intenses et focalisées (rayonnement synchrotron), de détecteurs bidimensionnels

(une retombée des travaux de Charpak...) et de puissants outils de calcul complètent heureusement les études spectroscopiques de molécules et macromolécules.

Être toujours insatisfait, le chimiste cherche également à voir directement l'objet de ses études. Le développement de lentilles magnétiques a permis de visualiser par microscopie électronique des objets nanométriques et sub-nanométriques. La microscopie électronique par balayage a été primordiale pour le développement des matériaux et l'étude de leur comportement. Une étape nouvelle a été franchie avec les travaux de Rohrer et Binnig sur le microscope à effet tunnel (STM, « scanning tunneling microscopy ») et ses dérivés qui permettent l'observation à l'échelle atomique et l'écriture à cette échelle... en employant des atomes. Enfin, en utilisant des paquets cohérents d'électrons engendrés au moyen d'impulsions laser femtoseconde, Zewail parvient à unir les domaines spatial et temporel, ce qui permet avec un microscope électronique à haute résolution d'analyser la structure dynamique de matériaux inorganiques, organiques et biologiques, sans dommage pour les objets.

L'essor prodigieux du laser a largement ouvert le champ des études incluant le temps comme quatrième dimension. L'exploration du « Femtoland » par Zewail, associée à la modélisation des processus mis en jeu, offre des perspectives extraordinaires pour la compréhension de la réactivité chimique. D'autres méthodologies avec d'autres échelles de temps permettent également d'accéder à divers types d'événements chimiques. Ainsi, la voltamétrie cyclique aux très grandes vitesses de balayage contribue aux études mécanistiques de systèmes électroactifs ; le rayonnement synchrotron autorise des expériences de diffraction des rayons X résolues dans le temps, etc.

Assistons-nous à la naissance d'une chimie virtuelle ? Il faut espérer qu'elle ne fait que compléter la palette de la chimie. Pour revenir à Berthelot, rappelons en conclusion sa phrase « *Le chimiste crée l'objet de son étude.* » Les objets deviennent seulement plus complexes et offrent un bel avenir à la chimie et aux chimistes.

### Remerciements

Nous souhaitons remercier les membres du Club Histoire de la chimie et les rédacteurs des biographies des anciens présidents de la Société Française de Chimie.



L. Lestel

#### Laurence Lestel

est maître de conférence au CNAM\*.

#### Igor Tkatchenko

est directeur de recherche CNRS émérite\*\*.



I. Tkatchenko

\* Conservatoire National des Arts et Métiers, CDHTE, case I-161, 5 rue du Vertbois, 75003 Paris.  
Courriel : lestel@cnam.fr

\*\* CNRS-Université de Bourgogne/ICM/SymCat, 9 avenue Alain Savary, 21078 Dijon Cedex.  
Courriel : tkatchen@u-bourgogne.fr

# Light, additifs et chimie : pourquoi tant de haine ?

Pierre Aldebert

À la fin de l'année passée, une campagne de publicité de la Collective du Sucre, visant à discréditer les produits « light », a dû rapidement s'interrompre suite à une réaction efficace des industries alimentaires directement concernées. Ces publicités, diffusées à la radio et dans la presse, déclinées en plusieurs versions, utilisaient un double argumentaire : elles suggéraient que les produits allégés sont trompeurs car aussi caloriques que les produits non allégés et que, du fait de leur nature « chimique », les additifs sont nocifs pour la santé. De nombreux consommateurs sont réceptifs à de telles assertions qui confortent leur intime conviction. Or un tel sentiment ne se base pas sur une approche raisonnable et objective du phénomène « light ». C'est ce que je me propose d'exposer dans les lignes suivantes.



## Petite histoire de la consommation moderne

Jusqu'à l'immédiat après-guerre, notre consommation alimentaire se limitait à des produits frais ou à des conserves préparées essentiellement selon des procédés de pasteurisation ou d'appertisation. Afin d'élargir sa gamme de préparations culinaires, l'industrie alimentaire avait à résoudre la question de la conservation, ce que lui permit l'apparition d'un certain nombre de techniques qui ont bouleversé le domaine. On peut citer par exemple dans les années 60, la déshydratation, rapidement suivie par la lyophilisation ; puis la réfrigération et la surgélation – cette dernière ne connaissant son réel essor que plus tard, quand les foyers commenceront à être équipés des appareils adaptés. Au début des années 70, apparaissent les procédés dits « à ultra haute température » ou « UHT »

(généralement du lait qui est porté pendant quelques secondes à une température comprise entre 132 et 150 °C)...

N'étant pas adaptables à toutes les sortes de préparations, ni toujours suffisantes, ces techniques de conservation n'empêchent pas la généralisation, en parallèle, des additifs de conservation.

Les années 60 voient également le bouleversement des circuits traditionnels de distribution, le petit commerce spécialisé étant peu à peu supplanté par la construction des temples de la consommation d'aujourd'hui. C'est dans ces super et surtout hypermarchés que les groupes agroalimentaires vont trouver l'espace suffisant pour exposer leurs innombrables préparations et se livrer à une concurrence acharnée. Pour attirer et retenir le consommateur, il s'agit dès lors de varier les couleurs, d'introduire de nouvelles saveurs et consistances, donc d'utiliser de nouveaux additifs.

## Le retour à la nature, les réglementations et les premières polémiques

Les événements de 68 constituent déjà un tournant dans la fièvre consummatrice qui s'amorce. Les premiers écologistes, à peine revenus de Katmandou, ou un peu plus tard du Larzac, commencent à militer pour un retour à une alimentation naturelle sans additifs « chimiques », au sens synthétique du terme, sous-entendu sans produits nuisibles à notre santé, personne n'ignorant que les produits naturels sont forcément bons... Socrate ne m'aurait pas contredit, ni ne me contrediront les fumeurs de joints d'aujourd'hui...



Dès le début des années 60, au niveau national, et depuis 1988 au niveau européen, l'utilisation des additifs est strictement réglementée et encadrée. Ils figurent sous forme codée dans la liste des composants des préparations alimentaires industrielles. La lettre E indique « additif », le nombre qui suit, son identité, sachant que les nombres entre 100 et 199 sont réservés aux colorants, entre 200 et 299 aux conservateurs, entre 300 et 399 aux antioxydants, etc.

Toutefois, l'obligation de faire figurer ces codes sur les étiquettes n'a pas enrayé les polémiques concernant certains additifs, suspectés d'être allergisants, tératogènes, voire pire, cancérigènes. Certains lecteurs se rappellent peut-être cette rumeur, en 1976, propagée à partir d'un tract dit « le tract de Villejuif », accusant l'effet cancérigène d'un certain nombre d'additifs, dont l'antioxydant E330, qui n'est autre que... l'acide citrique. Rappelons-nous également les controverses autour de certains édulcorants, comme la saccharine, ersatz apprécié pendant la Seconde Guerre mondiale – aujourd'hui tout juste toléré sous certaines conditions –, ou les cyclamates, plus ou moins interdits depuis les années 70, ou encore plus récemment, l'aspartam, mis en cause lors de la première Guerre du Golfe : on avait suspecté une décomposition partielle de ce dernier, suite au stockage à la chaleur du cola dans lequel il était contenu, d'être à l'origine du fameux « syndrome de la Guerre du Golfe » affectant les GI's. Aujourd'hui encore, l'aspartam, ainsi que bien d'autres additifs, sont fustigés par diverses associations qui reprochent à l'Union européenne, tardant à se prononcer clairement et définitivement sur certains additifs, de ne pas appliquer le principe de précaution et ainsi de prendre des risques avec la santé des consommateurs.

## Le phénomène « light »

Depuis quelques années, un nouveau phénomène de consommation se développe de façon vertigineuse, véritable « eldorado » commercial pour les groupes agroalimentaires qui lui ménagent de grandes parts de marché : c'est le phénomène de « l'allégé », dit aussi « light ». Innombrables sont les produits qui affichent désormais les mentions « allégé », « light », « zéro pour cent en... », « à teneur réduite en... », « peu calorique », etc.

Les raisons ? La progression alarmante dans les sociétés occidentales de l'obésité et des maladies cardio-vasculaires associées au surpoids, et ce qu'on peut appeler aussi la « tyrannie de l'air du temps », qui survalorise et impose à tous jeunesse, beauté... et minceur. L'analyse alimentaire qui en découle est... élémentaire : si elles ne sont pas brûlées par un exercice physique approprié, deux catégories de nutriments sont susceptibles de nous faire grossir : les graisses et les sucres. À défaut de faire du sport, les éliminer de notre alimentation peut sembler une solution ; seulement ne manger, par exemple, que des protéines telles quelles, sans apprêt, n'est pas très gustatif ! Les « body-builder » en période de développement musculaire, qui doivent passer par de tels régimes, peuvent en témoigner, même si des additifs aromatiques ou sucrants non caloriques aident à « faire passer la pilule », ou plutôt la poudre...

Le défi que les industriels ont eu à relever est donc le suivant : fabriquer des produits allégés qui restent bons !

## La problématique du gras

Une réponse adaptée, en deux temps, a été trouvée pour le gras, lequel, en plus de conduire à l'obésité, apportait aussi du (mauvais) cholestérol :



- Diminuer sa quantité en le remplaçant par de l'eau que l'on piège dans des épaississants-géifiants (ceux-ci, malgré leur inquiétant nom en « E » suivi d'un nombre de la famille des 400 ou 1400, étant dans leur grande majorité d'origine naturelle – ce n'est pas mon laboratoire qui me contredira !), puis ajouter un peu d'émulsifiant, et voici la teneur calorique d'une mayonnaise, par exemple, ou d'une sauce de salade, diminuée de moitié !

- Seconde trouvaille : le caractère « alicament » de certaines matières grasses. On sélectionne les huiles avec le moins de (mauvaises) graisses saturées et le plus de (bonnes) graisses mono- et polyinsaturées, contenant les fameux oméga 3-6, et même 9, réputés excellents pour un certain nombre de maux. Je ne citerai prudemment qu'un exemple, celui de la protection du système cardio-vasculaire, seul cas pour lequel l'efficacité de ces acides gras, associés à un régime alimentaire adapté, semble avoir été réellement prouvée.

Ces matières grasses peuvent aussi être enrichies en stérols végétaux, après que ceux-ci aient subi, il faut bien l'avouer, une petite transformation chimique (une estérification), afin d'être solubles dans des corps gras.

C'est à ce prix, financièrement élevé – car ces produits ne sont pas bon marché –, que le taux en (mauvais) cholestérol du consommateur peut baisser, avec une efficacité, d'après les publicités, « scientifiquement prouvée ». De plus, dans ces préparations à tartiner (qu'on ne peut plus vraiment appeler « margarines »), on a également diminué la quantité de matières grasses en ajoutant de l'eau, si bien qu'elles sont généralement bien moins caloriques que les margarines traditionnelles.

## La problématique du sucre

Le sucre consommé en excès entraîne pratiquement les mêmes ennuis de santé que le gras puisque, non brûlé, il fait apparaître de (mauvais) triglycérides qui vont se stocker sous forme de graisse dans l'organisme. De plus, il favorise les caries dentaires. Contrairement au gras, il n'y a guère de solution pour transformer ou améliorer le sucre normal (ou saccharose) ; on ne peut que le limiter, voire le supprimer, ce qui se fait bien évidemment au détriment du goût, ou bien le remplacer par un édulcorant intense.

Ce type de produit a un pouvoir sucrant très supérieur au saccharose, il peut donc être introduit en quantité inférieure dans la préparation à sucrer et n'apporter de ce fait quasiment pas de calories. En outre, saccharose et édulcorants sont des petites molécules très solubles dans l'eau, qui ne participent pas à la structuration de la préparation culinaire, même après disparition de l'eau, sauf si le sucre caramélise. Prenons par exemple l'aspartam, actuellement l'édulcorant de loin le plus utilisé : c'est une molécule constituée de deux acides aminés, l'acide aspartique et la phénylalanine, dont le pouvoir sucrant est 180 fois supérieur à celui du sucre normal, ce qui veut dire qu'ajouté à un soda, à raison de 700 mg/L (moins d'une kcal), il remplace les 120 g/L (480 kcal) de saccharose que l'on incorpore habituellement dans ce type de boisson. Comme on dit, « il n'y a pas photo » ! Alors, quel est le problème ?

### Les pro et les anti « light »

Schématiquement, on peut dire qu'il y a deux groupes opposés de consommateurs concernant les produits allégés : les « pour » et les « contre ».

L'argument, du côté des détracteurs, de la mauvaise qualité gustative des produits « light » tend à se nuancer, voire à disparaître : les yaourts allégés d'aujourd'hui sont en effet bien meilleurs que les premiers yaourts d'il y a quinze ans, dont l'onctuosité et la richesse aromatique ont beaucoup évolué. Ces améliorations sont le résultat des travaux de recherche-développement menés par les industriels qui, pour ce faire, ont bien dû introduire de nouveaux additifs (épaississants et arômes entre autres), et surtout rechercher de nouvelles et subtiles combinaisons. Or c'est précisément cela qui dérange les détracteurs de ce type de produits, confortés dans leur position anti-additifs d'après la croyance en la consternante série d'égalités suivante : *additifs = produits chimiques = produits synthétisés par l'homme = produits dangereux pour la santé de l'homme*. Difficile de convaincre ce type d'opposants de l'iniquité de leur position ; personnellement, je n'y suis jamais parvenu.

Il faut dire aussi que le clan des « pour » fait moins connaître sa position, se manifeste moins, si ce n'est pour affirmer, plus ou moins hypocritement, que c'est en quelque sorte par obligation, santé et apparence physique obligent, qu'il consomme du « light ». Des résignés de ce camp se disent conscients de prendre peut-être des risques avec leur santé mais arguent que la nocivité n'est pas prouvée, que les choses ne sont pas figées et que les scientifiques travaillent...

Dans les faits, les produits allégés occupent de plus en plus de place sur les gondoles des supermarchés, prouvant ainsi qu'au-delà de la théorie et des clivages d'opinion, de plus en plus de consommateurs « suivent ».

Or ce phénomène a des répercussions directes sur les productions alimentaires en amont. Et c'est là que réside le problème : si dans le domaine du gras, ce sont les mêmes industriels qui produisent les versions allégées ou les versions alicaments des matières grasses, il n'est pas certain qu'il en aille de même dans le domaine du sucre. J'ignore si les fabricants d'édulcorants ont été rachetés par les sucriers ou vice-versa, mais ce qui est sûr, c'est que les ventes de sucre chutent actuellement de manière spectaculaire et que le débouché biocarburant à grande échelle n'est prévu que dans un certain temps (2010 à la pompe en France).

D'ailleurs, est-ce que ce secteur sera aussi rentable et restera-t-il contrôlé par les sucriers ? Pour être franc, je l'ignore aussi et ne fais que poser la question. Face à ce qui est néanmoins l'urgence de leur situation, les sucriers n'avaient donc qu'un moyen pour tenter de relancer la consommation de sucre : une campagne publicitaire d'envergure. Seulement, sur quoi baser celle-ci ? Une méthode honnête aurait consisté à persuader les gens de continuer à se faire plaisir en consommant des mets sucrés, tout en rappelant, afin qu'ils restent minces et en bonne santé, l'obligation de le faire avec modération, comme pour l'alcool (qui n'est après tout que du sucre fermenté !). Chacun peut imaginer le succès qu'aurait rencontré une telle campagne... Et c'est probablement ce qui a incité les sucriers à opter pour une campagne carrément malhonnête : ils ont joué sur le discrédit du « light » en fustigeant au passage – comme si besoin était – notre belle science : la chimie. Cette campagne, qui donc a été très rapidement retirée, est analysée plus en détail dans l'encadré.

### Le « light » ne serait-il pas aussi (hon)nêt(e) que ça ?

Pour montrer que je ne suis pas un adepte à tout crin des produits allégés et que cet article n'est pas uniquement à charge contre le sucre et les sucriers, j'aimerais terminer sur quelques excès du marketing « light » qui utilise parfois des arguments et un affichage trompeurs. J'avais d'ailleurs déjà dénoncé le ridicule des eaux « qui font maigrir », produits lancés il y a cinq ans à grand renfort de publicité et d'étiquettes pour le moins désinformatrices (voir *L'Act. Chim.*, janvier 2002, p. 30, [www.lactualitechimique.org/larevue\\_article.php?cle=16](http://www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=16)). Aujourd'hui encore, on essaie aussi de faire croire que 0 % en graisse ou 0 % en sucre égalent 0 % en calories, alors que dans un cas, on a utilisé du vrai sucre et dans l'autre, des lipides. De toute façon, la mention « 0 % en calories », notamment dans le cas de certaines eaux aromatisées où traînent quand même quelques calories, ne veut rien dire : 0 % de calories par rapport à 100 % de calories ??? Ou encore, on joue sur l'ambiguïté entre le mot « léger », qui n'a pas de sens légal, et « allégé » qui, lui, a une signification précise. Vous avez ainsi des mousses « légères », dont seule en fait la densité est faible, alors que leur charge en calories, ramenée au poids, est élevée. Et que dire de ces étiquettes qui présentent un tableau calorique d'une spécialité x ou y soi-disant allégée en la comparant à la même spécialité non allégée ? Quel n'est pas votre étonnement quand vous découvrez que la teneur en calories affichée sur ladite



## Une campagne mensongère

La campagne de publicité de la Collective du Sucre s'articulait autour de trois exemples : un paquet de biscuits, une plaque de chocolat et des entremets vanillés, chacune des publicités étant déclinée à la fois à la radio et dans la presse.

### Les biscuits « de Tante Marcelle »

Le premier spot radiophonique présentait des biscuits allégés en sucre (moins 25 %), le sucre, nous disait-on, devant être remplacé par de l'amidon. Or ce polysaccharide naturel sert de matériau de structure du biscuit au même titre que la farine déjà présente qui est essentiellement de... l'amidon, lequel se transforme en glucose, autre sucre. On ne voit alors pas pourquoi le biscuit deviendrait moins croustillant. Sucre et amidon sont aussi caloriques, admettons, mais l'amidon n'étant pas un substitut du sucre, le biscuit sera moins sucré et cela, c'est une certitude.

La version presse était différente, moins absurde, mais beaucoup plus agressive et insidieuse. En effet, les « moelleux de Tante Marcelle » – cette dernière étant représentée sur l'emballage sous les traits d'une chimiste équipée d'un masque de protection et tenant des récipients de chimie remplis d'un superbe liquide vert –, sont « au xanthane », tout comme d'autres moelleux sont « aux œufs frais » ou « à l'ancienne ». Cet épaississant, un autre polysaccharide issu d'une fermentation aérobie bactérienne de sucres simples, a un nom inconnu du grand public, ce qui le rend inquiétant. Reconnaissons qu'ils auraient encore pu grossir le trait en indiquant « E415 »... Ajoutons aussi qu'il ne s'agit toujours pas d'un substitut du sucre comme on aurait pu s'y attendre, mais il faut toutefois remarquer qu'un certain nombre de préparations pâtisseries, pas forcément « light » au demeurant, contiennent en effet du xanthane pour des raisons de moelleux, mais absolument pas pour se substituer au sucre. Le texte d'accompagnement joue donc complètement sur la confusion volontaire dans la mesure où il amalgame plusieurs catégories d'additifs que l'on serait censé ajouter lorsqu'on retire du sucre. Le sucre ne participant pas à la texture, sauf quand il y a caramélisation, tous les épaississants, gélifiants et autres émulsifiants n'auraient donc pas eu à être cités ici, seuls les édulcorants nécessaires au maintien du goût sucré auraient dû apparaître. Pour éviter de faire ce distinguo, le texte les cite tous en leur attribuant au passage, par l'illustration, une connotation de produits chimiques synthétiques, donc mauvais. D'ailleurs, l'expression de « produits licites », dont sont qualifiés tous ces additifs, procède de la même intention de dénigrement : « licite » fait forcément penser à son contraire, « illicite », tel produit ou telle pratique devenant souvent, en effet, licite après avoir été illicite, sans manquer, bien souvent, de laisser des traces dans l'inconscient collectif.

On passera plus vite sur les deux autres exemples car le fonctionnement désinformatif était quasiment le même.

### Le chocolat « Poulpo »

Le spot radio, affirmant que le sucre ôté au chocolat était remplacé par de la graisse de cacao tout aussi calorique, donnait une fausse information, absurde qui plus est : il suffit de regarder les étiquettes des chocolats allégés pour voir qu'au contraire, on les a dégraissés au maximum et on y a ajouté simplement des édulcorants. La version papier jouait quant à elle, comme avec les biscuits, sur une origine chimique, sous-entendu nocive, des additifs, montrant une pieuvre revêtu d'un scaphandre de sécurité chimique en train de déverser un liquide vert de son tube à essai dans... l'océan (?). Quant au « polydextrose » ajouté... si à la rigueur « dextrose » est acceptable pour ceux qui connaissent les sucres, le préfixe « poly », en tout cas, n'est vraiment pas très engageant. Il s'agit pourtant là encore d'un agent de charge usuel, d'origine naturelle et peu calorique, mais non d'un édulcorant, et dans ces conditions de chocolat non sucré... c'est amer et il faut aimer ! Le texte étant identique à celui de l'exemple précédent, passons donc au dernier exemple de cette trilogie.

spécialité non allégée est moindre que celle de votre produit allégé de référence ! Je pourrais multiplier les exemples, mais peut-être cela devra-t-il faire l'objet d'un nouvel article ?

## Pour conclure

Je trouve que l'obligation d'inscription de tous les ingrédients des préparations que nous mangeons et, plus récemment, du contenu calorique, est fondamentale, ces indications nous permettant de choisir en meilleure connaissance de cause. Ne pas s'y conformer peut coûter très cher aux contrevenants. Pour autant, tous les problèmes ne sont pas réglés et il faut se méfier de toutes les informations et argumentations utilisées dans la « jungle » consumériste car, comme nous venons de le voir, la dérive de la désinformation, voire le mensonge, ne sont souvent jamais bien loin.

### Le flan vanillé « à la NHDC »

Ce spot radio était particulièrement intéressant car l'argumentation était différente. Le sucre du flan est remplacé par des épaississants, des agents de charge qui donnent de l'onctuosité et sont donc dans ce contexte une nouvelle fois une absurdité. Le spot poursuivait en prétendant que ce produit, qualifié pour la première fois d'« allégé », conduirait le consommateur à manger plus (deux flans au lieu d'un), donc à absorber autant de calories. Cette dernière affirmation est plus intéressante car souvent avancée par des nutritionnistes qui stigmatisent de façon générale le « light » (sans graisse, sans sucre ou les deux). En fait, cette allégation de surconsommation est battue en brèche par des études épidémiologiques, dans la mesure où les individus contrôlés restent au-dessus d'une ration calorique globale raisonnable.

La version papier de cette publicité était dans le même esprit que les deux autres publicités papier, mais à un niveau supérieur de mensonge et de désinformation. Dire que la chimie était ici directement visée est un euphémisme (on en reste sur le... flanc !). Il suffisait de voir les usines fumantes qui illustraient l'emballage représenté sur la publicité, puis, sous le mot « flans », l'inscription en très gros caractères « à la N.H.D.C. », initiales que personne ne connaît mais que tout le monde ne peut qu'associer à un produit fabriqué par ces sacrés chimistes, bien évidemment toxique ! Renseignement pris, la NHDC est le E959, soit la neohespéridine dihydrochacone : il s'agit bien, pour une fois, d'un édulcorant intense, apte à remplacer le sucre mais qui, une fois encore, malgré son nom effrayant, est un produit naturel, extrait, moyennant peut-être quelques procédés physico-chimiques, de certains agrumes comme les oranges ou les pamplemousses.

### À l'adresse des sucriers en guise de conclusion chimique

À propos de chimie, il me semble que vous, les industriels du sucre – du vrai sucre, saccharose de betteraves et cannes à sucre, contenant des calories –, vous devriez un peu balayer devant votre porte, car comment vous y prenez-vous pour stopper la fermentation du sucre ou pour le rendre blanc ? Ne pourrait-on pas gloser sur le formol, l'acide peracétique et autres sels sodiques de polyéther de l'acide monocarboxylique que peut-être vous employez ? (Notez que j'utilise le conditionnel car citer ces produits de cette manière serait de la pure désinformation). Entre nous soit dit, je crois que vous avez eu raison d'interrompre cette campagne car, solidarité entre chimistes oblige, nous aurions peut-être été conduits à vous apporter de la N.H.D.C. native... quelle horreur !



Merci à mon ami **Serge Cecconi** qui a illustré (avec talent) cet article (<http://perso.orange.fr/serge.cecconi/cariboost2/index.html>).



### Pierre Aldebert

est directeur de recherche au CERMAV et médiateur scientifique au CNRS\*.

\* Centre de recherches sur les macromolécules végétales (CERMAV), BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9.  
Courriel : [Pierre.Aldebert@cermav.cnrs.fr](mailto:Pierre.Aldebert@cermav.cnrs.fr)

# Mise sur orbite de « l'Europe de la connaissance »

« To-day is the future » (Bruxelles, 7 mars 2007)

Gilbert Schorsch

## La science européenne à l'honneur

À la veille du Conseil européen des 8-9 mars à Bruxelles, à deux semaines de la célébration du cinquantenaire du Traité de Rome le 25 mars à Berlin, la Commission européenne avait organisé dans la capitale belge une journée de manifestations dédiées à la R & D européenne. Successivement, le lancement officiel du 7<sup>e</sup> PCRD [1] et la remise des traditionnels prix Descartes, entrecoupés par l'inauguration de deux expositions scientifiques, témoignaient de l'intérêt des milieux politiques pour la recherche et l'innovation, moteurs de la compétitivité des économies européennes.

### Janez Potočnik, maître de cérémonie à l'inauguration de deux expositions

Organisées respectivement par la Helmholtz et la Max-Planck-Gesellschaft – présidence allemande du Conseil européen oblige –, deux expositions ont été inaugurées lors de cette journée par le commissaire européen chargé de la science et de la recherche.

L'exposition « **La terre, une œuvre d'art** » rassemble une trentaine de photographies de la Terre vue du ciel. Contrairement à celles popularisées par Yann Arthus-Bertrand, ces photos ont été prises à partir de satellites géostationnaires ou en orbite. La distance et les systèmes de détection utilisés sont particulièrement intéressants. Sur des temps longs, les photos permettent de visualiser des perturbations écologiques (l'ensablement de la baie de Betsiboka à Madagascar, suite à la déforestation) ou climatiques (mesures de l'évolution de l'épaisseur de la calotte glaciaire...). Aux temps courts, elles contribuent à la sécurité de populations particulièrement exposées (prévention des risques de typhons ou d'éruptions volcaniques...). Elles peuvent aussi faciliter le travail des pêcheurs en pleine mer (localisation des bancs de poissons). Exposées en plein air, dans le quartier du Berlaymont, sur un parvis proche des bâtiments de la Commission européenne, accessibles aux promeneurs, ces photos dressent un état des lieux sans complaisance des défis majeurs qui se posent à l'humanité. Elles interpellent le grand public. Suffiront-elles à réconcilier ce dernier avec les apports de la science ?

En compagnie de la ministre de la Recherche d'Allemagne, Annette Schavan, et du Prince Philippe de Belgique, Janez Potočnik a procédé en fin d'après-midi à l'ouverture du « **Tunnel de la science** ». D'une conception toute différente, ce tunnel, dont l'architecte est l'Association Max Planck, intéressera avant tout les scientifiques, car il est « bourré » de techniques. Il expose et explique les outils nécessaires pour explorer et comprendre le monde,

de l'infiniment petit – rayonnements électromagnétiques, sondes atomiques ou moléculaires pour analyser le vivant et les matériaux qui nous entourent... – à l'infiniment grand – les satellites et sondes qu'utilisent les astrophysiciens pour explorer l'univers... Toutes ces réalisations majeures sont consignées dans un catalogue très documenté [2].

Pourquoi les organisateurs n'ont-ils pas cru utile d'expliquer aux visiteurs la symbolique de ce « tunnel » ? Galerie souterraine – accessible à un nombre limité de spéléologues particulièrement aguerris – ou au contraire, à l'exemple du tunnel sous la Manche, voie de liaison et de réconciliation entre scientifiques et profanes ?

Ce diptyque d'expositions, différentes mais complémentaires, montre que l'Europe dispose d'infrastructures de recherche compétitives, c'est-à-dire de rampes de lancement fiables pour de futurs projets.

### Claudie Haigneré aux commandes de la sélection des prix Descartes

Pour monter et réussir les projets qui doivent faire de l'Europe l'économie mondiale la plus compétitive, il faut aussi des hommes. Depuis sept ans, les prix Descartes de la recherche visent précisément à en identifier [3-4].

La cosmonaute française, Claudie Haigneré, présidait cette année un Grand Jury respectueux de la parité (douze femmes contre dix hommes). Sa formation de neurophysiologiste et ses expériences successives de ministre de la Recherche puis des Affaires européennes la destinait à animer la procédure de sélection « *des hommes compétents, motivés et prêts à travailler en réseau* » selon



L'équipe lauréate 2006 pour le projet Hydrosol (au centre, le professeur Konstantopoulos), entourée de Claudie Haigneré et Janez Potočnik.

Tableau I - Les lauréats 2006 des prix Descartes de la recherche.

Sciences de l'ingénieur	Sciences de la vie	Sciences de l'univers
<b>INTITULE (ACRONYME DU PROJET)</b> <b>Hydrosol</b> Advanced monolithic reactors for solar hydrogen production via water splitting	<b>INTITULE (ACRONYME DU PROJET)</b> <b>Apoptosis</b> Pathways in cancer and AIDS	<b>INTITULE (ACRONYME DU PROJET)</b> <b>HES</b> The High Energy Stereoscopic System
<b>CHEF DE PROJET</b> <b>Dr Athanasios Konstantopoulos</b> Center for Research and Technology, Thessaloniki (GR)	<b>CHEF DE PROJET</b> <b>Dr Guido Kroemer</b> CNRS, Institut Gustave Roussy, Villejuif (FR)	<b>CHEF DE PROJET</b> <b>Pr. Werner Hofman</b> Max Planck Institut für Kernphysik, Heidelberg (RFA)
<b>PARTENAIRES</b> <b>Dr Christian Sattler</b> Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt, Cologne (RFA) <b>Mr Per Stobbe</b> Hobbe Tech Ceramics (DK) <b>Dr Andrew Steele</b> Johnson Matthey Fuel Cell Ltd (GB)	<b>PARTENAIRES</b> <b>Dr Josef Martin Penninga</b> Institute of Molecular Biology (AUT) <b>Pr. Maya Helena Jaatela</b> Danish Cancer Society (DK) <b>Pr. Piacentini Mauro</b> University of Roma (IT) <b>Pr. Boris Zhwotovsky</b> Karolinska Institutet (S) <b>Pr. Klaus Mickael Debatin</b> ULM Medical Faculty (RFA)	<b>PARTENAIRES</b> en Allemagne : <b>Humboldt</b> Universität, Berlin <b>Universität</b> Hambourg, Heidelberg, Bochum Nurnberg et Tubingen en France : <b>Institut National de</b> <b>Physique Nucléaire</b> <b>et de Physique des</b> <b>Particules</b> ( <i>Dr Michel Punch</i> ) <b>CEA Saclay</b> ( <i>Dr Philippe Goret</i> ) <b>Institut National</b> <b>des Sciences</b> <b>de l'Université</b> ( <i>Dr Hélène Sol</i> )

son expression, et à classer les soixante-cinq candidatures de cette année.

La liste des trois lauréats donne une bonne idée des préoccupations des scientifiques (tableau I). À titre d'exemple, deux des trois projets primés illustrent parfaitement des besoins essentiels des citoyens européens, en matière d'énergie et de santé :

- **Le projet Hydrosol** : un procédé innovant de production d'hydrogène, par décomposition catalytique de vapeur d'eau à haute température dans un four solaire, vise le renouvellement de nos ressources énergétiques. La technologie d'oxydoréduction utilisée est voisine de celle appliquée dans les filtres à particules pour l'épuration des gaz de combustion automobile.
- **Le projet Apoptosis** – la compréhension des mécanismes de l'apoptose, c'est-à-dire de la mort cellulaire programmée – devrait aider à identifier des moyens de lutte originaux contre certaines pathologies particulièrement redoutées, cancer et sida en particulier.

L'astrophysique complète la liste des trois lauréats. Elle apporte la part de rêve et de magie dont nous avons tous besoin. **Le projet HES** (« High Energy Stereoscopic System ») vise la détection des très brèves émissions de lumière bleue qui se forment au moment de la pénétration dans l'atmosphère terrestre des rayons gamma provenant de l'Univers. Ces observations servent à établir la cartographie des « objets » astronomiques, à affiner les hypothèses de formation des trous noirs interstellaires ou à localiser le centre de gravité de la Voie lactée !

### La Commission européenne, maître d'ouvrage du 7<sup>e</sup> PCRD

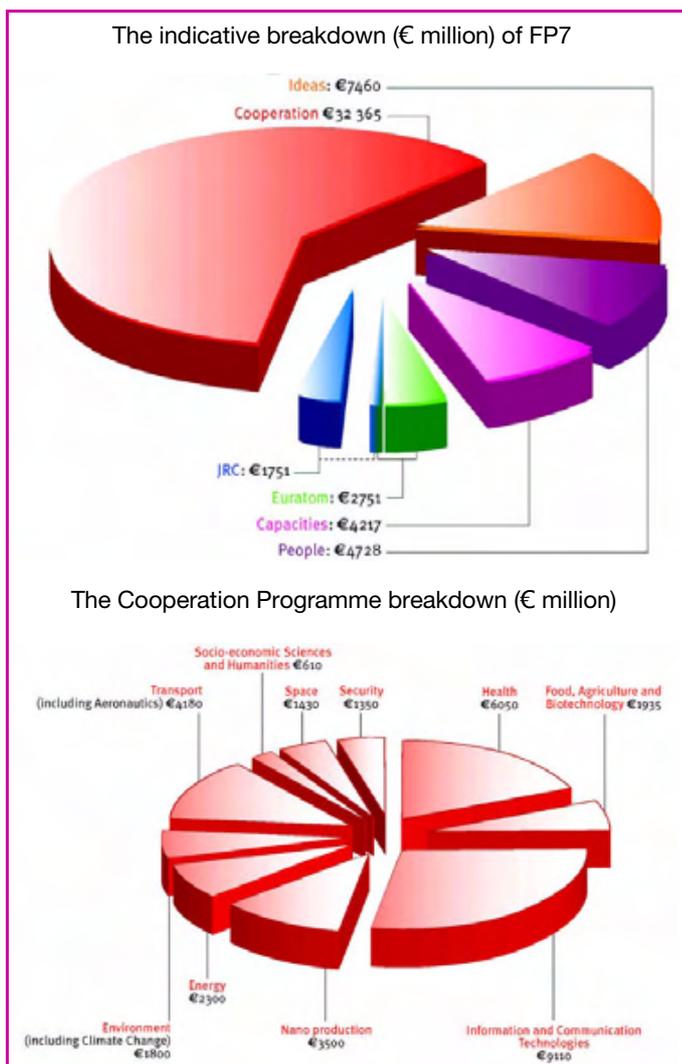
« L'Europe de la connaissance » avait été lancée en 2000, lors du Sommet de Lisbonne. Les performances de l'époque – en termes de puissance des moteurs et de trajectoire de la fusée – n'étaient pas à la hauteur des ambitions affichées. À présent, tout le monde en convient et reconnaît que les instances européennes (Commission et Parlement...) ne portent pas seules la responsabilité de ce semi-échec. La frilosité et le manque de coordination des

politiques nationales en matière de recherche et de formation, l'absence de véritables stratégies industrielles au niveau européen ont incontestablement pénalisé les ambitions initiales.

Le hasard du calendrier a bien fait les choses. C'est le président en exercice de la Commission européenne, le portugais José Manuel Barroso, et son commissaire pour la recherche et la science qui se sont chargés de corriger le tir de Lisbonne. Ils se sont battus pour donner aux structures et aux hommes des moyens suffisants et pour fixer des objectifs clairs. Le lancement officiel du 7<sup>e</sup> PCRD s'est fait en plein air, sur une estrade montée dans le quartier du Berlaymont, en présence des représentants officiels de la Commission, de la ministre allemande de la Recherche et de l'ensemble de la presse européenne. Il s'est traduit par une série de discours officiels et un lâcher de ballons en forme de colombes. Mais l'essentiel n'est pas là. Reconnaissons que les responsables de la Commission se sont bien battus pour obtenir du Parlement un Programme-Cadre dont les détails sont consignés dans le document officiel [4]. Celui-ci vise simultanément :

- une augmentation substantielle des moyens globaux : le budget de 53,2 milliards d'euros pour la période 2007-2013 représente une augmentation de 63 % par rapport au 6<sup>e</sup> PCRD en euros courants ;
- une meilleure structuration des budgets qui prend en compte simultanément :
  - la recherche coopérative – entre industriels et laboratoires publics, dans des domaines et avec des objectifs clairement identifiés –,
  - la génération de nouvelles idées provenant de la recherche fondamentale sous l'égide du conseil européen de la recherche,
  - la mobilité des chercheurs pour la formation des jeunes et l'échange d'expérience, c'est-à-dire la poursuite des actions Marie Curie,
  - et le développement d'infrastructures et de gros équipements de recherche qui pourront être mis à la disposition des PME.

La figure 1 donne une vision synthétique des budgets arrachés par les responsables de la Commission aux politiques du Parlement européen.



De gauche à droite : Angelica Niebler, présidente du comité « Industrie, Recherche et Énergie » de la Commission européenne, Janez Potočnik, José Manuel Barroso, Annette Schavan, ministre allemande de l'Éducation et de la Recherche, qui masque partiellement Viviane Reding, commissaire européenne à la société de l'information et des médias, procèdent au lancement du 7<sup>e</sup> PCRD.

Figure 1 - Répartition du budget de 53,2 milliards d'euros pour le 7<sup>e</sup> PCRD (2007-2013).

deux plus grandes instances de recherche de ce pays. Une présence intégrée des capacités de recherche des pays membres eût été certainement plus convaincante. Solution de facilité ou intégration encore balbutiante des structures de recherche européennes ?

- Il est curieux de constater aussi qu'au moment où la Commission s'efforce de mettre en place des projets et des structures communautaires, les pays membres, et pas seulement la France, lancent de leur côté leurs pôles nationaux de compétitivité ou leurs réseaux d'excellence. « Pour mieux les intégrer ultérieurement dans les actions collaboratives européennes » argumentent les optimistes. « Pour affûter les armes nationales » répondent les eurosceptiques. Espérons que le principe de subsidiarité sera adopté rapidement et que la complémentarité de ces initiatives trouvera facilement leur point d'équilibre.

## Les conditions de réussite de la « mission »

Au début de la cérémonie, une pluie fine mais glaciale a arrosé les participants. Était-elle de circonstance pour rappeler que l'approfondissement de la collaboration européenne avait été mise au frigidaire momentanément, après les échecs de 2005 sur l'adoption d'une Constitution européenne ? Qu'importe... La préparation du futur ne pouvait attendre. Les politiques ont pris résolument les devants et, quoiqu'il arrive, ont tracé sans scrupule la feuille de route...

### Ses écueils

Les objectifs de la mission seront-ils atteints pour autant ? Les ballons qui s'envolaient et se dispersaient au gré des vents ne préfiguraient-ils pas déjà les difficultés qui attendent les futurs acteurs ? La manifestation du 7 mars en a révélé au moins deux :

- Les deux expositions inaugurées ce jour étaient censées mettre en lumière les capacités de recherche des pays membres du Conseil européen. Certes, la présidence allemande du Conseil explique la présence en force des

### Ses chances

Après l'ondée, quelques pâles rayons de soleil, et donc d'espoir, ont inondé la fin de la cérémonie. Ils ont permis d'apprécier les avancées annoncées.

- L'augmentation significative du budget du 7<sup>e</sup> PCRD constitue un progrès décisif. N'y revenons pas. Attardons-nous davantage sur la clarification des objectifs de ce Programme-Cadre. En établissant une distinction nette entre recherches collaboratives et recherche d'idées issues de la recherche fondamentale, la Commission met un point final à l'éternel débat qui, au cours des Programmes-Cadres successifs, a toujours posé problème. « Trop universitaire au départ », selon les industriels, « trop appliqués par la suite », selon les défenseurs de la recherche fondamentale, les Programmes-Cadres ont toujours fait l'objet de critiques. En instituant le Conseil européen de la Recherche et en lui accordant son autonomie, la Commission permet à la recherche fondamentale européenne de se déployer. En mettant en place des actions de R & D collaboratives sur des objectifs pratiques concrets, la Commission force universitaires et industriels à mettre en commun respectivement leurs connaissances scientifiques et leurs

connaissances des besoins des marchés. Aux acteurs maintenant d'identifier les bons projets et de trouver les solutions économiquement viables en termes d'innovation et de création d'emplois.

- Ce rapprochement entre industriels et universitaires a eu déjà un effet encourageant : la présence d'acteurs industriels majeurs lors de l'exposition et de la remise des prix Descartes. Jusqu'à présent, ce type de manifestations rassemblait presque exclusivement des représentants du monde universitaire et des organismes de recherche publique. Cette année, des représentants, et non des moindres, de grands groupes industriels – en majorité allemands il est vrai : BASF, Siemens, Schering entre autres – affichaient ostensiblement leur présence. C'est certainement de bon augure pour la mise en orbite des projets communautaires innovants.

Bonne chance à « l'Europe de la connaissance », et surtout bonne chance à la « valorisation de ces connaissances » en Europe.

## Références

- [1] « PCRD » : Programme-Cadre de Recherche et Développement. Le 7<sup>e</sup> PCRD s'étendra sur la période 2007-2013.
- [2] Science Tunnel, an exhibition of the Max Plank Institute ; [www.sciencetunnel.com](http://www.sciencetunnel.com)
- [3] Schorsch G., Les prix Descartes 2005 : un bon cru pour les Français, *L'Act. Chim.*, **2006**, 294, p. 11. [www.lactualitechimique.org/larevue\\_article.php?cle=1432](http://www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=1432)
- [4] [http://ec.europa.eu/research/descartes/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/descartes/index_en.htm)
- [5] « FP7: Tomorrow's answers start today », [www.eurosfair.pr.fr/7pc/doc/1164372969\\_fp7\\_press\\_launch\\_23\\_11\\_2006.pdf](http://www.eurosfair.pr.fr/7pc/doc/1164372969_fp7_press_launch_23_11_2006.pdf)



**Gilbert Schorsch**

est chargé de la rubrique « Industrie » de *L'Actualité Chimique*\*.

\* 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris.  
Courriel : [cgschorsch@aol.com](mailto:cgschorsch@aol.com)



## SALON "150 ANS DE LA SFC"



**Les éditions EDP Sciences seront présentes  
au congrès du cent cinquantième de la SFC  
du 16 au 18 Juillet 2007 :**  
*"Chimie du futur, futur de la chimie"*

**Nous vous rappelons que les membres de la SFC bénéficient de  
30 % DE REMISE, sur TOUS LES LIVRES du catalogue.**

**Venez-nous rendre visite sur notre stand.**

**[www.edpsciences.org](http://www.edpsciences.org)**

# Microtechnologies pour la libération contrôlée des molécules fragiles

Elias Fattal, Amélie Bochot et Nicolas Tsapis

**Résumé** Les formes pharmaceutiques à libération contrôlée ont pour but de maîtriser la vitesse, la durée, et éventuellement le lieu de libération du principe actif. Il est aujourd'hui possible de formuler des microparticules à partir de polymères biodégradables ou bioérodibles permettant ainsi, après administration, une libération du principe actif sur une très longue période. Le bénéfice de tels systèmes est de pouvoir diminuer la fréquence d'administration des médicaments. À côté de ces systèmes à libération prolongée, il est possible d'obtenir des microparticules permettant de libérer, après administration, le principe actif au niveau d'un site particulier de l'organisme. Cette libération programmée s'effectue sous l'effet de l'environnement biologique du site atteint par les particules. Ces avancées technologiques ont permis d'améliorer l'administration de molécules issues des biotechnologies telles que les acides nucléiques, les peptides et les protéines.

**Mots-clés** **Microparticules, libération contrôlée, libération programmée, libération prolongée.**

**Abstract** **Microtechnologies for the controlled release of poorly stable drugs**  
Controlled release delivery systems are aiming to control the rate, duration and distribution of the active drug. Microparticulate delivery systems have allowed reaching several goals in this field since it is today possible to design biodegradable or bioerodible polymeric microparticles with a sustained release. The advantage of such systems is to reduce the number of administrations. Beside these systems, microparticles sensitive to the biological environment were designed to deliver an active drug in a site-specific fashion. Microparticles release their content under the control of biological modifications once reaching the target site. These advanced delivery systems have allowed delivering biotech products such as nucleic acids, peptides and proteins.

**Keywords** **Microparticles, controlled delivery, responsive release, sustained release.**

Les principales innovations dans le domaine des formes galéniques visent deux principaux objectifs. Le premier consiste à contrôler la distribution d'une molécule active en la favorisant vers un site particulier de l'organisme : il s'agit de la vectorisation, une approche qui fait surtout appel à des nanotechnologies et qui a permis des applications principalement dans le domaine de l'administration des anti-infectieux ou des anticancéreux [1]. Le second objectif consiste à contrôler la libération de la molécule active à partir du système d'administration, particulièrement lorsque la forme galénique se trouve immobilisée au niveau d'un site particulier de l'organisme. Cette approche qui utilise des systèmes à libération contrôlée peut s'appliquer de différentes manières. On citera par exemple les systèmes à libération pulsée qui libèrent le principe actif sous l'effet d'un stimulus exogène (champ magnétique, ultrasons...). Dans le cas de ces systèmes, le patient sera capable de déclencher au moment désiré (à la demande) la libération du principe actif et d'obtenir en retour une action pharmacologique. Le stimulus peut être endogène sous le contrôle d'un processus physiologique. Par exemple, l'augmentation de la glycémie, détectée par le système d'administration, pourra induire la libération d'une dose d'insuline. Les systèmes à libération pulsée sont le plus souvent monolithiques et ne font pas

appel à la microencapsulation. Ces derniers ne seront pas décrits dans cet article qui ne traitera que des systèmes microparticulaires. À côté des systèmes à libération pulsée, on distingue des formes à libération prolongée pour lesquelles la libération peut s'effectuer sur plusieurs jours, voire plusieurs semaines. Cette libération prolongée doit permettre, à la suite d'une administration unique de la forme galénique, d'obtenir un effet pharmacologique pendant toute la durée de la libération du principe actif. Enfin, des systèmes à libération programmée, qui libèrent leur contenu sous l'effet d'une modification de l'environnement biologique, ont aussi été développés. Ces formes galéniques ne libéreront leur contenu qu'en présence d'un environnement favorable à la sortie du principe actif.

## Polymères utilisés pour la libération contrôlée de molécules actives

Les microparticules pour la libération prolongée sont le plus souvent constituées de polymères bioérodibles ou biodégradables. La bioérosion résulte de phénomènes physiques (dissolution) ou chimiques (attaque chimique du polymère et réduction en petits fragments). La biodégradation consiste quant à elle en la dégradation des

caractéristiques d'un biomatériau par le milieu biologique dans lequel il se trouve. Ce phénomène peut survenir à la suite d'une attaque enzymatique du polymère. Les produits d'érosion ou de dégradation doivent être éliminés par l'organisme sans induire de toxicité.

- Dans le cas des systèmes bioérodibles, un phénomène d'hydrolyse intervenant à l'interface entre la particule et le milieu environnant, la libération du principe actif s'accomplit au fur et à mesure que la particule s'érode. Parallèlement à l'érosion, si les conditions le permettent (faible masse moléculaire du principe actif et porosité de la microparticule), certaines molécules peuvent aussi être libérées par diffusion (figure 1A).

- Dans le cas des systèmes biodégradables, les polymères utilisés sont dégradés dans leur masse au sein de la microparticule et les monomères, les oligomères et les principes actifs encapsulés sont libérés dans le milieu environnant (figure 1B). Comme pour l'érosion, une libération simultanée par diffusion est possible. Cependant, si le principe actif est incapable de diffuser à travers la barrière polymère, seules les molécules proches de la surface seront libérées dans un premier temps. Il faudra attendre que le polymère se dégrade complètement pour que la libération totale du principe actif se produise. En conclusion, la compréhension des mécanismes de dégradation des polymères dans l'organisme est cruciale pour permettre de concevoir un système particulier de libération prolongée et d'expliquer les comportements cinétiques.

Les polymères pour la libération programmée peuvent être biodégradables ou non. Il s'agit donc de polymères qui, soit gonflent, soit se dissolvent ou encore se dégradent une fois qu'ils ont atteint un site particulier de l'organisme

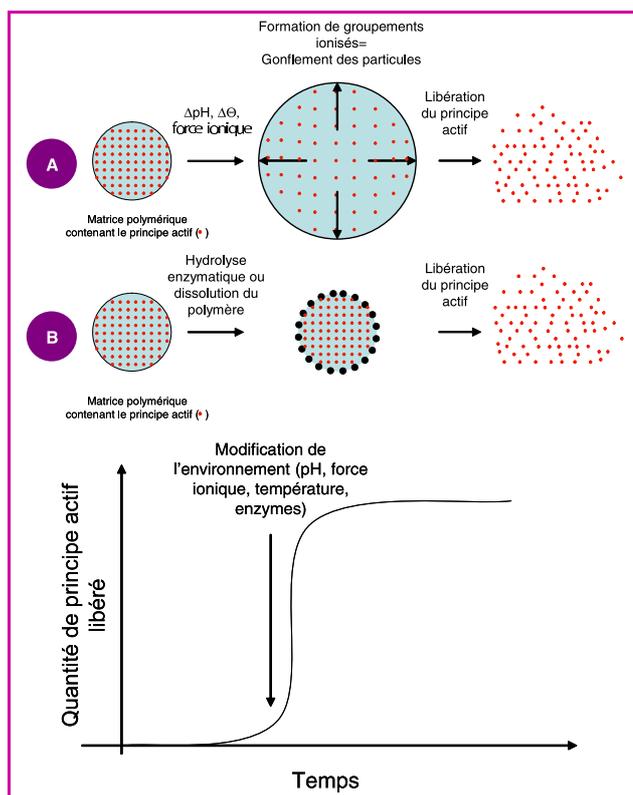


Figure 2 - Microparticules à libération programmée.

La libération du principe actif a lieu suite à une modification de l'environnement : (A) gonflement du polymère lié à une modification du pH, de la température ou de la force ionique ; (B) dissolution du polymère liée à une modification du pH ou à une dégradation spécifique par des enzymes.

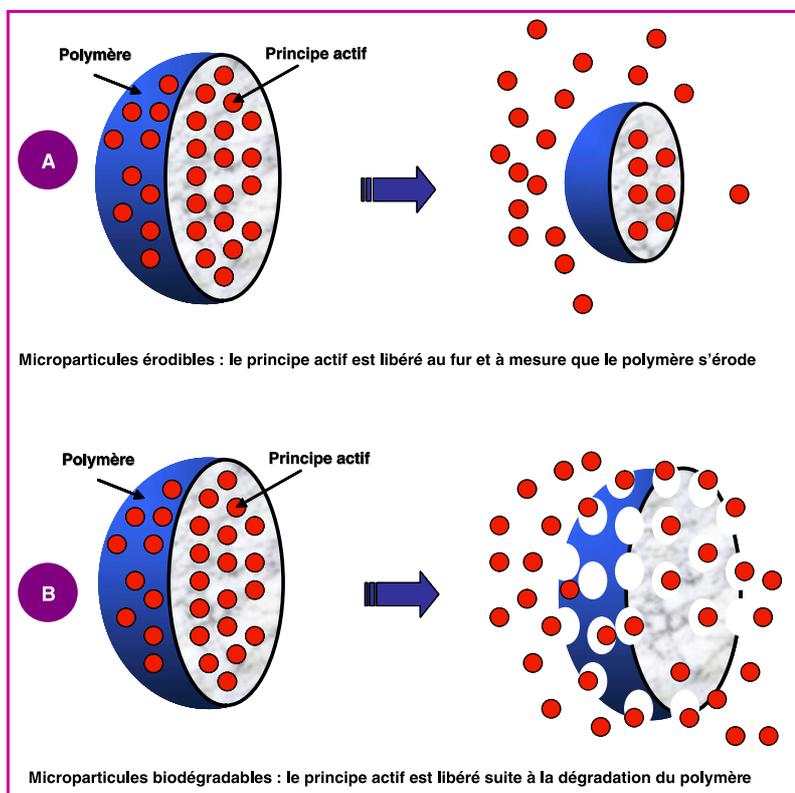


Figure 1 - Libération du principe actif à partir de microparticules bioérodibles (A) ou biodégradables (B) pour la libération prolongée.

Dans les deux cas, une diffusion du principe actif est possible.

(figure 2). Comme l'indique la figure 2, suite au gonflement ou à la dégradation, le principe actif est entièrement libéré.

## Microparticules à libération prolongée

De nombreux polymères biodégradables sont utilisés pour la mise au point de systèmes microparticulaires à libération prolongée. Les polymères ou copolymères les plus utilisés sont le poly(lactide) ou poly(lactide-co-glycolide), les poly(orthoesters), les poly(anhydrides), le poly(méthylidène malonate). La mise au point de microparticules peut s'effectuer par différentes méthodes, mais en général, la fabrication de tels systèmes aboutit à la formation de particules, soit de type matriciel ou « pleines » (pour les molécules insolubles dans l'eau), soit renfermant un ou plusieurs réservoirs à contenu aqueux (pour les molécules hydrosolubles). La cinétique de libération à partir de ces particules s'effectue sur une durée très longue allant de quelques semaines à plusieurs mois et variant selon la taille des particules, la nature et le poids moléculaire du polymère.

L'application de tels systèmes pour la libération prolongée de molécules hydrophiles telles que les peptides/protéines ou les acides nucléiques a fait l'objet de nombreuses études. Dans le domaine de l'administration des peptides/protéines, des

applications majeures ont été obtenues pour l'administration de la triptoléine. Il s'agit d'une molécule à effet castrateur qui diminue les taux de testostérone, hormone fortement impliquée dans le cancer de la prostate. Plusieurs sociétés ont développé et mis sur le marché des microparticules de poly(lactide-co-glycolide) pour cette molécule qui, lorsqu'elles sont administrées chez l'homme, permettent de produire un effet pendant une durée de trois mois, évitant au patient les désagréments liés à des administrations fréquentes. C'est le cas du Trelstar® Depot et du Decapeptyl® SR, commercialisés respectivement par Pfizer et Ipsen-Beaufour/Debiopharm. Pour la même application, Sanofi-Aventis a mis sur le marché des microparticules contenant la buséreléine (Suprecur® MP). D'autres applications ont été développées pour des peptides ou des protéines tels que l'ocrotéotide (Sandostatine® LAR, Novartis) ou le lanréotide (Somatuline® LA, Ipsen Beaufour) indiqués dans le traitement de l'acromégalie qui résulte d'une augmentation de la sécrétion de l'hormone de croissance. À l'inverse, des microparticules contenant l'hormone de croissance (Nutropin Depot®) sont commercialisées par Genentech pour le traitement des pathologies de la croissance des tissus osseux et musculaires.

La libération prolongée de protéines à partir de microparticules a aussi permis de concevoir des vaccins par voie orale. En effet, lorsqu'elles sont administrées par voie orale, les particules permettent de protéger les vaccins contre la dégradation dans le tube digestif et de les libérer sur une durée prolongée permettant une couverture immunologique sur une période très longue. Il a été montré que certaines particules contenant des antigènes protéiques permettaient de cibler les plaques de Peyer. Ces plaques ont la forme de pièces de monnaies et se trouvent disséminées dans le tube digestif. Elles contiennent des cellules capables de déclencher une réponse immunitaire. Les anticorps produits par ces cellules migrent à différents niveaux tissulaires et peuvent neutraliser des agents pathogènes qui tentent de pénétrer dans l'organisme au niveau des muqueuses (bouche, intestin, poumons, tractus génito-urinaire...). Au sein de notre équipe, nous avons démontré qu'il était possible d'immuniser des souris contre l'infection orale par *Salmonella typhimurium* (figure 3). La vaccination a été réalisée grâce à l'administration orale de microparticules de poly(lactide-co-glycolide) contenant un conjugué

thyroglobuline-phosphorylcholine (la phosphorylcholine est un haptène – substance de faible masse moléculaire qui n'est pas antigénique mais qui peut devenir immunogène après fixation à un porteur, le plus souvent une protéine – présent à la surface de plusieurs souches bactériennes) [2]. Plus récemment, nous avons démontré que la capture des particules par les plaques de Peyer permettait aussi d'induire une tolérance vis-à-vis d'une protéine du lait, la  $\beta$  lactoglobuline, diminuant ainsi les allergies vis-à-vis du lait de vache [3].

Enfin, la libération prolongée peut être envisagée pour l'administration locale d'acides nucléiques, par voie intraoculaire par exemple. Des microparticules de poly(lactide-co-glycolide) contenant des nanoparticules formées d'un complexe polymère cationique/oligonucléotide ont été mises au point pour la voie intraoculaire. Ces particules de grande taille permettent de libérer ces complexes sur plusieurs semaines. Les oligonucléotides sont des fragments de gènes qui, en s'appariant avec une partie de l'ARN messager dans le cytoplasme cellulaire, vont bloquer la production d'une protéine impliquée dans une pathologie donnée. Une fois sortis des microparticules, les complexes vont pénétrer au sein des cellules et libérer leur contenu dans le cytoplasme [4-5]. L'internalisation cellulaire des complexes s'effectue par un mécanisme dénommé endocytose. À la suite d'une invagination de la membrane cellulaire, les complexes se retrouvent dans une vacuole, l'endosome. Cette vacuole se rompt ensuite, libérant les complexes dans le cytoplasme. Enfin, l'acide nucléique se dissocie du polymère cationique et rejoint sa cible. Par ailleurs, la formation de microparticules à partir d'agrégats de nanoparticules a aussi été envisagée. Dans ce cas, ces particules, appelées particules troyennes, sont formées d'agrégats contrôlés de nanoparticules [6].

## Microparticules à libération programmée

La libération du principe actif peut être fonction du milieu dans lequel les microparticules sont localisées. Il est donc possible de formuler des microparticules à partir de polymères qui sont sensibles aux variations de pH. Ces modifications de pH peuvent se produire dans le tube digestif où le pH augmente de l'estomac (pH 1-3) jusqu'à l'intestin (pH 6,8) ou dans certaines pathologies où l'activité métabolique produit un environnement légèrement acide ou alcalin. Les polymères sensibles aux variations de pH contiennent des groupements acides (acides carboxyliques) ou basiques (amines) qui acceptent ou libèrent des protons en fonction du pH de l'environnement, entraînant l'ionisation des chaînes polymères. Le gonflement des microparticules contenant les polyélectrolytes est principalement dû à la répulsion électrostatique entre les charges présentes sur la chaîne de polymère, qui se traduit par la libération du principe actif. L'extension du gonflement peut être modulée par d'autres paramètres qui contrôlent la répulsion électrostatique, tels que la force ionique. Il existe de nombreux polymères pour formuler ce type de microparticules et principalement des dérivés du poly(méthyl méthacrylate), poly(acide méthacrylique) et poly(acide acrylique) en mélange ou couplés à d'autres polymères tels que le polyéthylène glycol. Il est aussi possible d'utiliser des polymères tels que le N-isopropylacrylamide pour conférer des propriétés de sensibilité à la température. Celui-ci sera utilisé seul ou en mélange avec des polymères pH-sensibles.

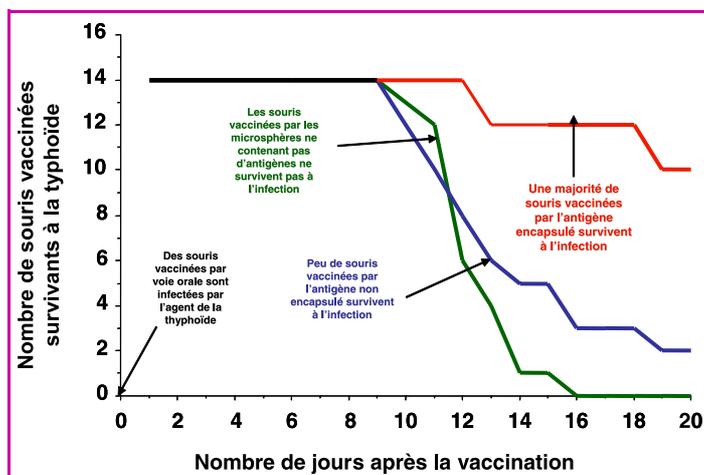


Figure 3 - Protection de souris contre l'infection à *Salmonella typhimurium* après vaccination orale par des microparticules contenant un conjugué thyroglobuline-phosphorylcholine.

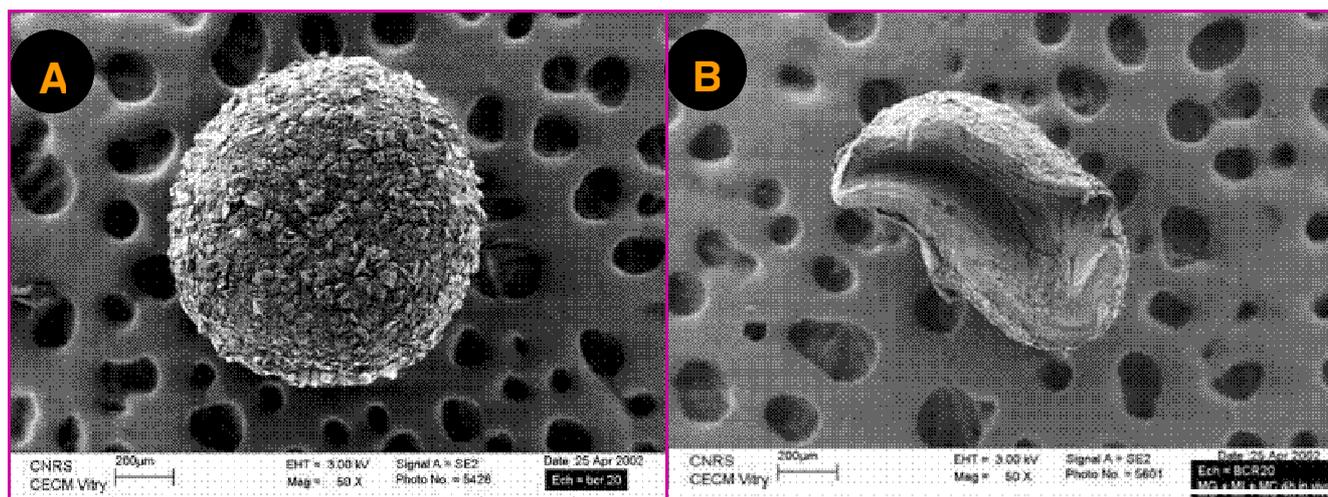


Figure 4 - Billes de pectine intactes avant administration (A) et dégradées dans le côlon après extraction du côlon de souris suite à l'administration orale (B).

Enfin, certains polymères, souvent d'origine naturelle, sont sensibles au milieu enzymatique et seront dégradés uniquement en présence d'enzymes capables de les hydrolyser. C'est le cas de certains polysaccharides (amylose, chitosane, sulfate de chondroïtine, cyclodextrines, dextrans, gomme de guar, inuline, pectine) ou des azopolymères qui sont dégradés par des enzymes de la flore colique. Des microparticules formulées à partir de ces polymères seront capables de libérer *in situ* et de manière spécifique leur contenu dans le côlon.

Les applications des microparticules à libération programmée sont nombreuses. Elles concernent plusieurs voies d'administration, mais la voie orale a fait l'objet du plus grand nombre d'études. Il est ainsi possible d'utiliser des microparticules pH-sensibles pour délivrer de manière spécifique des principes actifs dans l'intestin en échappant au pH acide de l'estomac. Par ailleurs, on pourra envisager des microparticules constituées de polymères thermosensibles pour délivrer spécifiquement des molécules dans des régions inflammatoires du tube digestif où l'on observe des variations de température. Un autre exemple de libération programmée concerne la délivrance colique : des microparticules constituées par des polysaccharides peuvent être dégradées par des enzymes présentes dans le côlon car produites par des bactéries secrétées par la flore colique (figure 4). Il est ainsi possible de libérer localement des peptides, des protéines ou des acides nucléiques ou encore, en raison du temps de transit très long à ce niveau du tractus gastro-intestinal et de la faible activité protéasique locale, de favoriser leur absorption [7]. Ce concept a été appliqué à l'administration orale d'insuline grâce à l'utilisation de microsphères d'azopolymères. Plus récemment, au sein de notre équipe, nous avons utilisé des particules de pectine pour l'administration de  $\beta$  lactamases en vue d'hydrolyser les  $\beta$  lactamines résiduelles [8]. Ces antibiotiques non absorbés dans la partie haute du tube digestif et présents dans le colon sont capables d'induire une résistance aux  $\beta$  lactamines chez des bactéries de la flore colique. Une fois ces bactéries éliminées dans l'écosystème, elles peuvent transmettre leur gène de résistance à des bactéries pathogènes, entraînant ainsi des problèmes de résistance aux antibiotiques forts médiatisés ces derniers temps. L'hydrolyse locale des  $\beta$  lactamines résiduelles devrait permettre de diminuer la résistance des bactéries pathogènes aux antibiotiques.

## Conclusion

L'apport de la microencapsulation dans le domaine de l'administration des médicaments a pris un essor considérable ces dernières années avec un certain nombre de produits mis sur le marché, particulièrement dans le domaine des systèmes à libération prolongée. Cette réussite est essentiellement liée d'une part à l'utilisation de biomatériaux biodégradables intelligents et à la meilleure compréhension des mécanismes de libération des principes actifs, et d'autre part à une meilleure connaissance du devenir de ces systèmes dans l'organisme.

## Références

- [1] Andrieux K., Desmaële D., D'Angelo J., Couvreur P., *L'Act. Chim.*, **2003**, p. 135.
- [2] Allaoui-Attarki K., Pecquet S., Fattal E., Chachaty E., Couvreur P., Andreumont A., *Infection and Immunity*, **1997**, *65*, p. 853.
- [3] Pecquet S., Leo E., Fritsché R., Pfeifer A., Couvreur P., Fattal E., *Vaccine*, **2000**, *18*, p. 1196.
- [4] De Rosa G., Quaglia F., Bochet A., Ungaro F., Fattal E., *Biomacromolecules*, **2003**, *4*, p. 529.
- [5] Gomes Dos Santos A.L., Bochet A., Doyle A., Tsapis N., Siepmann J., Siepmann F., Schmaller J., Besnard M., Behar-Cohen F., Fattal E., *Journal of Controlled Release*, **2006**, *112*, p. 369.
- [6] Tsapis N., Bennett D., Jackson B., Weitz D., Edwards D., *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **2002**, *99*, p. 12001.
- [7] Bourgeois S., Harvey R., Fattal E., *American Journal of Drug Delivery*, **2005**, *3*, p. 171.
- [8] Bourgeois S., Laham A., Besnard M., Andreumont A., Fattal E., *Journal of Drug Targeting*, **2005**, *13*, p. 277.



E. Fattal



A. Bochet



N. Tsapis

**Elias Fattal** (auteur correspondant) est professeur et directeur adjoint, **Nicolas Tsapis** est chargé de recherche et **Amélie Bochet** est maître de conférences, à l'UMR CNRS 8612, Faculté de Pharmacie de l'Université de Paris-Sud\*.

\* UMR CNRS 8612, Faculté de Pharmacie, Université de Paris-Sud, 5 rue Jean-Baptiste Clément, 92296 Châtenay-Malabry.  
Courriels : elias.fattal@u-psud.fr,  
nicolas.tsapis@u-psud.fr,  
amelie.bochet@u-psud.fr

# Les polymères utilisés dans le domaine des biomatériaux

## De la fonctionnalisation de surface à l'ingénierie tissulaire

Youri Arntz, Vincent Ball (*coordinateur*), Nadia Benkirane-Jessel, Fouzia Boulmedais, Christian Debry, Maria Dimitrova, René Elkaim, Youssef Haikel, Joseph Hemmerlé, Philippe Laval, Florent Meyer, Sabine Muller, Joëlle Ogier, Pierre Schaaf, Bernard Senger, Vesna Stanic, Henri Tenenbaum, Dominique Vautier, Constant Vodouhê, Dmitry Volodkin, Jean-Claude Voegel et Sandra Werner

**Résumé** Cet article définit en premier lieu les conditions sous lesquelles un matériau implanté dans un organisme vivant se comporte comme un « biomatériau ». Il illustre ensuite par plusieurs exemples comment des polymères, d'origine naturelle ou synthétique, peuvent être utilisés, soit pour recouvrir la surface d'un implant dans le but de contrôler l'adsorption non spécifique de protéines et de favoriser l'adhésion cellulaire spécifique à la surface de l'implant, soit en tant que gel dans le but de favoriser la recolonisation tissulaire d'une région qui a subi une lésion. Il montre enfin que la chimie combinatoire peut permettre d'élargir la gamme de polymères utilisables en tant que biomatériaux.

**Mots-clés** **Biomatériaux, polyesters hydrolysables, polysaccharides, poly(amino acides), transfection de gènes, chimie combinatoire.**

**Abstract** **Polymers in biomaterials science: from surface functionalisation to tissue engineering**  
This article first defines the conditions a material implanted in a living organism has to fulfil to be considered as a biomaterial. It presents then some examples in which natural or synthetic polymers can be used either to coat the surface of an implant, with the aim to simultaneously reduce non specific protein adsorption and to favour specific cell adhesion, or in the form of a gel in order to induce recolonisation of a tissue in an injured region of a living organism. It finally shows that more efficient polymers for a given purpose can be synthesised with the tools of combinatorial chemistry.

**Keywords** **Biomaterials, hydrolysable polyesters, polysaccharides, poly(aminoacids), gene transfection, combinatorial chemistry.**

Cet article fait suite à la conférence donnée par Vincent Ball lors des 22<sup>e</sup> Journées pour l'innovation et la recherche dans l'enseignement de la chimie (JIREC) qui se sont tenues à Strasbourg en mai 2006, sur le thème : « Polymères organiques : du monomère à l'objet ».

Nous nous intéresserons principalement ici à « l'objet polymère » en biologie, en considérant non seulement les polymères de synthèse, mais également les biopolymères. Cette revue ne peut prétendre en aucun cas couvrir l'ensemble du domaine des biomatériaux et de l'utilisation des polymères dans ce domaine. Elle a pour cible principale des étudiants en sciences des matériaux et des chercheurs non spécialistes des biomatériaux. Le domaine est vaste et complexe et de nombreuses revues spécialisées comme *Biomaterials*, *Journal of Biomaterials Research*, *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* ou *Acta Biomaterialia* lui sont exclusivement consacrées. Il faut y ajouter des revues plus généralistes à la fois en physique, chimie et

biologie qui publient des articles consacrés au sujet. Nous souhaitons simplement illustrer la problématique générale dans le domaine des biomatériaux et décrire les principales familles de polymères couramment utilisés, l'ensemble des conditions qu'un polymère doit satisfaire pour pouvoir être intégré dans un organisme vivant. Quelques applications récentes dans le domaine de la libération contrôlée de médicaments seront présentées. Nous montrerons aussi l'utilisation de matrices polymères ou de gels comme milieux de recolonisation cellulaire. Ce sera l'occasion de décrire un domaine en émergence au sein des sciences biologiques : l'ingénierie tissulaire. Enfin, nous illustrerons par un exemple concret – celui de la préparation de polymères pour la thérapie génique – comment la chimie combinatoire pourra révolutionner les stratégies de recherche dans la conception de polymères utilisables en tant que biomatériaux.

Le but réel de cet article est de montrer que l'ingénierie des biomatériaux est un domaine de recherche passionnant, tourné vers les applications biomédicales mais en relation

## Glossaire

Les termes suivis d'un astérisque\* dans le texte sont définis ci-dessous.

**$\alpha$ -MSH** : abréviation de «  $\alpha$ -melanocyte stimulating hormone ».

**Angiogenèse** : processus biologique aboutissant à la genèse de vaisseaux sanguins.

**Antigène** : toute molécule reconnue comme étrangère par le système immunitaire de l'hôte.

**Adsorption** : fixation transitoire ou définitive d'une molécule à une interface. Dans le premier cas, l'adsorption est dite réversible, dans le second, elle est dite irréversible.

**Chondrocytes** : cellules arrondies et volumineuses (d'un diamètre de 20 à 40  $\mu\text{m}$ ) présentes dans le cartilage qui synthétisent et dégradent les composants de la matrice extracellulaire du cartilage, à savoir le collagène de type II et IX en particulier et les glycosaminoglycanes. Elles participent également à la synthèse et au maintien du tissu cartilagineux.

**Endocytose** : mécanisme de transport de molécules voire de particules (telles que des virus ou des bactéries) vers l'intérieur de la cellule, c'est donc un mécanisme d'internalisation. L'endocytose a lieu quand une partie de la membrane entoure complètement une particule ou une grosse molécule et la fait pénétrer de l'extérieur vers l'intérieur d'une cellule.

**Endosomes** : sous-compartiments de la cellule, ou organelles, sur lesquels des « vésicules d'endocytose » s'accrochent et fusionnent pour libérer leur contenu (les molécules qui étaient à la surface de la cellule et qui ont été internalisées à l'intérieur de cette vésicule). Ces vésicules d'endocytose se sont formées à la surface de la cellule. Elles portent généralement un manteau protéique organisé en plusieurs couches. La dernière couche protéique est formée d'un assemblage de clathrine qui constitue une « cage » autour de la vésicule. Les macromolécules qui sont

internalisées dans la cellule par ces vésicules peuvent être des récepteurs placés à la surface de la cellule et qui ont interagi avec un ligand extracellulaire. Les endosomes sont des compartiments qui permettent le tri des molécules internalisées. Celles-ci pourront avoir plusieurs devenir : soit repartir vers la membrane plasmique, soit être dégradées par des systèmes de dégradation intracellulaire, soit être redirigées vers d'autres compartiments intracellulaires.

**Hémoglobine** : protéine multimérique obtenue par l'association de deux sous-unités  $\alpha$  et de sous-unités  $\beta$ . Chaque sous-unité est capable de fixer une molécule de dioxygène. Lorsque l'une des sous-unités a fixé une molécule  $\text{O}_2$ , l'affinité de la sous-unité suivante pour le dioxygène augmente. L'hémoglobine présente donc une coopérativité positive pour la fixation de  $\text{O}_2$ .

**Oxydant** : toute substance (atome, molécule ou ion) capable de fixer un ou plusieurs électrons. De ce fait un oxydant subit une réaction de réduction.

**PGA- $\alpha$ -MSH** : acide poly-L-glutamique conjugué au  $\alpha$ -MSH.

**Polymère en bloc** : polymère linéaire comportant des régions de composition différentes. Un copolymère dibloc comporte deux blocs et sa composition peut être écrite sous la forme AB où le bloc A comporte en moyenne  $m$  monomères de type a et le bloc B,  $n$  monomères de type b.

**Porosité** : elle est égale au rapport entre le volume des régions vides et le volume total du matériau.

**Réducteur** : toute substance (atome, molécule ou ion) capable de libérer un ou plusieurs électrons. De ce fait un réducteur subit une réaction d'oxydation.

**Sarcome** : tumeur maligne qui se forme à partir d'un tissu conjonctif ou de tissus qui en dérivent comme les tissus musculaires ou osseux.

permanente avec la recherche fondamentale, à l'interface entre la physique, la chimie et la biologie. Nous ne nous contenterons pas d'utiliser des exemples tirés de nos propres laboratoires de recherche, mais nous essayerons de couvrir le domaine de la manière la plus large possible, sans toutefois prétendre à l'exhaustivité. Avant de décrire les grandes familles de polymères utilisées, il nous faut expliquer ce qu'est un biomatériau et quelles sont les exigences auxquelles il doit satisfaire.

### Qu'est-ce qu'un biomatériau ?

De nombreux ouvrages de référence peuvent être consultés à ce sujet [1-2]. Nous nous contenterons ici de dire qu'« un biomatériau est un dispositif destiné à améliorer les propriétés d'un organe ou à remplacer un organe ou bien encore à remplacer/créer une fonction déficiente dans un organisme vivant. » Des exemples de tels matériaux sont nombreux : valves cardiaques (en carbone pyrolytique, en titane...), stimulateurs cardiaques (en acier inoxydable), prothèses dentaires (en alliage d'or, en biocéramique, divers alliages du titane...), prothèses orthopédiques (en alliage titane-aluminium-vanadium...), lentilles de contact (faites à partir d'un hydrogel), systèmes de dialyse rénaux... De nouveaux produits sont en cours d'optimisation et seront bientôt mis sur le marché : peaux artificielles, pancréas bioartificiel, etc. Il faut rappeler que le sang est un tissu et que toute tentative d'ajout de transporteur d'oxygène, par exemple des fluorocarbures, destiné à remplacer une hémoglobine\* qui fixe mal le dioxygène, consiste à « implanter » un biomatériau dans ce tissu.

Vu le vieillissement de la population, le marché des biomatériaux est en expansion constante. Rien qu'aux États-Unis, on estime à environ 34 millions par an le nombre d'interventions chirurgicales liées à l'implantation d'un biomatériau...

D'après la définition proposée ci-dessus, un biomatériau est donc destiné à être placé au contact intime de tissus et de fluides biologiques. Ces fluides assurent les échanges de dioxygène, de dioxyde de carbone, des oxydes d'azote entre les tissus et l'atmosphère, mais également les échanges de toutes les molécules impliquées dans les processus métaboliques et les molécules liées aux échanges d'information (hormones, molécules du système immunitaire...). Considérons la composition moyenne du sang : l'ensemble des cellules en suspension (globules blancs, globules rouges et plaquettes... qui en toute rigueur ne doivent pas être considérées comme des cellules) occupe une fraction volumique de 40 % tandis que la phase liquide (le plasma) occupe les 60 % du volume restant. Cette phase liquide est avant tout une solution d'électrolyte (solution ionique) dont le pH est fixé par les ions phosphates essentiellement (le pKa du couple  $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$  est égal à 7,2). Cette solution électrolytique solubilise les molécules du métabolisme ainsi que des agrégats lipidiques. Elle contient de 6 à 8 % de protéines en fraction massique. Parmi celles-ci, l'albumine et le fibrinogène sont les plus abondantes et interagissent avec presque toutes les interfaces en s'y adsorbant. La surface d'un biomatériau recouverte d'une couche de protéines adsorbées pourra interagir avec des cellules ; nous y reviendrons. Ce phénomène d'adsorption\* est complexe, de par l'abondance et la diversité des protéines solubilisées dans le plasma, et dynamique (*encadré 1*).

**Encadré 1****Dynamique de l'adsorption des protéines**

Les premières molécules protéiques à pouvoir s'adsorber sur une surface à partir du sérum sont celles qui atteignent en premier l'interface solide-liquide considérée. Ce sont donc celles pour lesquelles le flux diffusif initial est le plus élevé, ce flux étant égal au produit du coefficient de diffusion de la protéine considérée et de sa concentration (si l'on considère que la concentration initiale en protéines adsorbées à l'interface est nulle). Mais lorsqu'une protéine a établi un certain nombre d'interactions avec les molécules exposées à la surface d'un biomatériau, elle n'y reste pas nécessairement adsorbée de façon irréversible : elle peut être déplacée par des protéines de même nature ou plus probablement par des protéines de nature différente, si celles-ci présentent une plus forte affinité pour la surface du biomatériau (en général, la variation d'énergie libre associée à l'adsorption est une fonction croissante de la masse moléculaire de la protéine pour une raison très simple : les protéines de forte masse moléculaire présentent une grande surface accessible et donc potentiellement un plus grand nombre de sites susceptibles d'interagir avec les groupements chimiques du substrat d'adsorption).

Le déplacement de protéines déjà adsorbées par des protéines en solution constitue le phénomène de « l'échange protéique ». Il a été amplement étudié dans la littérature à la fois pour des systèmes simples et pour une protéine individuelle (marquée avec un fluorophore ou un isotope radioactif) au sein du plasma [3]. Les protéines adsorbées après l'atteinte d'un état stationnaire constitueront des sites d'ancrage pour l'adhésion cellulaire. Il faut retenir que l'adsorption protéique à la surface d'un biomatériau non fonctionnalisé est un phénomène aspécifique tandis que l'adhésion cellulaire est un processus hautement spécifique par lequel des récepteurs protéiques exposés à la surface de la membrane cellulaire interagissent avec des motifs d'acides aminés immobilisés sur la cible, l'endroit où la cellule considérée va établir le premier contact avec son substrat d'adhésion (avant une cascade d'événements ultérieurs : étalement, migration, prolifération et une éventuelle différenciation cellulaire). Il existe un grand nombre de motifs d'adhésion spécifiques, dont la triade RGD (R, G et D désignent respectivement l'arginine, la glycine et l'acide aspartique) qui est présente dans de nombreuses protéines dont le fibrinogène et la fibronectine, deux protéines que l'on retrouve souvent adsorbées à des interfaces solide-liquide. Si de telles protéines s'adsorbent sur la surface d'un biomatériau, la surface de celui-ci devient un site d'adhésion pour de nombreux types de cellules. Cette adhésion cellulaire peut être ou non un événement favorable. Au titre des événements défavorables, on peut citer le dépôt de biofilms bactériens, mais aussi la formation de « couches fibreuses » autour des implants, celles-ci résultant de l'adhésion de fibroblastes (suite à l'adsorption de protéines) à la surface des implants. Ces cellules expriment alors à leur surface des récepteurs spécifiques du collagène dont le dépôt entraîne l'apparition de ladite couche fibreuse qui peut ralentir, voire empêcher l'accès des molécules du métabolisme aux cellules en contact avec l'implant.

L'adsorption protéique est également un phénomène complexe par le fait que de nombreux substrats induisent une dénaturation progressive (un changement de conformation) des protéines adsorbées. De ce fait, la nature des groupements chimiques exposés à la solution aqueuse par

les protéines adsorbées est susceptible de changer en fonction du temps, même si le processus d'échange peut être considéré comme achevé.

En tout cas, si l'expérimentateur ou le clinicien ne sont pas capables de contrôler l'adsorption protéique, ils ne seront pas maîtres des événements ultérieurs. Il serait donc souhaitable d'éviter toute adsorption non spécifique (encadré 2) et d'immobiliser à la surface du biomatériau des molécules interagissant spécifiquement avec un type cellulaire donné.

**Encadré 2****Principe des stratégies visant à réduire l'adsorption aspécifique des protéines**

De vastes programmes de recherche (encore en cours) visent à greffer selon une orientation contrôlée et avec une densité de surface contrôlée des molécules possédant à la fois des propriétés permettant d'éviter toute adsorption spécifique et contenant des sites permettant une adsorption ou une adhésion cellulaire spécifiques. Ces deux fonctionnalités peuvent être obtenues à partir d'un polymère à structure ramifiée dont le « squelette » permet l'immobilisation à la surface du biomatériau et dont les « bras » portent, par exemple, du polyéthylène glycol (PEG) permettant de réduire considérablement l'adsorption protéique aspécifique et des motifs RGD à densité contrôlée afin de favoriser l'adhésion cellulaire. Cet exemple donne une première illustration du rôle que jouent les polymères dans le domaine de l'ingénierie de surface des biomatériaux.

Jusqu'à présent, nous avons insisté sur l'importance qu'il y avait à contrôler de manière spécifique l'adsorption des protéines à la surface d'un biomatériau, mais ce n'est pas le seul problème à résoudre lors de la mise en contact d'un biomatériau avec un fluide biologique. Nous allons maintenant décrire le cahier des charges complet que doit satisfaire un biomatériau. Par la même occasion, nous allons répertorier les avantages (et les inconvénients) que peuvent offrir des biomatériaux à base de polymères par rapport à des biomatériaux à base de métaux ou d'alliages métalliques.

**Le cahier des charges des biomatériaux du futur**

Avant de poursuivre, il faut définir la notion de « biocompatibilité » : on dit qu'un matériau est biocompatible s'il est capable de remplir sa fonction sans effet adverse sur l'environnement biologique dans lequel il est implanté. Les phosphates de calcium, les carbonates de calcium, la silice ainsi que d'autres biocéramiques sont des matériaux biocompatibles.

En plus du contrôle de l'adsorption des protéines à l'interface solide-liquide, un « bon » biomatériau doit :

**• être stable dans son site d'implantation**

Cette stabilité doit être à la fois de nature chimique et de nature physique. Dans le domaine de la stabilité chimique, le biomatériau, s'il est de nature polymère, ne doit pas libérer de molécules toxiques durant toute la période d'implantation dans l'organisme, c'est-à-dire sur un intervalle de temps de plusieurs années. Ce critère limite fortement le choix des polymères utilisables, surtout si l'on souhaite que le biomatériau polymère se dégrade progressivement par hydrolyse (il va libérer alors des monomères que l'organisme doit éliminer).

Dans le cas d'implants à base d'alliages métalliques, le critère de stabilité chimique repose essentiellement sur l'absence de libération d'ions métalliques issus de la corrosion (les fluides biologiques sont des milieux relativement oxydants\* et les métaux sont pour la plupart de bons réducteurs\*). Ainsi, les métaux « idéaux » en science des biomatériaux sont ceux qui se recouvrent spontanément d'une couche d'oxyde compacte et fortement imperméable. Le titane recouvert d'une couche d'oxyde compacte et dont l'épaisseur croît progressivement suivant le temps de contact avec le fluide biologique constitue un métal modèle [4].

En termes de stabilité physique, les propriétés mécaniques du biomatériau utilisé comme prothèse doivent être peu affectées sur un nombre de cycles charge-décharge très élevé (de l'ordre de  $10^8$ ). En particulier, les forces de frottement conduisent souvent à la perte d'intégrité du matériau et à la libération de petites particules au voisinage du site de l'implantation. Il apparaît que des débris de taille inférieure à 5 ou 10  $\mu\text{m}$  sont en général particulièrement toxiques vis-à-vis de la plupart des lignées cellulaires, même si le matériau dont ces débris sont issus est parfaitement biocompatible [5].

• **posséder une rugosité et une porosité bien contrôlées**

Là aussi, il n'y a pas de réponse bien tranchée : est-il plus favorable d'utiliser des surfaces rugueuses (dont la surface réelle accessible aux molécules d'intérêt est supérieure à la surface plane) ou des surfaces très lisses ? La même question se pose quant à la porosité\* et la distribution de la taille des pores. D'un côté, une forte rugosité peut augmenter la surface de contact entre l'implant et les cellules du tissu avoisinant, ce qui va favoriser l'adhésion entre les deux matériaux. Un exemple de biomatériau rugueux à base de macrobilles de titane destiné à servir comme prothèse de trachée après une fonctionnalisation chimique adéquate est représenté *figure 1* [6].



Figure 1 - (a) Exemple de prothèse de trachée constituée de billes de titane, comprenant deux ouvertures en forme de cylindre aux extrémités (photographie de gauche, flèches blanches) ainsi qu'une ouverture longitudinale (photo de droite, flèche blanche) ; (b) Photographie montrant une telle prothèse en titane implantée au niveau de la trachée d'un rat (d'après [6]).

D'un autre côté, une surface trop rugueuse ou trop poreuse va offrir un grand nombre de crevasses favorables au développement de biofilms bactériens. Il a été démontré que des surfaces très peu rugueuses à base de polymères ou de céramiques pouvaient induire des sarcomes\* alors que ce n'est pas le cas avec des surfaces rugueuses ayant la même composition chimique.

• **être facilement stérilisable**, afin de réduire les risques de contamination et de prolifération bactériennes.

• **avoir des propriétés mécaniques contrôlées**, notamment une élasticité proche de celle des tissus environnants.

De nombreux travaux expérimentaux ont montré qu'en plus de motifs d'adhésion spécifiques à sa surface, un biomatériau devait posséder une élasticité appropriée [7]. À titre d'exemple, beaucoup de lignées cellulaires adhèrent très mal sur des matériaux présentant un faible module d'Young [7]. Nous rappelons sur la *figure 2* que le module d'Young est égal à la pente de la courbe qui relie la contrainte appliquée au matériau (un exemple de dispositif permettant de mesurer le module d'élasticité est représenté schématiquement sur la partie droite) à sa déformation (une déformation longitudinale dans ce cas). Cette relation de proportionnalité entre la contrainte et la déformation n'est valable que dans le domaine des faibles déformations.

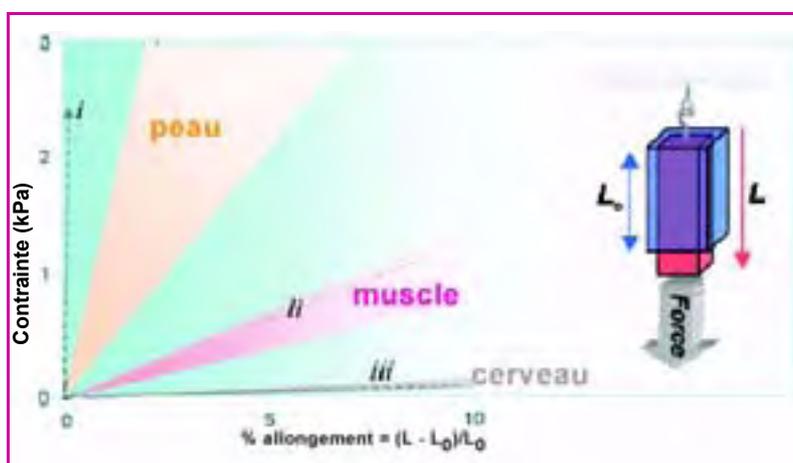


Figure 2 - Représentation de la variation de la contrainte lors de l'allongement d'un matériau en fonction de sa déformation, dans le régime des petites déformations.

La pente des droites obtenues donne la valeur du module d'Young du matériau. De haut en bas : domaine de variation du module d'Young pour la peau, le tissu musculaire et le tissu cérébral. La partie droite représente un schéma de principe du dispositif expérimental (d'après [7]).

• C'est presque anecdotique, mais pour de nombreuses applications, notamment dans le domaine dentaire, le matériau doit **présenter un aspect « esthétique »**, en termes de couleur, de brillance, etc.

• Enfin, et c'est sans doute le critère essentiel, le matériau implanté ne doit **donner lieu ni à une réaction de rejet immunitaire, ni à une réaction inflammatoire marquée**.

Il est facile d'imaginer qu'il y a très peu de matériaux disponibles dans le commerce qui satisfont simultanément à tous ces critères. On comprend donc la nécessité qu'il y a de mettre de nouveaux

produits sur le marché en recouvrant des matériaux solides déjà disponibles à l'aide d'un revêtement dont le but est de rendre ce matériau « furtif » vis-à-vis des tissus biologiques. D'un autre côté, il n'est souvent pas nécessaire d'utiliser un matériau solide : pour la réparation ou la régénération d'un tissu mou, il peut sembler intéressant d'implanter un gel poreux qui peut constituer, après optimisation de ses

propriétés mécaniques, une matrice de croissance pour les cellules du tissu envisagé. Dans les deux cas de figure, on imagine aisément le rôle que peuvent jouer les matériaux polymères. Le premier cas consiste en la fonctionnalisation « classique » de la surface d'un biomatériau (on peut considérer à ce titre l'adsorption protéique à partir du plasma comme la fonctionnalisation passive d'un biomatériau par un mélange de biopolymères), tandis que le second cas constitue un domaine de recherche émergent : celui de l'ingénierie tissulaire [8-11].

Notons qu'un biomatériau dit « du futur » doit non seulement isoler l'implant des fluides ou des tissus environnants, mais qu'il devra également provoquer une réponse biologique « programmée ». Nous allons présenter maintenant quelques exemples, que nous espérons significatifs, de fonctionnalisation de biomatériaux et d'ingénierie tissulaire.

## Recouvrement de biomatériaux par des films polymères : contrôle de l'adhésion cellulaire

Avant de décrire les stratégies de fonctionnalisation de matériaux solides par des films polymères biocompatibles, il nous faut énumérer les principaux polymères utilisés. Les molécules sélectionnées doivent répondre aux critères généraux identifiés dans la partie précédente, à savoir essentiellement l'absence de réaction immunitaire et inflammatoire et l'absence de libération de molécules toxiques, ainsi que le contrôle des propriétés mécaniques.

Afin d'éviter toute réaction de rejet, il semble naturel de s'inspirer des polymères que les organismes vivants synthétisent, donc de mettre en œuvre une stratégie de « biomimétisme ». Une large gamme de biopolymères sont présents dans tout le règne animal ou végétal (*figure 3*) et devraient donc permettre de réduire le risque de rejet immunitaire. On peut citer l'acide hyaluronique (HA) qui joue un rôle majeur comme éponge à eau, les alginate (polymères en bloc\* d'acide mannuronique (M sur la *figure 3*) et d'acide glucuronique (G sur la *figure 3*) où les blocs d'acide glucuronique servent de point de réticulation, par formation d'un pont ionique entre les chaînes, lors de la gélification induite

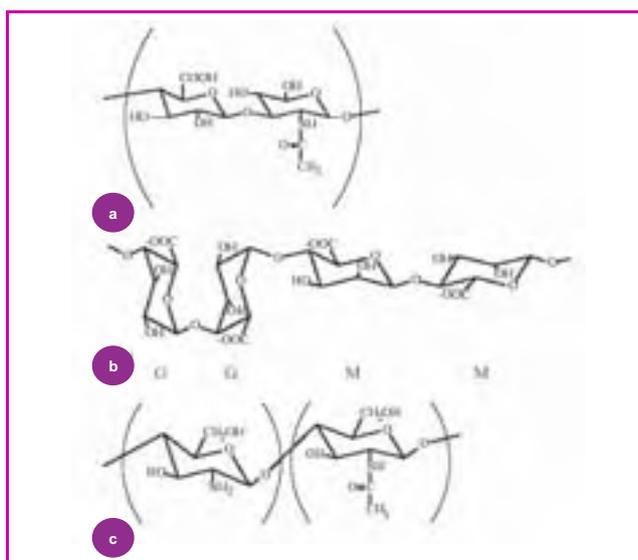


Figure 3 - Structure (a) de l'unité monomère de l'acide hyaluronique (HA), (b) d'une séquence GGMM de l'alginate et (c) de deux monomères du chitosane, le premier sous forme déacétylée et le second sous sa forme acétylée (insoluble dans l'eau).

par l'addition d'une solution contenant des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ), le chitosane (Cl) qui est la forme déacétylée de la chitine (le biopolymère le plus abondant sur Terre, que l'on trouve par exemple dans la cuticule des crustacés).

D'autres biopolymères comme la chondroïtine sulfate et l'héparine sulfate sont également utilisés pour le recouvrement d'implants afin de leur conférer des propriétés anticoagulantes. Les biopolymères utilisés doivent être purifiés avant leur utilisation directe ou leur fonctionnalisation. Cette purification a pour but d'éliminer toute trace de molécules qui pourraient être reconnues comme des antigènes\* par l'organisme dans lequel le biomatériau doit être implanté. Il est utile de préciser que cette « contrainte » de pureté rend les études beaucoup plus compliquées lorsqu'il s'agit de passer d'une expérimentation *in vitro* à une expérimentation *in vivo*, c'est-à-dire au moment de l'implantation chez l'animal ou chez l'homme. Les tests *in vitro* constituent néanmoins une étape préliminaire indispensable au développement d'un nouveau biomatériau.

Les protéines et les polypeptides appartiennent bien sûr à cette famille de biopolymères utilisés pour la fonctionnalisation de biomatériaux. Notons que si l'on veut préparer des biomatériaux injectables, un contrôle rigoureux de la viscosité des solutions s'impose également.

En tout état de cause, les biopolymères ne constituent pas la panacée et il faut avoir recours aux polymères de synthèse, de façon « réfléchie », afin d'élargir le champ des polymères utilisables. De manière générale, les polymères sélectionnés sont soit hydrosolubles, soit hydrophobes mais se dégradant au contact de l'eau. Dans ce dernier cas, le « biomatériau polymère » est conçu pour avoir une durée de vie limitée. On utilise ainsi très fréquemment des polyesters qui subissent une hydrolyse au contact de l'eau (la réaction d'estérification est réversible : la réaction de l'eau sur un ester aboutit à la formation d'un alcool et d'un acide carboxylique). Nous avons déjà signalé à maintes reprises que les produits de dégradation du polymère initial ne doivent pas être cytotoxiques. C'est le cas des produits de dégradation des copolymères à base d'acide (poly-D-lactique) et (poly-D-glycolique) qui produisent de l'acide lactique et de l'acide glycolique (produits du métabolisme) lors de leur hydrolyse. Dans le cas des polymères hydrophiles, le poly(oxyde d'éthylène) (PEO ou PEG) est fréquemment utilisé pour le recouvrement d'implants par un film permettant de supprimer presque totalement toute adsorption protéique non spécifique [12]. Il a été démontré que la longueur moyenne des chaînes greffées ainsi que la densité de greffage constituent les paramètres les plus importants pour réduire l'adsorption protéique. Le mécanisme conduisant à une forte réduction de l'adsorption protéique continue d'être étudié de façon intensive [13-14]. Il semble que la forte réduction de l'adsorption protéique soit liée à la flexibilité des chaînes de PEG et à la structuration de l'eau autour de ces chaînes. Notons aussi qu'il est possible de greffer le PEG (préalablement modifié à ses extrémités de chaîne) sur des polyamino acides cationiques ou anioniques [14-15]. Si ceux-ci conservent une partie de leur densité de charge initiale après greffage, il est possible de les déposer par simple adsorption sur la surface d'un biomatériau (qui le plus souvent porte une densité de charge électrostatique non nulle à pH physiologique). La structure des unités monomères de polymères hydrophiles fréquemment utilisés pour la fonctionnalisation de biomatériaux est représentée sur la *figure 4*.

Il existe différentes méthodes d'immobilisation, schématisées sur la *figure 5*, de ces polymères sur la surface d'un

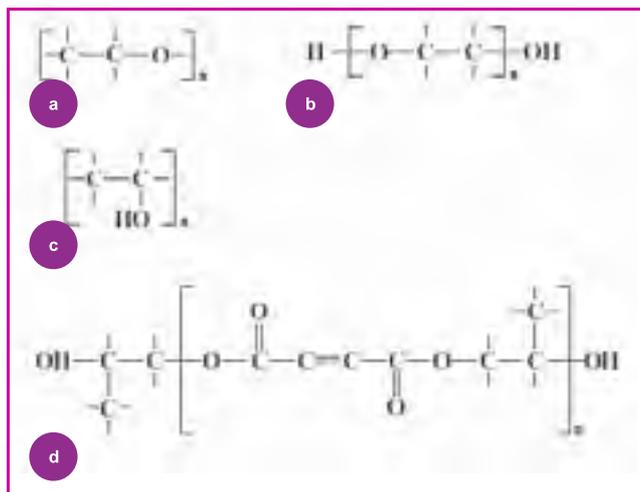


Figure 4 - Structure des unités monomères du (a) : poly(oxyle d'éthylène), (b) : poly(éthylène glycol), (c) : alcool poly(vinyle) et (d) : poly(propylène fumarate).

implant. La figure représente spécifiquement le cas des polypeptides et des protéines, mais ces concepts peuvent être étendus à tous les biopolymères envisagés.

On peut également utiliser des matériaux fortement poreux fabriqués à partir de gels ou hydrolysables contenant des substances actives qui seront libérées progressivement lors de la dégradation spécifique de la matrice polymère. Les pores du matériau solide servent alors simplement de matrice d'imprégnation [16]. Dans le même ordre d'idées, de nombreux travaux ont consisté à déposer un gel à la surface du matériau, les polymères constitutifs de ce gel comportant des motifs d'adhésion cellulaire greffés de manière covalente (voir [9] pour de plus amples détails). Le gel poreux va être progressivement envahi par les cellules qui y trouveront ainsi une matrice tridimensionnelle permettant leur prolifération.

Notons que de nombreux films polymères à base d'hydrogels ou de multicouches de polyélectrolytes (la stratégie de fonctionnalisation employée dans nos laboratoires repose sur l'adsorption alternée d'un polycation et d'un polyanion sur un substrat portant une densité de charge non nulle dans les conditions du dépôt, *figure 6*) ne présentent pas les propriétés mécaniques adéquates pour l'adhésion cellulaire et peuvent même être détachés du substrat sous l'influence d'une contrainte de cisaillement assez faible. Il faut donc dans certains cas augmenter la densité volumique de points de réticulation au sein du film ou du gel déposé. Cet objectif peut être atteint par une voie de réticulation chimique [17], ou de façon plus « biomimétique » par le dépôt d'un matériau composite (qui permet d'augmenter le module élastique du matériau) alliant une charge inorganique (qui doit être biocompatible) et un « liant » organique [18]. À titre d'exemple, on peut mentionner la combinaison de nanotubes de carbone et de polymères hydrolysables comme matrices injectables [19] pour l'ingénierie tissulaire.

Il a été démontré qu'une augmentation de la concentration d'agent réticulant – le 1-éthyl-3-(3-diméthyl aminopropyl) carbodiimide, EDC (*encadré 3*) – en présence d'un catalyseur entraînait une augmentation progressive du module d'Young de films multicouches de polyélectrolytes à base de HA et de poly-L-lysine (PLL) jusqu'à atteindre un

plateau à partir de 40 mg/mL en EDC. Au plateau, la valeur du module d'Young, mesurée par microscopie à force atomique à l'aide d'une pointe munie d'une sonde colloïdale sphérique, est de l'ordre de 400 kPa, alors qu'un film non réticulé possède un module d'Young pratiquement nul comme on pouvait s'y attendre pour un film non réticulé [20].

L'adhésion de chondrosarcomes humains sur de tels films augmente avec le module d'Young [21] et donc avec la concentration en EDC utilisé pour la réticulation du film. Ces observations expérimentales confirment l'hypothèse de l'importance de l'élasticité du biomatériau implanté ou du film polymère recouvrant la surface de ce biomatériau [7].

## Les polymères en bloc et les films minces utilisés comme systèmes de libération de médicaments

Précédemment, nous avons montré qu'en modifiant la surface d'un biomatériau avec un film polymère (d'élasticité bien caractérisée) et en y greffant des motifs d'adhésion cellulaire, il était possible de contrôler non seulement la quantité de cellules adhérentes par unité de surface du biomatériau mais encore la nature des cellules adhérentes. Une telle propriété ne suffit pas nécessairement à assurer l'ensemble des fonctionnalités souhaitées : il faut encore moduler les réponses cellulaires comme la réponse inflammatoire et/ou immunitaire, d'où l'idée de « rajouter » des médicaments à la surface ou au cœur du volume du film polymère recouvrant le biomatériau. De nombreux exemples sont disponibles dans la littérature [8]. Au sein de nos laboratoires, nous avons inséré, par simple adsorption, des peptides antibactériens (comme la défensine) dans des films multicouches de polyélectrolytes [22]. Le couplage covalent à un polyélectrolyte de peptides modulant l'inflammation (du PGA couplé à un analogue du  $\alpha$ -MSH\*, noté PGA- $\alpha$ -MSH\*), a également été utilisé pour induire une réponse anti-inflammatoire spécifique. Le concept a été validé *in vivo* sur des rats dans lesquels une trachée artificielle recouverte d'un film multicouche PLL-(PGA-PLL)<sub>4</sub>-PGA- $\alpha$ -MSH ou PLL-(PGA-PLL)-(PGA- $\alpha$ -MSH)-(PLL-PGA)<sub>3</sub> a été implantée. Entre trois et

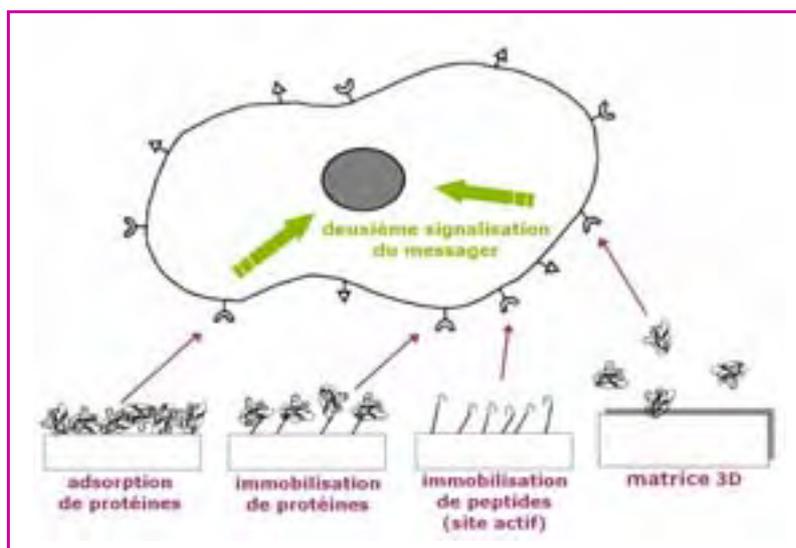


Figure 5 - Différentes méthodes d'immobilisation de protéines et de peptides à une interface solide-liquide, consistant à immobiliser des motifs de reconnaissance spécifiques pour les cellules destinées à adhérer sur la surface du matériau implanté. La complexité de la méthode de fonctionnalisation est croissante de gauche à droite (d'après [9]).

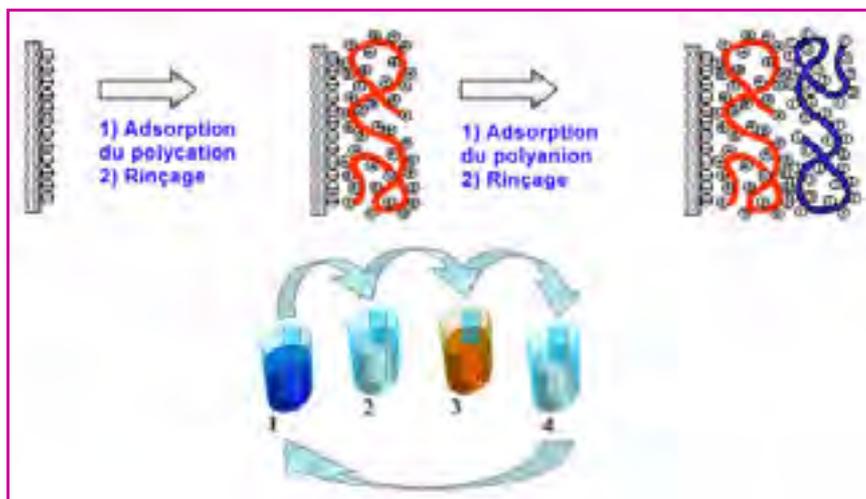


Figure 6 - Schéma de principe de la méthode de dépôt de films multicouches de polyélectrolytes sur des substrats chargés.

Nous envisageons ici le cas le plus fréquent d'un substrat portant des charges de surface négatives dans les conditions physico-chimiques du dépôt : l'adsorption d'un polycation (étape 1) se poursuivra jusqu'à ce que le coût énergétique de l'ajout de nouvelles molécules dans le film adsorbé devienne prohibitif. À l'état stationnaire, la densité de charges de surface est devenue positive : on a ainsi réalisé une inversion du signe de la charge de surface. Cela permet, après rinçage (étape 2) et élimination des molécules non adsorbées ou faiblement liées au substrat, d'adsorber un polyanion (étape 3). À l'état stationnaire, la charge de surface du matériau est redevenue négative. Après rinçage (étape 4), on peut recommencer le cycle de dépôt par l'étape 1. L'ensemble des étapes 1, 2, 3 et 4 permet le dépôt d'une paire de couches de polyélectrolytes. De cette façon, l'expérimentateur peut déposer autant de paires de couches qu'il le souhaite avec un très bon contrôle de l'épaisseur du film déposé (moyennant un contrôle rigoureux des paramètres physico-chimiques du dépôt, notamment de la concentration du sel de fond utilisé).

sept jours après l'implantation, le sérum des rats portant une telle prothèse fonctionnalisée est significativement enrichi en interleukine 10, un marqueur de l'occurrence d'une réaction anti-inflammatoire, par rapport aux rats portant une prothèse non modifiée [6].

Il faut noter que le couplage covalent d'une molécule spécifique au polymère doit être privilégié par rapport à une simple immobilisation passive, même si la réalisation de l'architecture nécessite un travail de synthèse chimique en amont de la fonctionnalisation du biomatériau. En effet, le plus souvent une proportion notable des peptides ou protéines adsorbées sur un matériau polymère est désorbée, soit au contact du plasma (dans le cas où la molécule d'intérêt est déposée en surface du matériau), soit au contact d'autres polymères si on l'enfouit au sein d'une matrice tridimensionnelle [23]. En revanche, la densité de greffage des molécules d'intérêt est connue précisément (par des techniques de caractérisation spectroscopiques) et l'on peut donc déterminer le nombre de molécules d'intérêt thérapeutique immobilisées par unité de surface du biomatériau.

De nombreuses équipes développent des stratégies d'immobilisation de vésicules lipidiques ou à enveloppe poly-

mère (en utilisant des polymères di- ou tribloc) dans des matrices polymères elles-mêmes immobilisées sur un biomatériau [24-25]. Ces vésicules contiennent des médicaments qui sont libérés dans le milieu environnant par un mécanisme de libération progressive. L'idéal serait de développer un système hybride polymère-vésicule totalement imperméable dans le but de ne libérer les médicaments que sous l'influence d'une perturbation extérieure (application d'une contrainte mécanique, application d'un champ électromagnétique ou augmentation de température). Cet objectif ne pourra être atteint qu'en augmentant la rigidité des vésicules enfouies, afin d'éviter tout phénomène de rupture (même transitoire) de la bicouche lipidique. Cette augmentation de rigidité ne devra cependant pas être réalisée au détriment de la biocompatibilité du film déposé sur la surface du biomatériau. Si un tel objectif était atteint, on pourrait envisager d'augmenter fortement la capacité du film polymère en molécules actives, car celles-ci occupent tout le volume des vésicules unilamellaires de grande taille alors qu'elles ne forment qu'un film bidimensionnel si elles sont greffées sur un polymère. De plus, la fonction chimique qui assure le greffage doit être hydrolysable en milieu physiologique afin d'assurer la libération de la molécule d'intérêt [26] (figure 7).

Quelle que soit la méthode envisagée, la préparation de films minces (à base de matériaux inorganiques ou de polymères) contenant des médicaments qui sont libérés localement et de façon prolongée dans les tissus avoisinant l'implant offre un avantage considérable par rapport aux méthodes classiques d'administration : celui de pouvoir réduire fortement les doses administrées et donc les effets secondaires associés au médicament considéré.

Il est difficile d'immobiliser des molécules fortement hydrophobes à des interfaces surtout si la fonctionnalisation de surface du biomatériau doit se faire par voie aqueuse. Des solutions très élégantes à ce problème ont été proposées récemment. Un exemple consiste en l'encapsulation du piroxicam, un anti-inflammatoire non stéroïdien, à l'intérieur de la cavité hydrophobe d'une  $\beta$ -cyclodextrine portant une

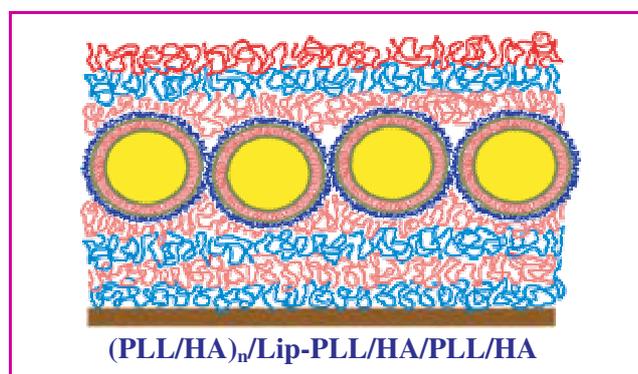


Figure 7 - Représentation schématique d'une architecture multicouche construite par adsorption séquentielle (cf. figure 6) de polycations, de PLL (en bleu) et de polyanions, l'acide hyaluronique (en rouge) contenant des liposomes rigidifiés par adsorption de PLL.

Ces liposomes contiennent une substance active (en jaune) dans leur compartiment aqueux interne. Cette stratégie permet d'augmenter la capacité des films en molécules actives par rapport à l'adsorption d'une couche de polymère lui-même modifié par les molécules actives.

### Encadré 3

#### Principe de la réticulation entre des groupements amino et des groupements carboxyliques par un carbodiimide

Un carbodiimide,  $R_1N=C=NR_2$ , provoque la formation d'une liaison amide entre le polymère porteur d'une fonction amine et celui porteur d'une fonction acide carboxylique. Il en résulte une liaison covalente entre les 2 chaînes qui n'interagissaient initialement que par l'intermédiaire de liaisons électrostatiques, des liaisons hydrogène ou des interactions de type Van der Waals. Le carbodiimide est transformé en une urée  $R_1NH-CO-NHR_2$ .

charge électrique permanente [27]. La présence de la charge électrique a permis d'immobiliser, par simple adsorption, le complexe médicament-cage au sein d'un film multicouche de polyélectrolytes à base d'acide poly-L-glutamique (PGA) et de poly-L-lysine (PLL). Ce film présente alors une activité anti-inflammatoire vis-à-vis de monocytes humains de type THP-1 : en effet, la production du facteur de nécrose tumorale (TNF- $\alpha$ ), un agent pro-inflammatoire, est inhibé au terme d'une phase de latence séparant la mise en contact du film fonctionnalisé et des cellules. La durée de cette phase peut être modulée selon la profondeur d'enfouissement du complexe  $\beta$ -cyclodextrine-piroxicam au sein du film polymère [27]. Le fait de pouvoir contrôler l'activité biologique dans le temps en insérant des principes actifs à un niveau déterminé au sein d'un film biodégradable constitue une avancée majeure en sciences des biomatériaux. On peut également créer des strates d'épaisseur contrôlée dans lesquelles un médicament peut être « solubilisé » dans un gel polymère (ou au sein d'un film multicouche de polyélectrolytes fortement hydraté) et recouvrir cette strate avec un nouveau film dégradé [28]. Cette stratégie offre l'avantage de pouvoir contrôler la quantité de médicament immobilisée puisque celle-ci dépend directement de l'épaisseur du réservoir à médicaments (dans le cas où le remplissage du réservoir est homogène). Cette grandeur peut être contrôlée facilement dans le cas de films multicouches de polyélectrolytes dont on connaît de mieux en mieux les mécanismes de croissance [29-30].

Notons que l'on peut également immobiliser de l'acide désoxyribonucléique (ADN) couche par couche en alternance avec un polycation hydrolysable à pH et à température physiologiques. Un tel polycation hydrolysable peut être un poly( $\beta$  amino ester) [31]. Le film multicouche est obtenu en adsorbant alternativement le polycation et le plasmide (chargé négativement de part la présence des groupements phosphates) à pH acide afin de limiter la dégradation du film par hydrolyse. Celle-ci ne devient effective qu'à pH physiologique et à la température du corps humain. De plus, il a été démontré qu'il était possible de contrôler la localisation de la libération de l'ADN sur une couche de cellules (*figure 8*) en y déposant la lamelle de quartz fonctionnalisée par l'architecture ADN-polymère hydrolysable. Les cellules sélectionnées pour cette étude ont été de type COS-7. La faisabilité de ce concept « d'expression localisée d'un gène » a été démontrée dans le

cas où le plasmide immobilisé code pour la GFP (« green fluorescent protein ») : les cellules transfectées émettent alors un signal de fluorescence sous éclairage qui caractérise l'expression de la protéine exprimée.

## Les gels polymères comme matériaux de recolonisation cellulaire : une voie d'ingénierie tissulaire

Les gels à base de polymères peuvent être utilisés comme matériaux de recolonisation cellulaire grâce à leurs propriétés chimiques et à leur porosité (à différentes échelles de taille) : ils peuvent ainsi contenir les médicaments utiles et même encapsuler les cellules d'intérêt en vue d'applications dans le domaine de l'ingénierie tissulaire. Le grand avantage de ces gels est que leur composition peut être choisie de manière à être proche de celle des matrices extracellulaires (par l'utilisation de polymères d'origine biologique comme nous l'avons vu précédemment) et qu'ils peuvent être utilisés aisément par simple injection, donc sans occasionner de dommages de nature mécanique aux tissus avoisinants [32].

Le but de l'ingénierie tissulaire consiste à synthétiser, à partir de matrices contenant l'ensemble des ingrédients nécessaires, un tissu remplaçant un tissu manquant (suite à une lésion) ou un tissu endommagé. Cette discipline est émergente en raison d'un besoin réel d'organes : le différentiel entre le nombre de « demandeurs » d'organes et d'organes effectivement disponibles n'a cessé de croître au cours des dernières années. On peut préparer très facilement des hydrogels à partir de solutions de polymères naturels en les faisant interagir avec des agents de réticulation qui sont le plus souvent des ions multivalents. L'exemple le plus connu est celui de l'alginate de sodium qui gélifie en présence d'ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  ou  $\text{Sr}^{2+}$ . Dans le cas de polymères de synthèse, la prise du gel peut être réalisée par l'action d'un stimulus extérieur d'une autre nature que l'addition d'un réactif : le polymère peut être synthétisé de manière à contenir des groupements photosensibles (acryliques ou métacryliques), ce qui permet la réticulation du gel par l'éclairage avec une source lumineuse émettant dans le domaine spectral approprié [33].

Quelle que soit la situation envisagée, la matrice polymère doit être gélifiée sans endommager les cellules qui doivent conserver leur viabilité. Les pores du gel doivent permettre la

diffusion des nutriments vers les cellules ainsi que celle des produits de dégradation du métabolisme cellulaire vers l'extérieur du gel. À ce titre, tout processus de gélification qui implique une modification du pH ou une augmentation de température doit être évité. Une fois implanté à l'endroit souhaité de l'organisme hôte, le gel doit résister aux diverses contraintes mécaniques et conserver son volume pendant une durée suffisante tout en transmettant ces contraintes aux cellules encapsulées. Dans le cas classique des gels d'alginate, la valeur du module de compression peut être accrue en augmentant la concentration volumique en alginate ainsi que le rapport du nombre de groupements  $\alpha$ -L-guluronique (G dans la *figure 3b*) au nombre de groupements  $\beta$ -D-mannuronique (M dans la

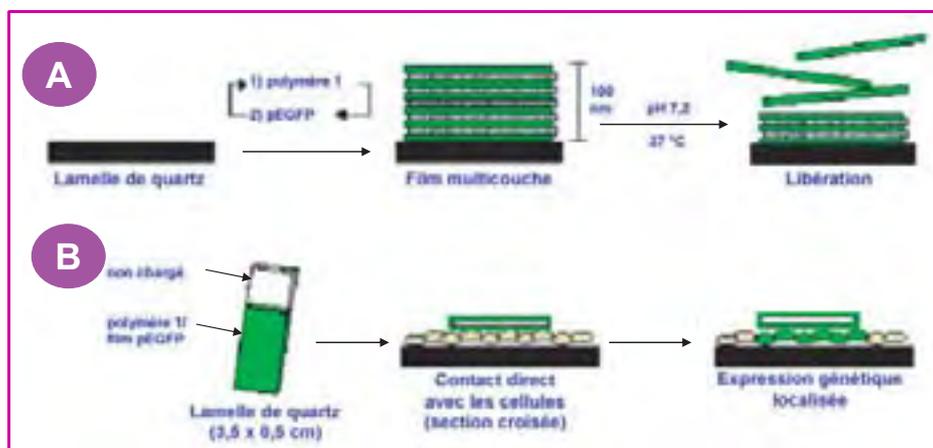


Figure 8 - A) Schéma de principe de préparation de l'architecture multicouche consistant à déposer de manière séquentielle le polycation hydrolysable et le plasmide (ici le pEGFP) et de l'hydrolyse progressive du film lorsque celui-ci est placé à pH 7,2 et à 37 °C ; B) Schéma montrant la possibilité de réaliser une « expression génique localisée » lors de la mise en contact d'une lamelle de quartz fonctionnalisée avec l'architecture illustrée en A avec une couche de cellules (d'après [31]).

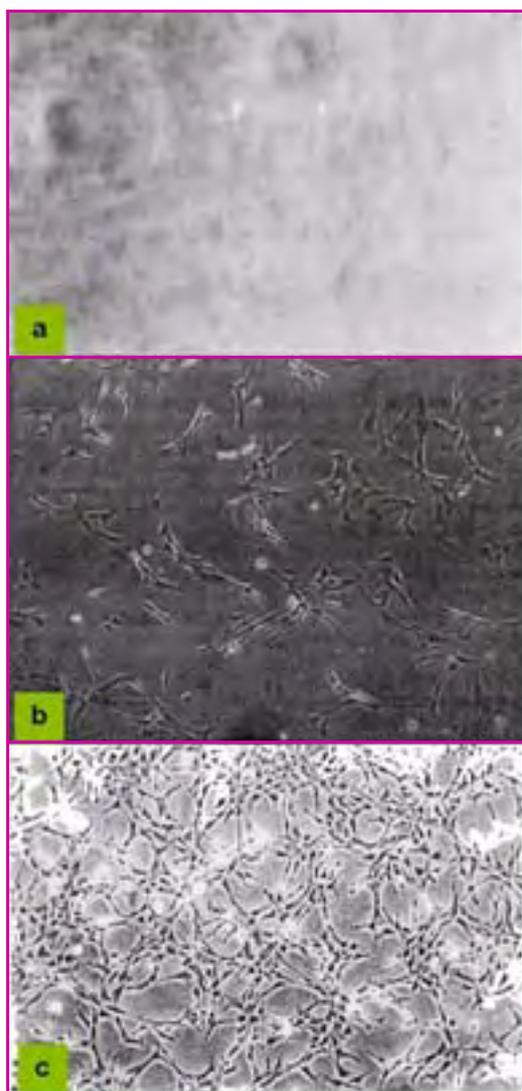


Figure 9 - (a) Micrographie optique d'un gel d'alginate mis en présence de myoblastes (cellules précurseurs de muscles) de type C2C12 [35]; (b) Ostéoblastes (cellules précurseurs du tissu osseux) de rat mis en présence d'un gel d'alginate au sein duquel des oligopeptides de séquence  $G_4RGDY$  ont été greffés de manière covalente [36]; (c) Myoblastes de type C2C12 mis en présence d'un gel d'alginate au sein duquel des oligopeptides de séquence  $G_4RGDY$  ont été greffés de manière covalente [35].

figure 3b). Une fois le gel formé, il est souvent souhaitable, sauf dans le cas où le gel sert à protéger les cellules encapsulées contre les molécules du système immunitaire, qu'il se dégrade spontanément pour laisser place au tissu formé. Celui-ci provient de la division ou de la différenciation des cellules encapsulées. De façon idéale, la dégradation de la matrice polymère devrait se faire à la même vitesse que la croissance des nouveaux tissus de manière à ce que le volume total du matériau (gel + cellules) reste constant. Les trois principaux mécanismes de dégradation des hydrogels sont l'hydrolyse spontanée (cas des polyesters de synthèse), l'hydrolyse catalysée par voie enzymatique (cas de l'acide hyaluronique, l'enzyme impliquée étant la hyaluronidase) et la dissolution spontanée du gel (cas des gels d'alginate) [34]. L'amélioration des propriétés mécaniques du gel ne doit cependant pas empêcher la diffusion des petites molécules dans et hors du gel.

Si le gel devient très épais, typiquement plus de 100  $\mu\text{m}$ , il est souhaitable d'y incorporer des facteurs protéiques favorisant l'angiogenèse\*. Ainsi, les nutriments et le dioxygène auront une distance plus courte à parcourir par diffusion parce que les vaisseaux sanguins arriveront au contact direct des cellules encapsulées.

De manière générale, il ne suffit pas que le gel contenant des cellules encapsulées n'induisse pas de réaction négative sur les tissus environnant, il faut encore favoriser l'adhésion des cellules issues de la mitose des cellules présentes initialement au sein du gel. On a donc intérêt à modifier les polymères constitutifs du gel avec des motifs d'adhésion cellulaire comme le montre la figure 9.

Un objectif de la première importance consiste à créer un cartilage artificiel. Le cartilage est constitué de chondrocytes\* au sein d'une matrice de collagène de type II et de différents glycoaminoglycanes. La régénération du cartilage est un problème important car ce tissu ne se régénère pas spontanément. De nombreuses études sont en cours dans ce domaine et le lecteur intéressé pourra se référer à des articles spécialisés [37].

Signalons enfin que de nombreux programmes de recherche visent à encapsuler des cellules souches (c'est-à-dire des cellules non différenciées) au sein de matrices à base de biopolymères contenant des facteurs de différenciation cellulaire. Le but de ces travaux est de guider la différenciation des cellules souches et de reconstituer ainsi un nouveau tissu « sur commande ».

Il est également intéressant de noter qu'il est possible d'encapsuler et de maintenir en vie des cellules au sein de matrices inorganiques obtenues par un procédé sol-gel [38-39].

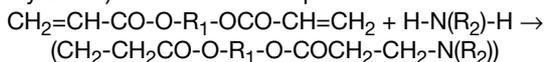
## La chimie combinatoire pour la préparation de nouveaux biomatériaux

Nous avons précédemment décrit les principales classes de polymères utilisés en science des biomatériaux. Les critères de sélection essentiels concernent l'absence de toxicité et de réaction immunitaire, ainsi que la possibilité de contrôler leur cinétique de dégradation. Plusieurs types de structures et de fonctions chimiques apparaissent très fréquemment (figures 3 et 4), mais force est de reconnaître que les connaissances dans ce domaine sont plutôt empiriques. Si l'on a besoin d'un polyester pour une application donnée, on se tournera vers des polyesters déjà disponibles. Afin d'améliorer les fonctions biologiques d'un polymère pour une application donnée, il convient de mieux comprendre la relation entre la structure du polymère et son activité chimique ou biologique. Le problème est similaire à celui rencontré en pharmacologie [40] : si l'on veut synthétiser un inhibiteur d'une enzyme, il est utile de connaître sa structure tridimensionnelle à l'échelle atomique (ce qui est possible par diffraction des rayons X si l'enzyme en question peut être cristallisée) et de concevoir une structure d'inhibiteur qui puisse interagir avec les groupements chimiques du site actif de l'enzyme. En pratique, on synthétise une librairie de molécules. On réalise donc diverses « variations sur un thème ». Des études *in vitro* permettent de tester en parallèle l'ensemble des molécules de la bibliothèque afin d'identifier les meilleures candidates. Il s'agit donc d'une synthèse rationnelle, une synthèse combinatoire, du médicament potentiellement le plus efficace.

Ces stratégies commencent à être utilisées pour la synthèse de polymères. Décrivons brièvement un exemple dans

le domaine de la synthèse de polycations hydrolysables utilisables pour le transfert de gènes [41]. Nous avons décrit précédemment l'utilisation de poly( $\beta$  amino ester) comme polycations hydrolysables à pH physiologique, capables de produire des complexes avec l'ADN. Ces complexes peuvent être endocytés\* par des cellules et une partie de l'ADN initial peut être incorporé dans le noyau et exprimé sous forme de protéines actives. Notons que l'ADN plasmidique ne s'intègre pas dans le génome au contraire des vecteurs issus des rétrovirus. De nombreux agents de transfection, des molécules ou des assemblées moléculaires capables de se complexer à l'ADN et d'assurer son transport à travers la membrane plasmique, sont utilisés : des polycations comme la poly(éthylène imine), des lipides cationiques et des agents viraux. Parmi tous ces systèmes, l'efficacité de la transfection (rapport entre l'ADN exprimé sous forme de protéines et l'ADN fourni initialement) est en général la plus élevée dans le cas des agents viraux (ce n'est pas un hasard : la capsid virale, l'enveloppe protéique protégeant l'ADN viral, contient un « programme moléculaire » permettant la fusion entre l'enveloppe virale et la membrane plasmique).

Revenons aux poly( $\beta$  amino ester). Comment trouver l'agent de transfection le plus efficace possible, qui contienne des liaisons hydrolysables de type (CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>CO-O-R<sub>1</sub>-O-COCH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-N(R<sub>2</sub>)) ? Voyons d'abord comment obtenir des polymères contenant ce motif de répétition. Il peut être obtenu par polycondensation en faisant réagir des molécules contenant deux groupements acryliques (appelées « diacrylates ») avec des amines primaires selon la réaction :



À partir de là, on peut envisager de faire réagir différents membres d'une famille de diacrylates (différant les uns des autres par la nature du groupement R<sub>1</sub>) avec différentes molécules contenant une fonction amine primaire ou secondaire (différant entre elles par la nature du groupement R<sub>2</sub>). Les auteurs de la publication originale [41] ont ainsi sélectionné sept diacrylates et une famille de vingt amines disponibles dans le commerce (figure 10). Cette approche a permis d'obtenir un ensemble de 140 poly( $\beta$  amino ester) qui ont été caractérisés par chromatographie par perméation sur gel (ou chromatographie d'exclusion stérique) [42].

Le premier critère de sélection pour les polymères obtenus a été leur solubilité dans l'eau (dans du tampon acétate de sodium à pH 5,0 pour limiter l'influence de la réaction d'hydrolyse du polyester) : en effet, ces polymères doivent d'abord être solubilisés dans l'eau avant de pouvoir former des complexes avec l'ADN (qui est un polyanion). Le critère de solubilité minimale a été fixé à 2 mg/mL, et seuls 70 parmi les 140 polymères de la bibliothèque ont satisfait à ce critère. Ces 70 polymères ont ensuite été mis en contact avec de l'ADN dans un rapport massique de une unité d'ADN pour vingt unités de polymère (donc en excès de polymère) et les solutions ont été soumises à une électrophorèse sur gel. Si l'ADN est complexé par le polymère, sa migration est retardée voire supprimée (en cas d'inversion de charge lors de la complexation). On dispose ainsi d'un critère de sélection supplémentaire permettant d'identifier les polymères (cationiques) capables d'interagir avec et de complexer l'ADN (anionique). Seuls 56 des 70 polycations hydrosolubles ont répondu à ce critère. Des complexes ont alors été formés entre ces 56 polycations et le plasmide (ADN cyclique) pCMV-luc codant pour la luciférase. L'hydrolyse du substrat de cette enzyme produit des molécules fluorescentes. La mesure de l'intensité de fluorescence a permis de sélectionner les complexes, donc les

polycations, capables de transfecter l'ADN. Les résultats sont présentés sous forme de matrice tridimensionnelle, l'intensité de fluorescence étant représentée en fonction de la nature du polymère (qui est caractérisée par deux variables : la nature du diacrylate et de l'amine). Les résultats sont comparés à des systèmes de transfection modèles comme la poly(éthylène imine) et la lipofectamine (lipides cationiques) (figure 11). Parmi les 56 poly( $\beta$  amino ester) complexant l'ADN, on a ainsi pu isoler quatre complexes « intéressants » pour la transfection. Il est remarquable que le polycation B14 (obtenu par polycondensation du diacrylate B avec l'amine 14 de la figure 10) présente une efficacité supérieure à la lipofectamine (pour un rapport ADN/agent de transfection donné) pour l'expression de la luciférase. Cela n'est pas très étonnant si l'on considère la structure de l'amine 14 (figure 10) : celle-ci comporte un groupement histidine qui peut jouer le rôle d'agent tampon pour stabiliser le pH au sein des endosomes\*

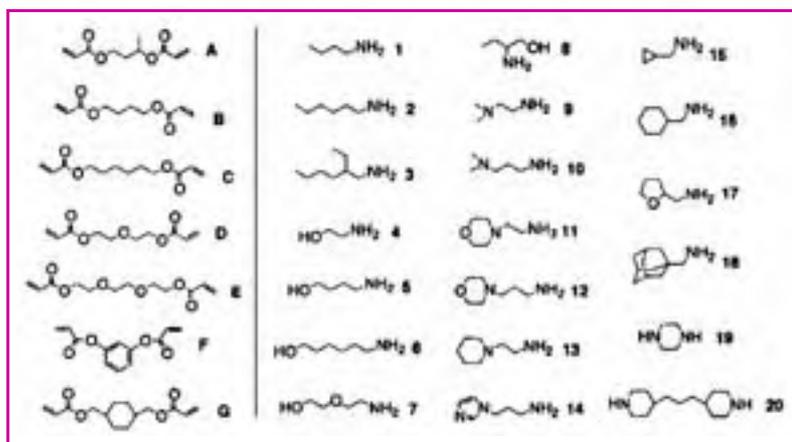


Figure 10 - Structures chimiques des diacrylates (A-G) et des amines sélectionnées pour constituer une bibliothèque de poly( $\beta$  amino ester) (d'après [41]).

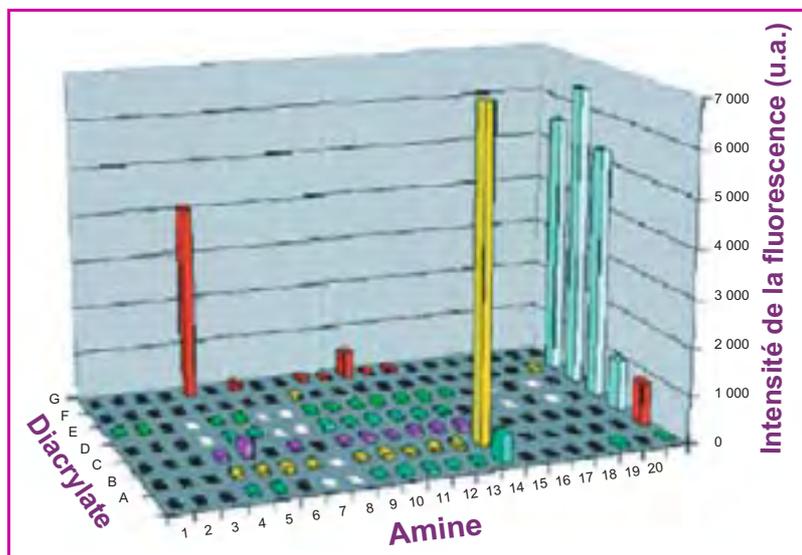


Figure 11 - Résultats de la transfection de cellules COS-7 par des plasmides pCMV-luc complexés avec les poly( $\beta$  amino ester) de la bibliothèque constituée à partir des diacrylates (A-G) et des amines (1-14, voir figure 10).

Les carrés noirs correspondent aux polymères insolubles (donc inutilisables) tandis que les carrés blancs correspondent aux polymères solubles qui ne permettent pas d'obtenir de complexes lorsqu'ils sont mis en présence d'ADN. Dans toutes les expériences de transfection, le rapport ADN/polymère est égal à 1/20 en masse. La colonne de droite correspond à des expériences de contrôle avec de la lipofectamine (bleu clair) et de la poly(éthylène imine) (rouge). Le poly( $\beta$  amino ester) le plus efficace est obtenu à partir du diacrylate B et de l'amine 14 (d'après [41]).

et faciliter ainsi la sortie des complexes des endosomes vers le noyau.

Il peut sembler décevant que seule une fraction si faible des polycations synthétisés lors de la conception de la librairie soit efficace pour la transfection de l'ADN. Mais il faut signaler aussi que les molécules intéressantes n'auraient certainement jamais été identifiées si l'on avait procédé « au hasard », c'est-à-dire en « pêchant » parmi les polycations existants. Cela illustre les possibilités de la chimie combinatoire : elle permet d'explorer des candidats médicaments avec une diversité beaucoup plus large que les méthodes de synthèse traditionnelles. On peut bien sûr augmenter la taille de la bibliothèque en augmentant le nombre de molécules de diacrylates et d'amines sélectionnées (encore faut-il que ces molécules soient disponibles commercialement... sinon il faut synthétiser ces monomères), mais au prix d'analyses beaucoup plus longues. Il faut noter que l'ensemble de l'étude décrite, de la synthèse des polymères à l'étude de transfection en passant par les tests de solubilité et par les mesures d'électrophorèse, a été effectuée avec des procédures automatisées faisant appel à des robots.

## Conclusion

Dans les deux premières parties de cet article, nous avons défini les critères généraux auxquels un matériau destiné à être mis en contact avec des tissus vivants devait satisfaire. Dans le paragraphe suivant, des exemples de polymères, d'origine naturelle ou synthétique, pouvant être utilisés en tant que biomatériaux ont été présentés. Finalement, nous avons utilisé quelques exemples issus de la littérature récente afin d'illustrer comment des films ou des gels à base de polymères pouvaient servir en tant que réservoir de médicaments ou comme matrice pour la régénération tissulaire. Le but du dernier paragraphe a été de montrer que les méthodes de la chimie combinatoire pouvaient être utilisées afin de synthétiser des polymères possédant des propriétés sans cesse améliorées pour une application donnée. Cet exemple a montré que toute avancée notable dans le domaine des biomatériaux se faisait à l'interface des sciences de l'ingénieur, des sciences chimiques et des sciences de la vie. Cette perspective est passionnante et l'on peut espérer que ces nouvelles approches multidisciplinaires vont permettre de mettre sur le marché non seulement des biomatériaux plus efficaces (en termes de durée de vie, d'une réduction des complications postopératoires...), mais encore de préparer des matériaux capables de reconstituer des organes entiers.

## Références

- [1] Ratner B., Hoffman A.S., Schoen F.J., Lemons J.E., *Biomaterials Science*, Academic Press, New York, **1996**.
- [2] *Biomaterials and Tissue Engineering*, D. Shi (ed), Springer Verlag, Berlin, **2004**, chapitre 2.
- [3] Ball V., Voegel J.-C., Schaaf P., Mechanism of interfacial exchange phenomena for proteins adsorbed at solid-liquid interfaces, « Biopolymers at interfaces », *Surfactant Science Series*, **1998**, 75, p. 453.
- [4] Steinemann S.G., Titanium: the material of choice?, *Periodontol* **2000**, **1998**, 17, p. 7.
- [5] Shanbhag A.S., Jacob J.J., Black J., Galante J.O., Glant J., Macrophage/particle interactions: effect of size, composition and surface area, *J. Biomed. Mater. Res.*, **1994**, 28, p. 81.
- [6] Schultz P., Vautier D., Richert L., Jessel N., Haikel Y., Schaaf P., Voegel J.-C., Ogier J., Debry C., Polyelectrolyte multilayers functionalized by a synthetic analogue of an anti-inflammatory peptide,  $\alpha$ -MSH, for coating a tracheal prosthesis, *Biomaterials*, **2005**, 26, p. 2621.
- [7] Discher D.E., Janmey P., Wang Y.-L., Tissue cells feel and respond to the stiffness of their substrate, *Science*, **2005**, 310, p. 1139.
- [8] Seal B.L., Otero T.C., Panich A., Polymeric materials for tissue and organ regeneration, *Mater. Sci. Eng.*, **2001**, R262, p. 1.
- [9] Hirano Y., Mooney D.J., Peptide and protein presenting materials for tissue engineering, *Adv. Mater.*, **2004**, 16, p. 17.
- [10] Lutolf M.P., Hubbell J.A., Synthetic biomaterials as instructive extracellular microenvironments for morphogenesis in tissue engineering, *Nature Biotechnology*, **2005**, 23, p. 47.
- [11] Khademhosseini A., Langer R., Borenstein J., Vacanti J.P., Microscale technologies for tissue engineering and biology, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **2006**, 103, p. 2480.
- [12] Prime K.L., Whitesides G.M., Self-assembled organic monolayers: model systems for studying adsorption of proteins at surfaces, *Science*, **1991**, 252, p. 1164.
- [13] Sheth S.R., Leckband D., Measurements of attractive forces between proteins and end-grafted poly(ethylene glycol) chains, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **1997**, 94, p. 8399.
- [14] Pasche S., Vörös J., Griesser H.J., Spencer N.D., Textor M., Effects of ionic strength and surface charge on protein adsorption at PEGylated surfaces, *J. Phys. Chem. B*, **2005**, 109, p. 17545.
- [15] Boulmedais F., Frisch B., Etienne O., Lavallo P., Picart C., Ogier J., Voegel J.-C., Schaaf P., Egles C., Polyelectrolyte multilayer films with PEGylated polypeptides as a new type of anti-microbial protection for biomaterials, *Biomaterials*, **2004**, 25, p. 2003.
- [16] Agrawal C.M., Pennick A., Wang X., Schenck R.C., Porous coated titanium implant impregnated with a biodegradable protein delivery system, *J. Biomed. Mater. Res.*, **1998**, 36, p. 516.
- [17] Richert L., Boulmedais F., Lavallo P., Mutterer J., Ferreux E., Decher G., Schaaf P., Voegel J.-C., Picart C., Improvement of stability and cell adhesion properties of polyelectrolyte multilayer films, by chemical cross linking, *Biomacromolecules*, **2004**, 5, p. 284.
- [18] Tang Z., Kotov N.A., Magonov S., Ozturk B., Nanostructured artificial nacre, *Nat. Mater.*, **2003**, 2, p. 413.
- [19] Shi X., Hudson J.L., Spicer P.P., Tour J.M., Krishnamoorti R., Mikos A.G., Injectable nanocomposites of single-walled carbon nanotubes and biodegradable polymers for bone tissue engineering, *Biomacromolecules*, **2006**, 7, p. 2237.
- [20] Francius G., Hemmerlé J., Ohayon J., Schaaf P., Voegel J.-C., Picart C., Senger B., Effet de crosslinking on the elasticity of polyelectrolyte multilayer films measured by colloidal probe AFM, *Microscopy Res. & Tech.*, **2006**, 69, p. 84.
- [21] Schneider A., Francius G., Obeid R., Schwinté P., Hemmerlé J., Frisch B., Schaaf P., Voegel J.-C., Senger B., Picart C., Polyelectrolyte multilayers with a tunable Young's modulus: influence of film stiffness on cell adhesion, *Langmuir*, **2006**, 22, p. 1193.
- [22] Étienne O., Picart C., Taddei C., Haikel Y., Dimarcq J.L., Schaaf P., Voegel J.-C., Ogier J.A., Egles C., Multilayer polyelectrolyte films functionalized by insertion of defensin: a new approach to protection of implants from bacterial colonization, *Antimicrob. Agents & Chemotherapy*, **2004**, 48, p. 3662.
- [23] Lvov Y., Ariga K., Ichinose I., Kunitake T., Assembly of multicomponent protein films by means of electrostatic layer-by-layer adsorption, *J. Amer. Chem. Soc.*, **1995**, 117, p. 6117.
- [24] Katagiri K., Hamasaki R., Ariga K., Kikuchi J.-I., Layer-by-layer self-assembly of liposomal « cerasome » on substrates, *Langmuir*, **2002**, 18, p. 6709.
- [25] Michel M., Vautier D., Voegel J.-C., Schaaf P., Ball V., Layer by layer self assembled polyelectrolyte multilayers with embedded phospholipid vesicles, *Langmuir*, **2004**, 20, p. 4835.
- [26] Thierry B., Kujawa P., Tkaczyk C., Winnik F.M., Bilodeau L., Tabrizian M., Delivery platform for hydrophobic drugs: prodrug approach combined with self-assembled multilayers, *J. Amer. Chem. Soc.*, **2005**, 127, p. 1626.
- [27] Benkirane-Jessel N., Schwinté P., Falvey P., Darcy R., Haikel Y., Schaaf P., Voegel J.-C., Ogier J., Build-up of polypeptide multilayer coatings with anti-inflammatory properties based on the embedding of piroxicam-cyclodextrine complexes, *Adv. Funct. Mater.*, **2004**, 14, p. 174.
- [28] Vodouhê C., Le Guen E., Mendez Garza J., Francius G., Déjunctat C., Ogier J., Schaaf P., Voegel J.-C., Lavallo P., Control of drug accessibility on functional polyelectrolyte multilayer films, *Biomaterials*, **2006**, 27, p. 4149.
- [29] Lavallo P., Picart C., Mutterer J., Gergely C., Reiss H., Voegel J.-C., Senger B., Schaaf P., Modeling the build up of polyelectrolyte multilayer films having exponential growth, *J. Phys. Chem. B*, **2004**, 108, p. 635.
- [30] Laugel N., Betscha C., Winterhalter M., Voegel J.-C., Schaaf P., Ball V., Relationship between the growth regime of polyelectrolyte multilayers and the polyanion/polycation complexation enthalpy, *J. Phys. Chem. B*, **2006**, 110, p. 19443.
- [31] Jewell C.M., Zhang J., Fredin N.J., Lynn D.M., Multilayered polyelectrolyte films promote the direct and localized delivery of DNA to cells, *J. Control. Release*, **2005**, 106, p. 214.
- [32] Lee K., Money D.J., Hydrogels for tissue engineering, *Chem. Rev.*, **2001**, 101, p. 1869.
- [33] Cruise G.M., Scharp D.S., Hubbell J.A., Characterization of permeability and network structure of interfacially photopolymerized poly(ethylene glycol) diacrylate hydrogels, *Biomaterials*, **1998**, 19, p. 1287.
- [34] Le Roux M.A., Guilak F., Setton L.A., Compressive and shear properties of alginate gel: effect of sodium ions and alginate concentration, *J. Biomed. Mater. Res.*, **1999**, 47, p. 46.
- [35] Rowley J.A., Madlambayan G., Mooney D.J., Alginate hydrogels as synthetic extracellular matrix materials, *Biomaterials*, **1999**, 20, p. 45.

- [36] Alsberg E., Anderson K.W., Albeiruti A., Franceschi R.T., Mooney D.J., Cell-interactive alginate hydrogels for bone tissue engineering, *J. Dent. Res.*, **2001**, *80*, p. 2025.
- [37] Stoltz J.-F., Bensoussan D., Decot V., Netter P., Cirre A., Gillet P., Cell and tissue engineering and clinical applications: an overview, *Bio-medical Mater. & Engin.*, **2006**, *16*, p. S3.
- [38] Nassif N., Bouvet O., Rager M.N., Roux C., Coradin T., Liviage J., Living bacteria in silica gels, *Nature Mater.*, **2002**, *1*, p. 42.
- [39] Avnir D., Coradin T., Lev O., Liviage J., Recent bio-applications of soft-gel materials, *J. Mater. Chem.*, **2006**, *16*, p. 1013.
- [40] Patrick G.L., *Chimie pharmaceutique*, De Boeck, Bruxelles, **2003**.
- [41] Lynn D.M., Anderson D.G., Putnam D., Langer R., Accelerated discovery of synthetic transfection vectors: parallel synthesis and screening of a degradable polymer library, *J. Amer. Chem. Soc.*, **2001**, *123*, p. 8155.
- [42] Fontanille M., Gnanou Y., *Chimie et physico-chimie des polymères*, Dunod, Paris, **2002**.



Y. Arntz



V. Ball



N. Benkirane-Jessel



F. Boulmedais



C. Debry



M. Dimitrova



R. Elkaim



Y. Haikel



J. Hemmerlé



P. Lavalle



F. Meyer



S. Muller



J. Ogier



P. Schaaf



B. Senger



V. Stanic



H. Tenenbaum



D. Vautier



C. Vodouhé



D. Volodkin



J.-C. Voegel



S. Werner

**Youri Arntz**<sup>1-2</sup> et **Maria Dimitrova**<sup>1-2</sup> sont maîtres de conférences associés, **Vincent Ball**<sup>1-2</sup> (*auteur correspondant*) est professeur en sciences des matériaux, **Youssef Haikel**<sup>2-3</sup> est professeur d'université, praticien hospitalier et doyen, **Florent Meyer**<sup>1-2</sup> est maître de conférences et praticien hospitalier, **Joëlle Ogier**<sup>1-2</sup> et **Henri Tenenbaum**<sup>2-3</sup> sont professeurs et praticiens hospitaliers, **Dominique Vautier**<sup>1-3</sup> est ingénieur d'études, **Sandra Werner**<sup>1-3</sup> est professeur associée, à la Faculté de chirurgie dentaire de Strasbourg.

**Nadia Benkirane-Jessel**<sup>1-2</sup> et **Philippe Lavalle**<sup>2</sup> sont chargés de recherche, **Joseph Hemmerlé**<sup>2</sup> est ingénieur de recherche, **Sabine Muller**<sup>1-2</sup>, **Vesna Stanic**<sup>1-2</sup> et **Dmitry Volodkin**<sup>1-2</sup> sont chercheurs postdoctoraux, **Bernard Senger**<sup>1-2</sup> et **Jean-Claude Voegel**<sup>1-3</sup> sont directeurs de recherche, à l'INSERM (Unité 595).

**Fouzia Boulmedais** est chargée de recherche au CNRS, Institut Charles Sadron (UPR 22)<sup>4</sup>.

**Christian Debry** est professeur des Universités et praticien hospitalier en ORL, Hôpital de Hautepierre, Strasbourg<sup>3,5</sup>.

**René Elkaim** est directeur de la société Parogène<sup>6</sup>.

**Pierre Schaaf** est professeur à l'École Européenne de Chimie, des Polymères et Matériaux de Strasbourg<sup>4,7</sup>.

**Constant Vodouhé** est actuellement chargé de recherche au Centre Européen d'Étude du Diabète<sup>1-2</sup>.

<sup>1</sup> INSERM, UMR 595 « Biomatériaux : processus biophysiques et biologiques aux interfaces », 11 rue Humann, 67085 Strasbourg Cedex. Courriel : vincent.ball@medecine.u-strasbg.fr

<sup>2</sup> Faculté de chirurgie dentaire, 1 place de l'Hôpital, 67000 Strasbourg.

<sup>3</sup> Équipe de recherches technologiques 1061, « Applications biomédicales des films multicouches de polyélectrolytes », 11 rue Humann, 67085 Strasbourg Cedex.

<sup>4</sup> CNRS, UPR 22, Institut Charles Sadron, 6 rue Boussingault, 67083 Strasbourg Cedex.

<sup>5</sup> Département de chirurgie otorhinolaryngologique, Hôpital de Hautepierre, Avenue Molière, 67200 Strasbourg.

<sup>6</sup> Parogène, 11 rue Humann, 67085 Strasbourg Cedex.

<sup>7</sup> École Européenne de Chimie, des Polymères et Matériaux de Strasbourg, 25 rue Becquerel, 67087 Strasbourg Cedex 2.

# Lancinant « développement durable » !

Paul Rigny

**V**ous pouvez ouvrir le site web de telle grande surface commerciale, vous trouvez en publicité « Notre engagement pour un développement durable » ; vous assistez à une réunion municipale sur les associations sportives, on vous montre que la politique est construite autour du « développement durable » ; et de quoi traite le journal des lycéens du moment ?... du « développement durable » ! Sans compter le nombre de fois où cette expression a été invoquée au cours de la campagne électorale du mois d'avril dernier. La notion est ubiquitaire et fournit un nouvel exemple de ces « mots valises » que l'on porte à toutes fins utiles pour en sortir, à la demande, une expression toute faite, sans être trop regardant sur le sens qu'on lui donne – pour être à la mode, pour séduire.

Si pour beaucoup, « développement durable » n'est qu'un slogan, pour certains – on parle du grand public –, c'est une notion chargée d'affectivité et d'espoir. On trouve des utopistes pour qui le développement durable est ce qui va permettre d'apporter à l'humanité tout entière une existence « à niveau de vie correct jusqu'à la fin des temps ». Qu'est-ce que « correct », vu par un occidental ? Implicitement, c'est juste un peu inférieur à notre niveau de vie actuel, mais étendu à l'ensemble de la population terrestre. Et qu'est-ce que « la fin des temps » pour les mêmes ? Des millions d'années ? Quelques siècles ? Il semblerait qu'il s'agisse plutôt de millénaires : « on entre dans le troisième, donnons-nous en encore quelques-uns ! »

Tout essai de prospective montre que de telles utopies sont déraisonnables (n'est-ce pas le propre des utopies ?). Qu'on regarde la question de l'eau, celle de l'énergie, celle des ressources fossiles, celle des productions agricoles, tout indique des horizons de quelques siècles au plus avant épuisement de notre modèle de vie. Si l'on se tourne vers le fameux changement climatique, on peut invoquer des modèles scientifiques élaborés pour appuyer la prospective, en particulier après la publication des rapports des experts du GIECC (Groupe International d'Étude du Changement Climatique) au début de l'année 2007. L'on y voit des évolutions qui interviennent à une échelle de temps qui se chiffre en dizaines d'années seulement – et ceci que les objectifs de Kyoto soient respectés ou non, car les chiffres montrent qu'ils sont modestes, pour ne pas dire insignifiants à l'échelle de la planète. Alors, si ces changements majeurs, entraînant la faillite de nos modèles de vie sont inéluctables, le « développement durable » : qu'est-ce que c'est ?

Il faudrait se faire philosophe pour abandonner la quête d'une réponse précise et défendre qu'en matière de

« développement durable », on doit rester concret et modeste. Il faudrait convoquer le mythe de Sisyphe, puni par l'obligation d'une tâche austère et pénible, ne devant jamais finir et ne devant déboucher sur aucun triomphe. À l'instar de Sisyphe, l'humanité n'a pas le choix : elle doit pousser le développement durable sans relâche, comme une tâche quotidienne exigeante et sans succès assuré, comme Sisyphe son rocher. Sera-ce une consolation pour l'utopiste de rappeler que pour Albert Camus, il faut considérer Sisyphe comme heureux ?

Qu'on prenne le problème d'un côté ou d'un autre, la science et la technique sont appelées comme sauveurs de l'humanité devant les menaces qu'elle rencontre aujourd'hui. On peut trouver cela excessif, mais pourquoi faudrait-il boudier les attentes dont elles font l'objet – même si rien n'assure que le flux extraordinaire des inventions que l'on connaît depuis deux siècles se maintiendra, ni qu'il apportera les remèdes attendus ? Il vaut mieux rester concret et modeste, ne pas penser aux siècles lointains et faire du mieux possible dans le présent, à l'échelle de notre génération : pousser notre rocher. C'est la position qui a été prise par la recherche scientifique publique, en particulier en France (voir le lancement du programme prioritaire du CNRS, [1]), dont la réflexion identifie des objectifs réalistes très stimulants, en particulier dans le domaine de la chimie (énergie, catalyse, matériaux, analytique). C'est aussi le cas de la Fédération Française des Chimistes (FFC) qui a fait du développement durable l'axe de ses actions pour les années qui viennent [2].

Mais la recherche, c'est fait pour l'avenir, et le développement durable pose déjà aujourd'hui et depuis la fin du XX<sup>e</sup> siècle des questions qui peuvent être traitées sans attendre. En fait, certaines réalisations concrètes de l'industrie s'inscrivent déjà dans la démarche du développement durable : l'industrie chimique peut aujourd'hui faire état de résultats importants dans plusieurs domaines, par exemple les transports (carburants d'origine agricole), ou les matériaux. L'entreprise BASF, « The Chemical Company », en collaboration avec différents acteurs du bâtiment, propose ainsi des constructions (locaux d'habitation ou professionnels) dont les performances sont surprenantes (bâtiment « Génération E »). Mieux que tout discours, ceci montre que le développement durable – avant que l'expression ne soit confisquée en tant que slogan – sous-tend de nouvelles activités dans l'industrie, en particulier chimique. C'est bien ce qui a été affirmé en thème majeur aux 2<sup>e</sup> États généraux de la chimie organisés à Lyon en janvier dernier. Au-delà des grandes séances promotionnelles, destinées à déclencher les prises de conscience, il est utile d'essayer de comprendre l'univers de

## Rencontre avec Oliver Homolle, président de BASF France (Paris, 5 avril 2007)



**Paul Rigny :** *Nous avons souhaité vous rencontrer pour mieux comprendre ce que les objectifs, maintenant tellement médiatisés du « développement durable », modifient dans la vie interne des entreprises de la chimie. En raccourci : y a-t-il des changements concrets dans l'entreprise à côté du battage médiatique sur le développement durable ?*

**Oliver Homolle :** Clairement oui !

Les objectifs du développement durable sont intégrés dans nos opérations depuis longtemps, bien avant le battage médiatique dont vous parlez. En tant que « The Chemical Company », nous avons été, et sommes encore, bien en avance sur les recommandations de la profession, voire même sur certaines réglementations. Nous avons été l'une des toutes premières entreprises mondiales à nous doter d'un Conseil de durabilité qui a pour mission de décider de notre stratégie dans ce domaine et de mettre en œuvre les instruments nécessaires à celle-ci. Nous comptons également parmi les premiers à avoir adhéré au « Pacte Global » de l'ONU qui regroupe des entreprises œuvrant en faveur des droits de l'Homme, de l'environnement et de la lutte contre la corruption. De même, nous nous sommes engagés dès le tout début dans le « Responsible Care », suivi en 2006 par la « Global Charter ». À nos préoccupations économiques et environnementales s'est ajoutée une responsabilité sociétale aujourd'hui toujours plus importante parce que concernant l'acceptabilité de nos activités par le public (clients, riverains, mais aussi l'ensemble de la société) qui se pose des questions légitimes sur de possibles effets sur la santé des travailleurs dans l'entreprise, mais aussi du grand public.

**Il serait intéressant pour nos lecteurs d'aller plus loin dans la définition des objectifs adoptés par votre entreprise dans ce domaine et dans la description des mesures prises pour leur mise en œuvre.**

Pour BASF, le développement durable n'est ni un argument marketing, ni une obligation de style « licence to operate ». Il fait concrètement partie de nos valeurs fondamentales. Le groupe au plus haut niveau a clairement précisé les devoirs de tous, à tous les échelons de l'entreprise, et l'importance de ses objectifs est clairement partagée par tous nos collaborateurs, dans toutes les régions du monde comme dans toutes les unités opérationnelles et commerciales. Pour assurer le suivi du développement durable au sein de l'entreprise, nous disposons de normes environnementales et sociales internes au groupe ainsi que d'indicateurs quantifiables et réalisons régulièrement des audits – une démarche

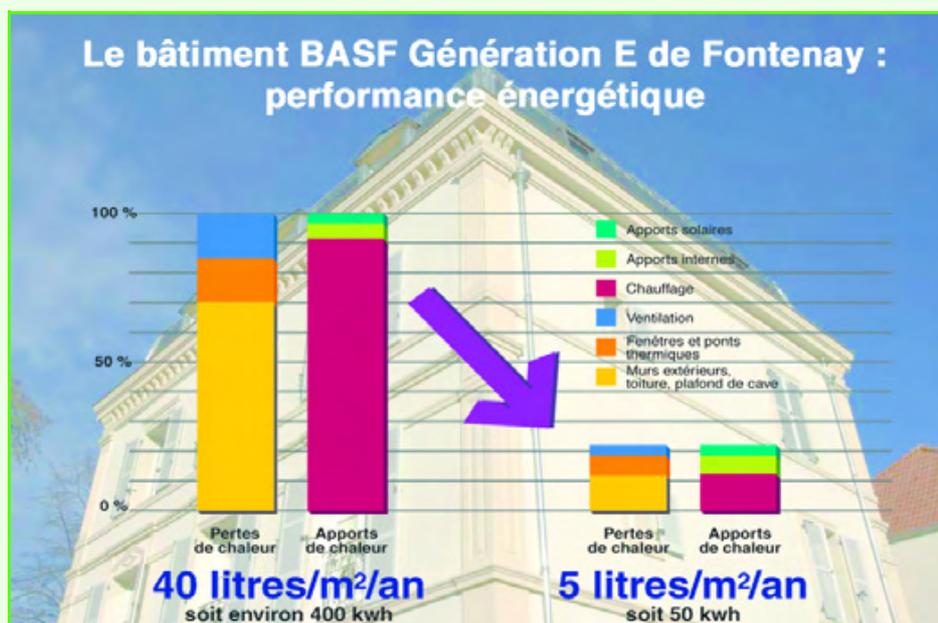
analogue aux méthodes mises en place il y a un certain nombre d'années pour lutter contre les accidents du travail et qui nous a permis de devenir particulièrement performants.

**Nous vous croyons sur parole lorsque vous nous parlez de votre performance exceptionnelle sur la maîtrise des accidents du travail, mais pouvez-vous nous en dire plus sur la transposition concrète de ces méthodes au développement durable ?**

Que ce soit pour l'économique, l'environnemental ou le sociétal, des dispositifs d'analyse et d'action mais aussi d'audit sont en place dans toute l'entreprise. Nous disposons par exemple d'outils d'analyse du risque pour nos sites et usines ou d'éco-efficience pour nos produits. Ce dernier outil nous permet de comparer, sur les plans des coûts et de l'impact écologique, des produits ou procédés similaires durant tout le cycle de vie et donc de faire les choix correspondants. Un exemple concret : il a contribué de manière significative au choix des matériaux de notre concept de bâtiment Génération E, ainsi qu'à la définition même de ce concept de rénovation d'habitations permettant de diviser par un facteur allant jusqu'à huit leur consommation d'énergie et de réduire les rejets de gaz à effet de serre dans les mêmes proportions. Cet outil d'analyse d'éco-efficience est pour nous un outil fondamental du développement durable et est depuis un certain temps déjà « state of the art » pour tous dans l'entreprise. Nous étendons actuellement cette analyse systématique qui prend en compte deux des composantes du développement durable – l'économie et l'environnement – à la troisième, la composante sociétale, en développant un nouvel outil appelé SEE-Balance® (SEE pour Social, Economy, Environment).

**Le développement durable fait apparaître ces objectifs qui n'avaient pas cours autrefois, ou de manière moins prégnante – économie des ressources primaires et de l'énergie par exemple, gestion des déchets ou des rejets (en particulier de gaz à effet de serre). Probablement ces nouveaux objectifs font-ils intervenir vos activités de recherche ?**

Vous avez tout à fait raison. Nos activités de recherche (environ 8 000 chercheurs), tournées vers la découverte et le développement de nouveaux produits et de nouveaux procédés intègrent les critères du développement durable en se concentrant sur cinq pôles majeurs d'innovation : la gestion de l'énergie, les matières premières de demain, les biotechnologies blanche et végétale, les nanotechnologies. D'ici à 2008, nous y investirons 850 millions d'euros. C'est ainsi que nous pourrions contribuer à atteindre les objectifs dont vous parlez. Par exemple, en réduisant la consommation d'énergie et donc le rejet de gaz à effet de serre, comme avec le concept de bâtiment Génération E. Ou encore, en identifiant les matières premières renouvelables qui permettront de réduire demain notre dépendance à l'égard du pétrole. Ou encore, en obtenant des plantes permettant de mieux subvenir aux besoins alimentaires de toute la planète.



**Le volet « sociétal » du développement durable met bien sûr l'accent sur les risques à la santé qui peuvent résulter de l'activité de l'industrie. C'est ainsi que le règlement REACH a été adopté en décembre dernier par l'Union européenne pour imposer une politique de précaution dans la diffusion des substances chimiques. Le côté « complet » des demandes de ce règlement fixe à l'industrie des objectifs considérables en matière de toxicologie – puisque les dossiers d'agrément à la production ou à l'acquisition de nouveaux produits chimiques devraient ressembler à ceux des fameuses AMM (autorisation de mise sur le marché) des médicaments. Ressentez vous à BASF ces objectifs comme réalistes ?**

REACH est là, et il faut s'y conformer. Mais ceci ne nous effraie pas et nous ne ressentons pas ce caractère de « rupture dramatique » que la presse lui attache parfois. L'industrie chimique, et notamment BASF, a toujours soutenu, dès le lancement du projet en 2001, l'objectif de REACH d'améliorer le niveau de protection de la santé et de l'environnement. Les discussions et les critiques ne portaient que sur la lourdeur du texte, sur ses difficultés d'application et sur l'impact économique fort que l'on pouvait craindre sur certaines industries aval et beaucoup sur les PME. En ce qui concerne l'analyse toxicologique et écotoxicologique de nos produits, nous n'avons pas attendu

REACH pour l'entreprendre, ce qui nous permettra de respecter les différents délais (3, 5, 6 et 11 ans) fixés par le règlement européen.

**Mais là encore, l'extension de ces demandes de dossiers toxicologiques ne préoccupe-t-elle pas vos équipes de recherche ?**

Elle les occupe plutôt qu'elle ne les préoccupe. Nos équipes sont déjà fortement engagées dans ce processus et nous possédons pour cela un laboratoire important et très compétent de toxicologie et d'écotoxicologie. Toutefois, il ne faut pas réduire la demande de REACH à la seule toxicologie et aux contraintes que cela nous impose : la recherche de produits de substitution permettant de répondre à l'évolution de la demande consécutive aux exigences du développement durable, qui est aussi un axe important, devrait en être accélérée.

**On voit que REACH nous emmène un peu loin de notre objectif de mieux comprendre comment le développement durable modifie votre entreprise. Peut-être pourrions-nous consacrer une future entrevue aux conséquences de REACH telles que vécues par BASF ?**

**Merci, Monsieur le président, d'avoir répondu aux questions de L'Actualité Chimique.**

l'entreprise et voir ce qui se fait, concrètement, souvent sans bruit pour le développement durable. L'entretien que nous a accordé Olivier Homolle (voir ci-après), président de BASF France, montre qu'en effet des efforts quotidiens s'y déroulent dans ce domaine, parfois depuis plusieurs années avec déjà des succès perceptibles, et que la « culture du développement durable » chez l'industriel est une réalité tout à fait concrète.

- [1] Cartier dit Moulin C., Rico-Lattes I., Le département Chimie du CNRS s'engage pour le développement durable, *L'Act. Chim.*, **2007**, 307, p. 53.  
[2] Azémar M., Chimie pour un développement durable, *L'Act. Chim.*, **2006**, 294, p. 4.



**Paul Rigny**

est rédacteur en chef de *L'Actualité Chimique*\*.

\* Courriel : paul.rigny@lactualitechimique.org



Depuis 1988

Les Editions D'Ile de France

Expérience,  
la différence

102, avenue Georges Clemenceau  
94700 Maisons-Alfort  
Tél. : 01 43 53 64 00 • Fax : 01 43 53 48 00  
e-mail : edition@edif.fr

Votre contact : André BERDAH

Régisseur exclusif  
de la revue *Actualité Chimique*

Web : [www.edif.fr](http://www.edif.fr)

## Distinctions

Médailles d'argent,  
Médailles de bronze  
du CNRS

La **Médaille d'argent** du CNRS distingue chaque année des chercheurs au début de leur ascension, mais déjà reconnus sur le plan national et international pour l'originalité, la qualité et l'importance de leurs travaux. Deux chercheurs du Département de Chimie, tous deux membres de la SFC, ont ainsi été honorés cette année :



• **Philippe Sautet**  
Directeur de recherche au Laboratoire de chimie de l'ENS Lyon, Philippe Sautet développe une thématique originale sur les applications de la chimie

théorique à la catalyse. Plus précisément, son activité couvre un large champ de méthodes théoriques comme la chimie quantique, les simulations de dynamique moléculaire et les méthodes de Monte Carlo. Sa contribution est centrée sur la description quantique de la chimisorption et de la réactivité moléculaire sur des surfaces modèles de catalyseurs. Cette approche comprend à la fois la mise en place de méthodes originales et spécifiques pour l'étude de ces systèmes et un ensemble d'applications ciblées sur la compréhension des phénomènes élémentaires de la catalyse hétérogène.

Il est l'auteur ou le co-auteur de plusieurs articles parus dans nos colonnes, notamment en juin 2006 : « Étude théorique *ab initio* des surfaces d'oxydes. Application aux supports de catalyseurs. »



• **Samir Zard**  
Directeur de recherche au Laboratoire de synthèse organique de Palaiseau, Samir Zard est reconnu pour ses travaux dans le domaine de la chimie radicalaire

et de la méthodologie de synthèse en chimie organique et chimie des polymères. Il est à l'origine de la découverte de plus de quarante nouvelles réactions et synthèses totales de plusieurs produits naturels.

Les réactions découvertes par Samir Zard sont très générales. Elles simplifient considérablement diverses opérations synthétiques et permettent d'obtenir des structures difficilement accessibles par d'autres méthodes. Il a également apporté des contributions significatives dans le domaine de la synthèse de composés fluorés, de divers hétérocycles et de polymères à blocs.

La **Médaille de bronze** récompense tous les ans le premier travail d'un chercheur, qui fait de lui un spécialiste de talent dans son domaine. Elle représente un encouragement du CNRS à poursuivre des recherches bien engagées et déjà fécondes. Cette année, cinq chimistes se sont ainsi vus honorés :

• **Martin Brinkmann**, chargé de recherche à l'Institut Charles Sadron (Strasbourg), a notamment développé une méthode originale d'élaboration de Surfaces Polymères Orientées et Nanostructurées (SPONs) possédant de nombreux avantages par rapport aux méthodes existantes (température, durée et coût de fabrication).

• **Rachid Baata**, chargé de recherche au Laboratoire de synthèse bio-organique/Institut Gilbert Laustriat (Strasbourg), développe parallèlement quatre axes de recherche. Il étudie la chimie des vinylidènes carbénoïdes de chrome(III) pour la découverte de nouvelles méthodes de formation de liaison

C-C, développe la préparation de la triptolide, molécule à activité anticancéreuse, et de sondes pour l'étude d'interaction protéine/protéine, et étudie enfin des empreintes moléculaires et nanotubes de carbone.

• **Carole Duboc**, chargée de recherche au Département de Chimie moléculaire (Grenoble), utilise la résonance paramagnétique électronique pour caractériser la structure électronique de métaux de transition ou de radicaux. Elle s'intéresse plus particulièrement à des complexes de manganèse, modèles des sites actifs des métallo-enzymes et des sites radicalaires de protéines (glycyls et radicaux phénoxy). Ses projets portent sur la synthèse et la caractérisation de systèmes mono- et binucléaires du nickel bioinspirés, c'est-à-dire capables de reproduire l'activité des enzymes qui catalysent l'activation de CO ou de CO<sub>2</sub>.

• **Gwilherm Evano**, chargé de recherche à l'Institut Lavoisier (Versailles), développe la chimie des hétérocycles azotés énantiopurs à partir d'acides aminés. Il a ainsi réalisé la synthèse de plusieurs alcaloïdes quinolizidiniques ou cyclopeptidiques. Pour ces synthèses, il a été mis au point de nouveaux outils méthodologiques d'un intérêt général pour la communauté des chimistes organiciens.

• **Yann Le Godec**, chargé de recherche à l'Institut de minéralogie et de physique des milieux condensés (Paris), utilise des techniques de diffraction pour l'étude *in situ* de synthèses de matériaux sous haute pression et haute température. Il a pour perspectives de synthétiser de nouveaux oxydes et sulfures de métaux de transition, et de nouveaux nanomatériaux unidimensionnels confinés (nanotubes de carbone remplis).

• **Vincent Vivier**, chargé de recherche au Laboratoire Interfaces et systèmes électrochimiques (Ivry-sur-Seine), est un spécialiste en microscopie électrochimique à balayage. Les thèmes de recherche qu'il aborde concernent la caractérisation des processus de corrosion à l'échelle locale (sur le fer, les

**NANOMEPS**

Dpt Génie Physique INSA  
135 avenue de Ranguéil  
31077 TOULOUSE Cedex 4  
FRANCE

Tél.: 05.62.26.07.92  
contact@nanomeps.fr

[www.nanomeps.fr](http://www.nanomeps.fr)

**NANOMATERIAUX ET COMPLEXES ORGANOMETALLIQUES**

**Complexes organométalliques**

**Produits spécifiques sur demande**

**Nanomatériaux :**

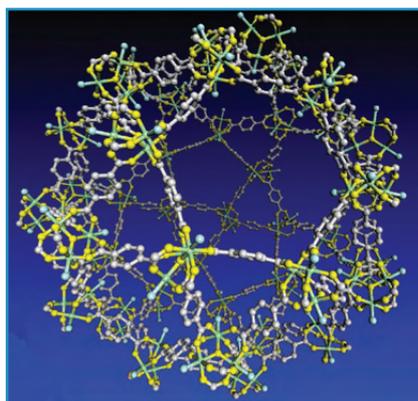
- Taille et forme contrôlées : sphères, cubes, bâtonnets
- Dès 2 nm
- Métaux purs ou Oxydes métalliques
- Propriétés magnétiques, optiques, catalytiques...

bronzes et les alliages de magnésium) et la mise en œuvre de mesures locales au niveau des interfaces solide/liquide et liquide/gaz.

En attendant de découvrir plus en détails les travaux des lauréats 2007, vous pourrez lire en septembre dans nos colonnes les articles des Médailles de bronze 2006.

## Recherche et développement

### L'article de chimie le plus cité actuellement est français



*Science Watch*, le journal des statistiques produites par l'ISI Web of Knowledge, a placé l'article de Gérard Férey *et al.* publié dans *Science* en 2005 [1] en tête des articles les plus cités à l'heure actuelle de part le monde [2]. Les auteurs y décrivaient le premier solide cristallisé à pores géants et le rôle des interactions entre molécules de solvants et molécules hôtes conduisant aux phénomènes de « respiration » observés dans certains matériaux hybrides poreux. Telles des éponges moléculaires, ces matériaux ont la capacité d'adsorber de manière réversible une très grande quantité de solvants organiques, ouvrant ainsi la voie à de nombreuses applications. « C'est d'abord la joie de voir la chimie française reconnue à ce niveau, a déclaré Gérard Férey, interrogé à ce sujet. Mais au-delà de la reconnaissance de nos propres travaux, c'est aussi un enseignement. Souvent par modestie, nous faisons en France de l'autocensure dans le choix des journaux dans lesquels nous publions, et notre impact en est réduit d'autant. Il faut plus oser les grandes revues quand la qualité et/ou l'originalité le permet. Contrairement à une idée reçue, elles sont accessibles... » Pour preuve, l'équipe de G. Férey vient de publier un nouvel article dans *Science* [3].

Pour tous ceux qui n'auraient pas encore eu l'occasion de s'y plonger, nous vous recommandons vivement la lecture du dossier de janvier dernier sur « Les nouveaux solides poreux ou les miracles des trous » écrit par Gérard Férey, probablement l'un des articles les plus cités de *L'AC* !

- Source : CNRS, 11 mai 2007.
- [1] Férey G., Mellot-Draznieks C., Serre C., Millange F., Dutour J., Surblé S., Margiolaki I., A chromium terephthalate-based solid with unusually large pore volumes and surface area, *Science*, 2005, 309, p. 2040.
- [2] <http://www.cnrs.fr/chimie/communication/documents/Ferey07.pdf>
- [3] Serre C., Mellot-Draznieks C., Surblé S., Audebrand N., Filinchuk Y., Férey G., Role of solvent-host interactions that lead to very large swelling of hybrid frameworks, *Science*, 2007, 315, p. 1828.

## Le Fonds Pascal

**Qu'est-ce que c'est ?** Créé en mars 2005, il dépend du Ministère de la Culture et de la Communication. C'est un dispositif d'incitation, sous la forme d'un fonds de soutien, au recours à l'interprétation dans les manifestations scientifiques qui ont lieu en France afin que celles-ci se déroulent en langue française. Concrètement : une aide financière est versée dont le montant couvre les dépenses liées à la rémunération des interprètes (à l'exclusion des frais de voyage, de séjour et de logistique).

**Pourquoi ?** Pour permettre aux chercheurs francophones et étrangers ayant fait l'effort d'apprendre notre langue d'exprimer le résultat de leurs travaux en français et contribuer ainsi à renforcer l'attractivité de notre pays.

**À qui il s'adresse ?** Aux organisateurs de manifestations, colloques ou congrès scientifiques sur le territoire français\* qui s'engagent à mettre en place un dispositif d'interprétation et à en informer les participants dès la première annonce, et dont les dossiers de candidature répondent à certains critères d'ordre pratique, comme par exemple le nombre de participants ou la durée du recours à l'interprétation au cours de la manifestation. Tous les domaines de la science sont concernés : mathématiques, sciences de la terre, sciences du vivant, sciences des matériaux, sciences humaines et sociales.

**Comment en bénéficier ?** En adressant un dossier de candidature à la Délégation générale à la langue française et aux langues de France. Après acceptation, le montant des aides accordées est fixé sur avis d'une commission de sélection composée du Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, de représentants des

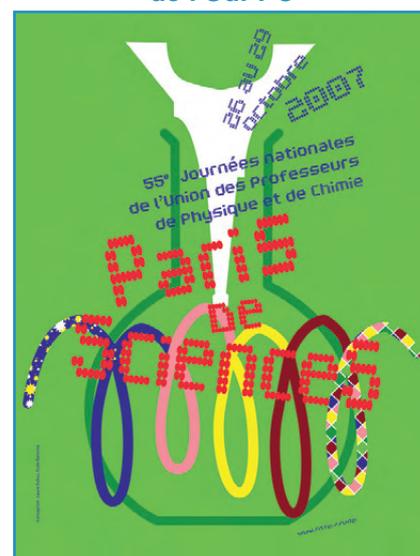
Ministères des Affaires étrangères, de l'Éducation, de la Recherche et de la Culture, de l'Organisation internationale de la francophonie et d'experts, présidée par le délégué général à la langue française et aux langues de France.

**Cécile Carret**

- Délégation générale à la langue française et aux langues de France, 6 rue des Pyramides, 75001 Paris. Contact : André Catillon. Tél. : 01 40 15 36 61. <http://www.culture.gouv.fr/culture/dgllf/aide-traduction.htm>
- \* Pour les manifestations organisées hors de France, le Fonds d'Aide à la Traduction et à l'Interprétation (FATI) de l'Organisation Internationale de la Francophonie (OIF) propose un dispositif similaire.

## Enseignement et formation

### Paris de sciences 55<sup>e</sup> Journées nationales de l'UdPPC



Parce que « *demain les professeurs enseigneront ce que les chercheurs et les ingénieurs élaborent aujourd'hui* », l'Union des professeurs de physique et de chimie organise ses 55<sup>e</sup> journées pour que les 800 professeurs attendus puissent s'y former, s'informer, discuter, échanger, et donc faire avancer leur enseignement.

Alors après SFC07, venez participer au centenaire du Bulletin de l'Union des professeurs de physique et de chimie, « *Le Bup* », le **26 octobre à Paris** (Maison de la Chimie). Au programme notamment : les conférences d'Alain Aspect, Peter Atkins, Claudine Hermann, Bertrand Labasse et Dominique Pestre.

Du **27 au 29 octobre**, vous pourrez choisir parmi les 200 activités proposées à l'École nationale de chimie physique et biologie (ENCPB) : conférences « à la carte » ou expérimentales, tables rondes, ateliers (scientifiques,

pédagogiques, d'histoire des sciences, expérimentaux), démonstrations, promenades scientifiques, visites de musées, expositions... !

- Les inscriptions sont ouvertes sur : <http://paris2007.udppc.asso.fr>

### L'emploi des jeunes diplômés en nette amélioration

Pour la 15<sup>e</sup> année consécutive, la Fédération Gay-Lussac, qui regroupe les 18 grandes écoles d'ingénieurs de chimie et de génie des procédés françaises, a réalisé une enquête sur l'insertion des jeunes diplômés de la promotion 2006. Bonne nouvelle : on constate une très nette amélioration de l'emploi de ces jeunes diplômés avec un taux net d'emploi de 75 %, soit une augmentation de 12 % par rapport à la promotion 2005 et de 32 % par rapport à celle de 2003 !

50 % des jeunes diplômés 2006 ont trouvé leur emploi avant l'obtention de leur diplôme et 75 % en moins de deux mois après. D'après la dernière enquête de l'Expansion-Towers Perrin auprès des entreprises, les salaires moyens vont de 33 000 € annuels bruts à l'embauche à plus de 44 000 € annuels bruts après trois ans d'ancienneté. Le nombre de diplômés effectuant une thèse ou une formation complémentaire est resté stable autour de 10 %.

Concernant la répartition par secteurs d'activités : 50 % travaillent dans les industries chimiques, parachimiques, pharmaceutiques et l'énergie. Les 50 % restant ont trouvé leur place dans plus de quinze secteurs industriels différents comme le BTP, l'automobile, les transports... 50 % d'entre eux sont embauchés comme ingénieurs en recherche et développement, 13 % en études conseil en ingénierie (forte croissance cette année), 13 % en production et dans 25 autres métiers comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le marketing, les fonctions commerciales, les brevets, la propriété industrielle... Paris et la région parisienne concentrent 33 % des effectifs, 50 % travaillent en région, les autres à l'international (76 % en Europe hors France, 12 % en

Amérique du Nord, 7 % en Asie). 62 % sont entrés dans une grande entreprise, les deux tiers en CDI. D'autre part, il n'y a pas de différence de statuts, de types de contrat, de lieu de travail et de taille de l'entreprise entre les hommes et les femmes. Dans l'exercice de leur poste, 23 % ont des responsabilités hiérarchiques, 26 % gèrent un budget, 33 % animent une équipe.

Pour trouver leur premier poste, les moyens privilégiés ont été les stages pour 33 % et les candidatures sur Internet pour 25 % (toujours en croissance : + 4 % par rapport à l'année dernière). En raison de l'amélioration du marché de l'emploi, les diplômés ont eu beaucoup plus d'offres en accord avec leur projet professionnel, et les autres critères comme le lieu, le salaire, la notoriété de l'entreprise, ont donc pris une importance accrue. Ils sont satisfaits de leur emploi à 94 % et 89 % d'entre eux estiment que l'adéquation entre leur poste et leur formation est bonne.

- Source : Fédération Gay-Lussac, 11 juin 2007. [www.gaylussac.net](http://www.gaylussac.net)

### La chimie au quotidien

#### Rapport d'activité de la commission « Chimie et Société »

La diffusion de la culture scientifique et technique est devenue un impératif. Science et technologie sous-tendent un grand nombre de problèmes de société et un débat démocratique éclairé implique que les citoyens puissent acquérir un minimum de connaissances et surtout la capacité de s'interroger et de raisonner dans ces domaines. De nombreuses initiatives ont été prises pour répondre à ce besoin, mais le travail reste immense. La désaffection des étudiants pour les études scientifiques devient par ailleurs préoccupante et risque de compromettre le renouvellement des cadres scientifiques et techniques. Il s'agit d'un phénomène général et cette situation se retrouve dans la plupart des pays occidentaux.

Il est donc important d'intensifier les efforts pour rendre la science attrayante et conforter le rôle des scientifiques au sein de la société. La communauté des chimistes partage cette inquiétude générale et entend contribuer, à partir de problèmes concrets posés par son secteur d'activité, à cet effort commun de promotion de la culture scientifique et technique. Cette volonté commune a conduit, en 2001, à la création d'un groupe Chimie et Société, qui a tout naturellement trouvé sa place au sein de la Fondation de la Maison de la Chimie, en tant que commission de cette fondation. Cette commission vient de publier son rapport d'activité pour les années 2004-2006, consultable sur le site.

- [www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete/index-1.htm](http://www.maisondelachimie.asso.fr/chimiesociete/index-1.htm)

**eurisotop<sup>®</sup>**

**Molécules Marquées (<sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N, D, <sup>18</sup>O,...)  
Et Solvants Deutériés pour la RMN**

Parc des Algorithmes  
Rte de l'Orme - Bât Homère  
F - 91194 Saint-Aubin cedex  
Tél. : 33 (0) 1 69 41 95 96  
Fax : 33 (0) 1 69 41 93 52

E-mail : [eurisotop@eurisotop.fr](mailto:eurisotop@eurisotop.fr)  
Website : <http://www.eurisotop.fr>

### Rencontres

#### « Sciences et Citoyens »

Comme chaque année, le CNRS accueillera cet automne 450 jeunes européens de 18 à 25 ans, étudiants ou engagés dans la vie active, et une centaine de chercheurs de toutes disciplines au palais des congrès du Futuroscope de Poitiers. Le but de ce rendez-vous est de permettre un dialogue constructif, où chacun apporte sa richesse, sur des sujets touchant aux grands problèmes de notre temps. Au programme, entre autres, cette année : « Performances et apparences : pourquoi veut-on et jusqu'où peut-on améliorer son corps ? », « Biotechnologies et société », « Science et politique : quels décideurs pour une politique scientifique ? »

- Du 26 au 28 octobre, inscriptions dans la limite des places disponibles ! [www2.cnrs.fr/jeunes/120.htm](http://www2.cnrs.fr/jeunes/120.htm)

### Paul Pastour (1919-2007)



Nous avons appris avec tristesse le décès du recteur Paul Pastour survenu en avril dernier à l'âge de 86 ans. Ce Cannois a été notamment directeur de l'Institut National de Chimie Industrielle de Rouen (1959-1970) et recteur de l'Académie de Nancy-Metz (1970-1976), puis de Nice (1976-1981).

Un hommage lui a été rendu dans le *SFC Info en ligne* du 15 mai dernier, le texte est accessible sur le site de la SFC.

- [www.sfc.fr/SFCINFOENLIGNE/N2007/N10\\_mai2007.pdf](http://www.sfc.fr/SFCINFOENLIGNE/N2007/N10_mai2007.pdf)

## Livres



### La chimie verte

P. Colonna (coord.)  
Ouvrage collectif (54 auteurs)  
560 p., 120 €  
Tec & Doc, Lavoisier, 2005

La prise de conscience de la nécessité d'un développement durable pour les activités liées à la chimie a commencé en 1987 avec le rapport Brundtland à l'ONU, suivie par la réflexion de l'Agence pour la protection de l'environnement aux États-Unis qui a lancé le mouvement pour une chimie verte avec ses douze commandements. Sous le vocable chimie verte, on a vu assez rapidement se développer deux conceptions : celle, très générale, qui prend en compte l'ensemble des voies et moyens pour rendre les activités liées à la chimie compatibles avec l'environnement (économie d'atomes, d'énergie, diminution des rejets de gaz à effet de serre, miniaturisation des procédés, etc.), ces approches étant valables pour toutes les matières premières dont bien entendu les matières premières fossiles. La seconde conception se base aussi sur la nécessité de diminuer les gaz à effet de serre mais considère l'inévitable diminution des matières fossiles à moyen terme, et propose une chimie du futur qui serait basée sur l'utilisation des substances renouvelables. La démarche qui a conduit à ce livre s'inscrit dans la seconde conception et on peut le considérer comme un traité de chimie sur les substances naturelles, en 17 chapitres. L'introduction nous rappelle que la diminution des ressources fossiles n'est pas le seul moteur de développement de la chimie des ressources naturelles : la notion d'écobilan, le contrôle des émissions de CO<sub>2</sub>, la biodégradabilité, permettent de prévoir des développements à court terme pour des usages non alimentaires de la biomasse.

Un grand intérêt de ce livre est son caractère pluridisciplinaire : certains chapitres sont à caractère stratégique ou économique – c'est le cas de celui qui traite de la disponibilité des terres agricoles françaises pour les usages énergétiques, de celui sur le rôle de l'agriculture et des forêts dans l'effet de

serre, ou de celui qui présente l'analyse économique des filières biocarburants. D'autres chapitres sont consacrés aux possibilités de transformation en syntheses, par voie chimique ou enzymatique, des matières premières telles que les composés lignocellulosiques. On aborde aussi les questions de génie génétique pour la modification des amidons, des plantes oléagineuses et des lignines. Les transformations chimiques sont aussi abordées par grandes familles et le lecteur dispose de bonnes mises au point sur la chimie des corps gras et des sucres. Un très intéressant article est consacré à l'obtention des arômes par voies biotechnologiques à l'aide d'un champignon filamenteux agissant sur les composés féruloïlés. Deux chapitres du livre sont dédiés aux biocarburants. L'un compare les possibilités de production de l'éthanol à partir de trois matières premières (l'amidon, le saccharose et les produits lignocellulosiques), l'autre a un caractère plus technico-économique sur les filières éthanol, éther tertio butylique et esters méthyliques des acides gras : le renouveau des fibres végétales fait l'objet d'un chapitre intéressant pour les lecteurs concernés par les matériaux composites. Un chapitre traite de manière très complète des possibilités de l'amidon, seul ou associé à d'autres polymères ; un autre est consacré aux matériaux dérivés des protéines. La partie sur le caoutchouc est très intéressante car abordée sous l'angle de la variabilité des propriétés.

Les biopolymères amphiphiles sont traités sous l'angle de leurs propriétés tensioactives. On remarque que les polymères dérivés de la cellulose ne sont pas discutés ici mais ils font l'objet d'ouvrages par ailleurs.

Le livre couvre un large domaine, les références sont nombreuses et récentes ; on pourrait lui reprocher d'être plus un ensemble d'articles de très bon niveau qu'un livre structuré avec un fil directeur, mais cela n'enlève rien à son intérêt.

Cet ouvrage est vraiment indispensable pour ceux qui seront appelés à faire un enseignement sur la chimie des substances renouvelables. Il sera aussi très utile aux personnes qui cherchent à apprécier à quelle échéance et dans quels domaines industriels les matières premières fossiles cèderont la place à la biomasse. Enfin, il sera sans doute un compagnon nécessaire à toutes les équipes qui s'engagent dans les projets de chimie pour un développement durable.

**Bernard Sillion**



### Les déchets nucléaires. Quel avenir ?

S. Gin  
Préface de R. Guillaumont  
195 p., 20 €  
Dunod UniverSciences, 2006

C'est un livre d'actualité, paru en 2006, année du rendez-vous fixé par la loi « Bataille » de 1991 pour l'examen des travaux entrepris pour éclairer le débat du Parlement sur les solutions possibles de gestion des déchets nucléaires. La nouvelle loi adoptée prolonge celle de 91. Le stockage géologique profond y étant considéré comme la voie de référence pour la gestion définitive des déchets à vie longue, 2015 étant retenue pour la demande de licence d'exploitation d'un stockage, les travaux de recherche se poursuivent donc. Ce livre s'inscrit en conséquence dans le flux des rapports d'étape, plus précisément dans celui des évaluations aussi rigoureuses que possible des résultats obtenus.

Le titre semble un peu trop général. Le cœur de l'ouvrage traite des déchets nucléaires vitrifiés, issus du retraitement des combustibles usés extraits des centrales nucléaires, déchets de haute activité et à vie longue qui portent sous un faible volume (relativement) l'essentiel de l'activité à gérer (95 %). Mais d'autres, moins actifs mais plus volumineux et surtout plus divers, posent d'autres problèmes de gestion et ne sont guère plus qu'évoqués dans l'ouvrage. Cette remarque faite, il n'en reste pas moins que les déchets vitrifiés sont replacés dans le contexte général de la gestion et que leur importance dans le choix des solutions de stockage mérite bien l'ampleur des développements que l'auteur leur accorde.

Rapport d'étape certainement, mais surtout pas destiné à la seule communauté scientifique ou au seul monde du nucléaire. L'auteur a destiné son livre à un large public désireux de comprendre les enjeux de la gestion des déchets nucléaires. En présentant les données sur les déchets, en exposant les principaux problèmes, les solutions trouvées, les certitudes scientifiques, mais aussi les incertitudes restantes, il entend aider le lecteur à se construire un avis éclairé sur les choix qui devront

être faits en matière de politique énergétique. Exercice redoutable qui oblige à bannir du langage tout un appareil de formulations scientifiques qui est, pour le profane, plus argument d'autorité qu'explication convaincante. Pour le réussir, il faut certes maîtriser son sujet, mais aussi être capable de construire un exposé aussi précis que possible, toujours à la portée du lecteur. Il faut dire que là, l'exercice est particulièrement réussi.

Un bon quart de l'ouvrage donne les éléments de base sur l'atome, la radioactivité, l'interaction des rayonnements avec la matière, en insistant sur les effets sur la matière vivante et la santé humaine. La présentation du cycle du combustible nucléaire, la définition des déchets et leur évaluation qualitative et quantitative précisent la place des déchets à vie longue, surtout ceux de haute activité, qui seront l'essentiel du reste du livre.

La panoplie des traitements des déchets à vie longue, la vitrification (surtout), l'enrobage dans le bitume ou la cimentation (l'auteur ajoute le compactage, qui me semble plus une méthode de réduction de volume, certes très utile et économiquement avantageuse, qu'une méthode d'isolement des déchets), aboutit à la présentation de deux solutions de gestion : l'entreposage de longue durée et le stockage géologique. La discussion de ces deux solutions est certainement un peu courte. La première, certes, ne pose guère de problèmes scientifiques, mais surtout économiques ou éthiques (que peut-on dire de l'exercice effectif de la responsabilité des gestionnaires dans un contexte politique, social, environnemental, totalement indéterminé, même à moyen terme ?). La seconde par son caractère définitif (même avec une phase de réversibilité nécessairement limitée) pose le problème des comportements à très long terme (quelques centaines de milliers d'années ou plus) dans un milieu géologique, comportement des déchets et celui du milieu ; il implique aussi de démontrer que l'impact sur les populations et l'environnement reste compatible sur ces longues périodes avec les exigences de sûreté. Il y a dans la problématique du stockage une richesse de questionnements scientifiques pluridisciplinaires qui mériterait un livre. On ne saurait cependant reprocher à l'auteur de n'avoir fait qu'un livre au lieu de deux. Le comportement à long terme des verres nucléaires est bien le noyau dur du livre. C'est notamment le fruit du travail de l'auteur et de son équipe

pendant ces quinze dernières années. Connaissance du verre, des mécanismes d'altération, évaluation des capacités de confinement du verre au cours du temps, l'exposé est un modèle de rigueur et de simplicité. L'exigence de bien spécifier les incertitudes encore présentes dans les mécanismes d'altération, les vitesses de libération et de diffusion des radioéléments contenus dans le verre, de montrer comment ces incertitudes peuvent se propager dans l'évaluation de l'impact à long terme du stockage sur la biosphère, autorise seule leur prise en compte dans les modèles prédictifs de l'altération du verre, de la migration de radioéléments et de l'impact sur l'homme et l'environnement. Les modèles étant le seul moyen de parler raisonnablement de phénomènes qui par leur durée échappent à l'observation directe, il importe en effet que les phénomènes qu'ils modélisent soient recensés de façon aussi exhaustive que possible et que les données de base soient introduites avec leur domaine de certitude. Cette partie du livre est certainement celle qui apporte le plus à la réflexion du lecteur.

L'auteur livre ses réflexions finales sur la portée sociale et morale des travaux effectués. Chacun, d'accord ou non, reconnaîtra qu'elles se fondent sur une pratique qui allie rigueur scientifique et sens de la responsabilité. Le tout est écrit dans un style limpide, loin du jargon scientifique. On lit de la première à la dernière page sans avoir envie de poser le livre. *In cauda venenum*, il semble qu'il y ait un oubli fâcheux dans la bibliographie : l'auteur et Isabelle Ribet ont écrit un excellent article, « Comportement à long terme des verres nucléaires de type R7T7 », dans le numéro spécial de *L'Actualité Chimique*, « Sciences chimiques et déchets radioactifs » (n° 285-286, avril-mai 2005). Il se situait dans un ensemble qui peut intéresser le lecteur avide d'élargir ses connaissances.

Pierre Vermeulin



**Chimie organique  
Stéréochimie, entités réactives  
et réactions**

R. Milcent  
832 p., 64 €  
EDP Sciences, 2007

Voici un nouveau livre de chimie organique qui a pour objectif de servir de « guide » à l'apprentissage de cette discipline. Les deux premières parties traitent des molécules et des entités réactives, et une autre fait une large place à la description des mécanismes réactionnels.

La première partie est essentielle bien que peu passionnante à lire de manière linéaire, l'auteur ayant jugé pertinent de ne pas traiter les méthodes physico-chimiques modernes, suggérant aux étudiants de se reporter aux livres spécialisés. Le chapitre 2 est donc limité à l'utilisation de l'analyse élémentaire pondérale et quantitative pour déterminer la formule brute, un court commentaire étant dédié à la spectrométrie de masse. Le chapitre 4, « stéréoisoméris-téréochimie », le plus réussi de cet ouvrage grâce au soin apporté par l'auteur aux diverses représentations et aux très nombreuses figures en couleur permettant de visualiser les différentes structures, sera utile pour un étudiant débutant. Les exemples y sont judicieusement choisis ; cependant, les avancées récentes de la chiralité dans la catalyse, un domaine en pleine évolution : chiralité des phosphines, atropisomérisation (BINAP, Noyori, prix Nobel de chimie 2001), ne sont pas ou peu traitées. Il y manque, à destination des étudiants, une définition claire de la synthèse asymétrique, basée sur l'utilisation d'un auxiliaire chiral présent sur le substrat de départ (synthèse diastéréoselective). La constante du pouvoir rotatoire est exprimée par convention sans unité et non le degré comme indiqué dans ce livre.

Dans la seconde partie, l'auteur passe en revue les divers grands mécanismes pour y faire entrer en 526 pages (!!) tout ce dont un étudiant a besoin dans cette discipline : réactions de substitution, d'addition sur les systèmes insaturés, réactions d'élimination, oxydations, réductions et réarrangements. Les mécanismes sont à chaque fois clairement présentés et accompagnés d'exemples intéressants, mais le plus souvent très traditionnels. Les nombreuses réactions et concepts livrés à l'étudiant sont associés généralement à leurs inventeurs, comme par exemple le doublement de racémique (Pasteur), la préparation d'ammonium quaternaires (Menchoutkine), les réactions de substitution électrophile alkylation-acylation (Friedel-Craft), chlorométhylations (Blanc-Quelet), etc. Il est dommage, lors de la description des propriétés des éthers couronnes, que les noms de Lehn, Pedersen et Cram (Nobel de chimie

en 1987) ne soient pas cités ! Au chapitre de l'hydrogénation énantiosélective, les géniaux découvreurs : Knowles, Kagan et Noyori, sont également absents.

L'explosion des connaissances au cours de ces vingt dernières années n'a pas épargné la chimie organique. L'auteur y fait parfois référence par quelques citations avec la réaction de Sharpless et la métathèse des oléfines. Cet ouvrage, pourtant imposant, aurait mérité l'insertion de quelques réactions utiles et utilisées en synthèse organique moderne. À titre d'exemples au chapitre des réactions radicalaires, les contributions de Barton-McCombie avaient certainement leur place ; les réactions d'oléfination sont illustrées par la seule réaction de Wittig, les réactions d'oléfination de Peterson et Julia-Lythgoe auraient mérité également d'être traitées. Au chapitre des réactions de substitution, la réaction de Mistunobu avait également sa place compte tenu de son utilisation synthétique. La réaction Wurtz-Grignard par catalyse avec le cobalt, citée dans ce livre, n'a qu'un intérêt historique alors que les réactions de couplage métallo-catalysées, très explorées en recherche et dans l'industrie, sont totalement ignorées.

Cet ouvrage rassemble un très grand nombre de réactions pour la plupart utiles à un étudiant désirant préparer un concours (PCEM par exemple). Il aurait mérité cependant d'être dépoussiéré de vieilles réactions pour être plus attractif et attirer le jeune étudiant de licence vers cette discipline parfois ardue.

**Jean-Pierre Genet**



### Quantitative applications of mass spectrometry

I. Lavagnini, F. Magno, R. Seraglia, P. Traldi

152 p., 30 €  
Wiley, 2006

Le choix d'une méthode de dosage, les protocoles opératoires, le traitement et la validation des données sont des préoccupations primordiales pour tous les laboratoires utilisant la spectrométrie de masse. Malgré cela, les livres uniquement consacrés aux dosages quantitatifs par spectrométrie

de masse sont rares, et le titre de l'ouvrage dû à quatre auteurs italiens, de deux laboratoires universitaires de Padoue, attire facilement le regard.

Ce texte très court ne comporte que quatre chapitres. Le premier est un survol général des appareillages en spectrométrie de masse, qui n'aborde aucune question sur leur utilisation en analyse quantitative. Le second (avec seulement deux références, dont une datant de 1974) s'intitule « Comment concevoir une analyse quantitative ». Il traite correctement le problème posé et s'accorde avec le titre, mais il aurait mérité un plus long développement, ne faisant que survoler de manière très générale les principales méthodes de dosage : étalonnages externe et interne, méthode des ajouts dosés. Le troisième chapitre (la moitié du texte), intitulé « Comment améliorer la spécificité », constitue le cœur de l'ouvrage. Il décrit les raisons orientant l'analyste vers des méthodes séparatives en phases gazeuse (GC-MS) ou liquide (LC-MS) en fonction des propriétés physico-chimiques des échantillons. Deux exemples illustrent ces propos : l'analyse des polychlorodibenzodioxines et des polychlorodibenzofuranes par différentes techniques de GC-MS (MS à haute résolution, sous ionisation chimique négative...), et l'analyse d'un polypeptide, la substance P, par MALDI MS. Cette partie est instructive et illustre bien la méthodologie adaptée aux analyses quantitatives. Le quatrième chapitre, intitulé « Quelques réflexions sur le calibrage et l'analyse des données », examine ces sujets d'un point de vue purement mathématique, en présentant une série d'équations pour les cas expérimentaux où la courbe d'étalonnage n'est plus une simple droite. Ce chapitre est un peu rude pour qui n'est pas un statisticien chevronné, heureusement illustré par un exemple concret plus facile d'approche (la détermination par GC-MS du chloroforme dans une eau de surface).

De part sa concision, l'ouvrage laisse de côté beaucoup d'aspects importants en analyse quantitative. Il apparaît plus comme le recueil de discussions entre universitaires, pouvant résulter d'une série de séminaires, que comme un ouvrage de fond. Cependant, vu le manque notable de documentation actuellement disponible sur les questions de l'analyse quantitative par spectrométrie de masse, ce petit mémo donne quelques motifs utiles de réflexion.

**Patrick Arpino**



### Henri Sainte-Claire Deville Chimie, recherche et industrie

C. Paquot

225 p., 29 €

Vuibert et Institut pour l'Histoire de l'Aluminium, 2005

Catherine Paquot a extrait de sa thèse un ouvrage de dimension modeste qui nous fait connaître l'un des grands chimistes du XIX<sup>e</sup> siècle trop méconnu. Il est probable que son opposition constante à la théorie atomique, d'une part, et la prévalence de la chimie organique à son époque, de l'autre, n'ont fait retenir d'Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881) que sa contribution à l'obtention d'aluminium pur, vite dépassée par de nouveaux procédés électrolytiques, et bien qu'il n'ait publié qu'une dizaine d'articles sur ce sujet en 1854-1855 et 1859.

L'ouvrage est préfacé par l'historien Alain Plessis et postfacé par Ivan Grinberg, secrétaire général de l'Institut pour l'Histoire de l'Aluminium, et par Jean Plateau, ancien directeur du Centre de recherches de Voreppe (Pechiney). L'auteur a su replacer les travaux d'Henri Sainte-Claire Deville dans l'histoire générale des sciences et des techniques ainsi que dans celle de l'enseignement supérieur.

Il se compose de treize chapitres, augmentés d'un tableau chronologique détaillé, d'une bibliographie très complète des œuvres du chimiste, entre 1839 et 1880, et des ouvrages et articles parus sur lui. Enfin, un index des noms propres constitue un instrument de consultation intéressant. Des illustrations inédites et provenant de sources variées agrémentent l'ouvrage.

Dans un premier chapitre, renseignée par des archives familiales, elle nous apprend que Deville est né d'une famille paternelle originaire du Périgord, installée depuis trois générations aux Antilles. On le suit dans sa formation à Paris et ses premiers travaux sur l'essence de térébenthine, compagnon de Cahours et de Gerhardt. Docteur en chimie en 1841 et en médecine en 1843, il est l'un des pionniers de l'organisation d'un enseignement supérieur en province,

nommé professeur et doyen à Besançon à 27 ans. La ville le charge également du contrôle des eaux potables, pour lequel il élabore une méthode générale d'analyse chimique. Appuyé par Dumas, il s'installe à l'École Normale Supérieure en 1851 : c'est là qu'en 1854 il obtient l'aluminium. Encouragé et soutenu par l'ensemble des chimistes français et par le pouvoir, il entreprend des expériences à l'échelle semi-industrielle. Dans le chapitre 4, l'auteur rend compte avec finesse des interactions qui concourent à donner au travail de Deville une grande visibilité, lui assurent les moyens de poursuivre ses perfectionnements et un véritable développement industriel. Deville étend ses recherches au silicium, au bore, au magnésium et à l'obtention d'espèces minérales artificielles. Elle replace avec clarté ses travaux dans ceux de ses prédécesseurs et dans les préoccupations industrielles de son époque. Lors de l'Exposition universelle de 1867, le Laboratoire de chimie de l'École Normale produit des expériences sur les pétroles, prémices pour Deville d'une autre aventure industrielle. Des données bien choisies éclairent le lecteur sur la valorisation et l'intérêt économique des recherches de Deville qui n'hésite pas à installer des fours et gazomètres de grande dimension dans son laboratoire. Les quantités produites et exposées sont très surprenantes pour les chercheurs d'aujourd'hui, enclins à la miniaturisation, et laissent aux industriels le soin d'adapter leurs productions à une échelle plus convenable aux applications. Dès 1854, avec Debray, Deville s'emploie à séparer les métaux de la mine du platine ; ce nouveau sujet va l'occuper jusqu'à la fin et l'engager en 1868 dans une commission française puis internationale, chargée d'indiquer les moyens de réaliser des étalons du mètre. L'auteur nous conte avec détails et précision les avatars de cette commission, le travail métallurgique et analytique de Deville pour obtenir l'alliage qui convient, et les difficultés relationnelles qui se développent entre ses membres. C'est l'occasion de nous faire entrer dans une correspondance extrêmement vivante entre Deville et le chimiste belge Stas, dont on se régale. Dans le chapitre 8, l'auteur rapporte les travaux de Deville sur la décomposition des corps par la chaleur (dispositifs, choix des systèmes), résultats qu'il expose devant la Société chimique de Paris en 1864.

C'est la part la plus durable et la plus originale de ses recherches, bien que l'on n'ait pas encore accès au champ des hautes températures. L'auteur n'omet pas de présenter les collaborateurs qui, autour de ce chef d'école, ont ainsi contribué à la naissance de la chimie physique. Elle expose aussi les débats qui divisent les chimistes et dans lesquels Deville s'est très nettement positionné en militant, comme équivalentiste et comme énergétiste. Il était proche de Pasteur. Au cœur d'une tension permanente et toujours actuelle, et bien qu'il ait attiré de nombreux auditeurs à ses cours, l'administration lui a reproché son attachement aux travaux de recherche. Il est l'un des fondateurs de l'École pratique des hautes études. Enfin, Mme Paquot démontre que la place conservée par la chimie française après 1860 doit beaucoup à la notoriété nationale et internationale de Deville, que les historiens ont eu tendance à oublier devant l'essor subséquent de la chimie organique. C'est donc un ouvrage très important qu'elle nous propose sur la biographie d'un grand chimiste et chef d'école, dont nous recommandons d'autant plus vivement la lecture que son style est aisé et son volume raisonnable.

**Josette Fournier**



### **Petite géométrie des parfums**

B. Proust  
127 p., 15 €  
Collection Science ouverte, Seuil, 2006

Ce livre peut se lire comme un recueil de nouvelles sur le thème de l'olfaction. En douze chapitres, il aborde tour à tour des aspects aussi variés que la physiologie, la chimie organique, la parfumerie, les arômes alimentaires, le mysticisme, l'histoire, le marketing, le comportement et même la sexualité, toujours traités pour leur relation avec l'olfaction, le cinquième de nos sens et le plus mystérieux. Ce passage en revue très complet des principaux aspects du sujet est le réel atout de cet ouvrage. L'auteur s'exprime dans un langage clair avec une très grande culture du domaine, incluant des connaissances très actuelles.

Cette clarté et cette érudition font de cet ouvrage un livre destiné à un vaste public ayant quelque intérêt pour les sciences, ainsi qu'aux lycéens et étudiants des filières scientifiques.

Le souci de clarté a cependant amené parfois l'auteur à trop de simplifications, voire certaines omissions. C'est l'impression qui est laissée par la grande importance accordée dans le discours aux effets stériques dans la perception des odorants, au détriment parfois de la polarité et des interactions entre groupes fonctionnels. On peut aussi regretter le choix des modèles moléculaires et de leur impression en nuances de gris, ce qui accroît encore la simplification en rendant difficile l'appréciation même des différences structurales qu'ils sont sensés illustrer. La manipulation de certaines notions scientifiques ou techniques laisse également parfois un sentiment de confusion. C'est le cas par exemple de la définition des méthodes d'analyse de l'espace de tête (« headspace »), de l'utilisation du terme arôme pour désigner l'odeur ou de l'explication de la préparation d'huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau, où sont exprimées des propriétés en relation avec la distillation azéotropique.

On s'étonne finalement du choix du titre, « Petite géométrie des parfums », alors que le parfum n'occupe que quelques chapitres de l'ouvrage. Les termes d'« odorants » ou de « senteurs » auraient peut-être pu y trouver leur place.

Malgré ces petites critiques, ce livre reste un ouvrage de qualité, bien documenté et écrit dans un style très agréable, avec parfois même une dose d'humour, qui font de lui un point de départ très utile à qui s'intéresse à l'olfaction et à la chimie des arômes et parfums.

**Sylvain Antoniotti et Xavier Fernandez**

### **À signaler**



### **De la science aux fourneaux**

H. This  
25 €  
Belin, Pour la Science, 2007

28 août-1<sup>er</sup> septembre 2007



## 6<sup>th</sup> ICHC

*International conference  
on the history of chemistry*

Neighbours and territories: the evolving  
identity of chemistry

Leuven (Belgique)

(voir *L'Act. Chim.*, 308-309, p. 128)

- <http://www.6ICHC.be>

29-31 août 2007



## Euro Food Chem XIV

*Chemistry of food, molecular  
gastronomy and chemistry  
of food processing*

Paris

(voir *L'Act. Chim.*, 306, p. 64)

- <http://www.eurofoodchem14.info>

1-5 septembre 2007

## ISMR 9

*9<sup>th</sup> International symposium  
on the Maillard reaction*

Munich (Allemagne)

- <http://maillard.congress-services.com>

8-12 septembre 2007

## ISOC 2007

*International school of  
organometallic chemistry*

Camerino (Italie)

- <http://web.unicam.it/discichi/isoc/isoc2007>

9-13 septembre 2007

*An overview of receptor  
chemistry*

*16<sup>th</sup> Camerino-Noordwijkerhout  
symposium*

Camerino (Italie)

- <http://www.unicam.it/farmacia/symposium/index.html>

9-14 septembre 2007

## Diamond 2007

*18<sup>th</sup> European conference  
on diamond-like materials,  
carbon nanotubes and nitrides*

Berlin (Allemagne)

- <http://www.diamond-conference.elsevier.com>

9-14 septembre 2007

## EUROanalysis XIV

Anvers (Belgique)

- <http://www.euroanalysisxiv.ua.ac.be>

10-14 septembre 2007

## ECIS 2007

*21<sup>th</sup> Conference of the European  
Colloid and Interface Society*

Genève (Suisse)

- <http://ecis2007.unige.ch>

10-14 septembre 2007

*1<sup>st</sup> International Caucasian  
symposium*

*Polymer and advanced materials  
conference*

Tbilisi (Georgie)

- <http://www.tsu.ge/icsp>

16-20 septembre 2007

## CAFC-8

*Catalysis applied to fine chemistry*

Pallanza (Italie)

- <http://www.sci-gic.it>

16-21 septembre 2007

## JEPO 35

*35<sup>e</sup> Journées d'études des polymères*

La Colle-sur-Loup

- <http://jepo35.cemef.enscm.fr>

16-21 septembre 2007

## 5<sup>th</sup> ECMNP

*European conference  
on marine natural products*

Naples (Italie)

- <http://www.ecmnp.org>

16-21 septembre 2007

*4<sup>th</sup> International summer  
school and European school  
on solid state NMR*

Dubrovnik (Croatie)

- <http://www.agnmr.at/ssss2007>

17-19 septembre 2007

*1<sup>st</sup> International carbon  
conference*

Arcachon

- <http://www.avantage-aquitaine.com>

17-19 septembre 2007

## JCO 2007

*Journées de chimie organique*

Palaiseau

(voir *L'Act. Chim.*, 307, p. 62)

- <http://www.colloquium.fr/jco>

17-20 septembre 2007

## Pau 2007

*24<sup>e</sup> Journées françaises  
de spectrométrie de masse*

Pau

- <http://www.smap2007.univ-pau.fr>

17-21 septembre 2007

## Spectrocat

*École d'été sur les spectroscopies  
vibrationnelles appliquées à la catalyse*

Caen

- [http://www-lcs.ensicaen.fr/rubrique.php?id\\_rubrique=46&ids=46&lang=fr](http://www-lcs.ensicaen.fr/rubrique.php?id_rubrique=46&ids=46&lang=fr)

23-26 septembre 2007

## Baekeland 2007 symposium

*Thermosets, 100 years after bakelite*

Gand (Belgique)

- <http://www.baekeland2007.be>

23-28 septembre 2007

## Génie des réacteurs catalytiques

*École thématique CNRS*

Fréjus

- [http://www.cpe.fr/lgpc/EcoleThematique/ecole\\_thematique.html](http://www.cpe.fr/lgpc/EcoleThematique/ecole_thematique.html)

24-28 septembre 2007

## JADH 07

*14<sup>e</sup> Journées d'étude sur l'adhésion*

Biarritz

- <http://www.vide.org/jadh2007.html>

25 septembre 2007

## Cross coupling

*and organometallics*

*CRC International symposium*

Lyon

- <http://www.cpe.fr/crcsymposium>

25-27 septembre 2007

## Mesurexpo

*L'instrumentation pour la recherche,  
les essais et l'industrie*

Paris

- <http://www.mesurexpo.com>

26-28 septembre 2007

## EuroBio 2007

*11<sup>th</sup> European biotech crossroads*

Lille

- <http://www.eurobio-event.com>

9-11 octobre 2007

## SFGP 2007

*11<sup>e</sup> Congrès de la Société Française  
de Génie des Procédés*

Saint-Étienne

- <http://www.emse.fr/sfgp2007>

17-21 octobre 2007

## NMS-III

*3<sup>rd</sup> International symposium on novel  
materials and their synthesis*

Shanghai (Chine)

- <http://www.iupac.org/symposia>

Vous trouverez d'autres manifestations sur le site de la SFC : <http://www.sfc.fr>, rubrique **Manifestations**.

## Abonnement 2007

(11 numéros par an, numéros spéciaux inclus)

**Cochez la case qui correspond à l'abonnement auquel vous voulez souscrire :**

<b>France</b>	<input type="checkbox"/> 95 €	Particuliers	<b>Étranger</b>	<input type="checkbox"/> 100 €	Particuliers
	<input type="checkbox"/> 110 €	Lycées		<input type="checkbox"/> 130 €	Lycées
	<input type="checkbox"/> 195 €	Institutions		<input type="checkbox"/> 205 €	Institutions

## Complétez votre collection de numéros spéciaux

Les numéros spéciaux sont également disponibles en version électronique sur le site

- La photochimie pour mieux vivre (mai-juin 2007) : 32 €
- Fluor et produits fluorés à l'aube du XXI<sup>e</sup> siècle (oct.-nov. 2006) : 32 €
- Les matériaux carbonés (mars-avril 2006) : 32 €
- Chimie moléculaire et nanosciences (oct.-nov. 2005) : 30 €
- Sciences chimiques et déchets radioactifs (avril-mai 2005) : 30 €
- Le chimiste et le profane. Partager, dialoguer, communiquer, vulgariser, enseigner... (nov.-déc. 2004) : 30 €
- Chimie et environnement (août-sept. 2004) : 30 €
- La chimie dans les sciences médicales (nov.-déc. 2003) : 18 €
- Les isotopes stables (août-sept. 2003) : 18 €
- Quoi de neuf en chimie organique ? (avril-mai 2003) : 18 €
- La chimie des substances renouvelables (nov.-déc. 2002) : format papier épuisé
- La catalyse enzymatique (août-sept. 2002) : 15 €
- Quoi de neuf en catalyse ? (mai-juin 2002) : 15 €
- Les matériaux. Du fondamental aux applications (mars 2002) : 15 €
- L'hydrogène, carburant propre ? Fabrication, stockage, conversion en énergie (décembre 2001) : 15 €
- Magnétisme moléculaire. Un hommage à Olivier Kahn (juin 2001) : 15 €
- La femtochimie (février 2001) : 15 €
- Nourrir les hommes, hier et demain. Apport de la chimie (novembre 2000) : 15 €
- La chimie combinatoire (septembre 2000) : 15 €
- Chimie et vie quotidienne (novembre 1999) : 15 €



## Achat à l'unité (hors numéros spéciaux)

11 € pour les numéros avant 2003 ; 18 € de 2003 à 2005 ; 20 € à partir de 2006  
(à partir de 2005, ces numéros sont également disponibles en version électronique sur le site)

Les sommaires de tous les numéros peuvent être consultés sur notre site <http://www.lactualitechimique.org>

## Bon de commande

Nom ..... Prénom ..... Fonction .....

Adresse (pour les particuliers, préciser l'adresse personnelle).....

.....

Code Postal ..... Ville ..... Pays .....

Tél. .... Fax ..... Courriel .....

Montant total de la commande :

..... €

### Mode de règlement

- sur facturation (joindre obligatoirement le bon de commande)
- par chèque bancaire ou postal libellé à l'ordre de la SFC  souhaite recevoir une facture acquittée
- par virement bancaire ou postal

France Société Générale Paris Seine Amont, 03081/00037265820/87

CCP Paris 30041 Compte 070786U020/90

Étranger IBAN FR7630003030810003726582087 Swift.Sogefrpp

par carte bancaire (Visa, Eurocard Mastercard)  Validité

Cryptogramme visuel (les trois derniers chiffres du numéro imprimé au dos)

L'Actualité Chimique

SFC, service abonnements, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris. Tél. : 01 40 46 71 66 - Fax : 01 40 46 71 61.

Courriel : [adhesion@sfc.fr](mailto:adhesion@sfc.fr) - Serveur : <http://www.lactualitechimique.org>

## Premier bureau de la division Chimie industrielle

La toute nouvelle division a élu son premier bureau :

- Président : Olivier Homolle (président de BASF France)
- Vice-présidents : Jacques Bousquet, Marc Condat, Philippe Picat
- Trésorière : Linda Oukacine
- Secrétaire : Véronique Rataj

• [olivier.homolle@basf.com](mailto:olivier.homolle@basf.com)

## Prix des divisions 2007

### Chimie de coordination

#### • Narcis Avarvari



Le prix de la division, dans la catégorie des « moins de 40 ans » a été attribué à Narcis Avarvari, chargé de recherche au Laboratoire de chimie, ingénierie moléculaire et matériaux d'Angers (UMR 6200 CNRS).

D'origine roumaine, Narcis Avarvari a commencé ses études de chimie à l'Université « Alexandru Ioan Cusa » en Roumanie. À 18 ans, il obtient la Médaille d'argent aux Olympiades internationales de chimie à Halle, en Allemagne. En 1993, il entre à l'École polytechnique dans le cadre du Programme européen de l'école. Son travail de thèse, sous la direction de François Mathey et Pascal Le Floch, a été distingué en 1999 par le prix de thèse de l'École polytechnique, et a fait l'objet d'une publication dans *Science* sur les premiers ligands macrocycliques du phosphore  $sp^2$ . Il effectue ensuite un stage post-doctoral à Zurich à l'ETH avec Hansjoerg Grützmacher, et entre au CNRS en 1999 comme chargé de recherche dans l'équipe de Patrick Batail. Il obtient son habilitation à diriger des recherches en 2006.

Ses domaines d'investigation sont centrés sur la chimie de coordination et organométallique et orientés vers des applications dans le domaine des matériaux moléculaires. Une grande part de son activité concerne en particulier l'étude de complexes électro-actifs incorporant des tétrathiafulvalènes fonctionnalisés par des pyridines ou des phosphines. Ses succès les plus récents concernent les matériaux moléculaires chiraux à base de groupements TTF-oxazoline et les premiers conducteurs moléculaires chiraux à base de EDT-TTF-Me-Ox (*JACS*, **2005**, *127*, p. 5748). Sa très grande culture scientifique lui permet d'exploiter ses

découvertes dans de multiples directions. Ainsi, les dérivés TTF-phosphinooxazolines qu'il a synthétisés sont également étudiés en catalyse énantiosélective, comme catalyseurs modulables.

Âgé de 36 ans, auteur de 56 publications, Narcis Avarvari est d'une stature scientifique exceptionnelle, et son dynamisme se mesure également dans le nombre des programmes internationaux qu'il a initiés. On perçoit déjà qu'il sera une des figures marquantes de sa génération en chimie.

Il présentera une conférence invitée et recevra son prix lors des prochaines journées de la division qui auront lieu en janvier 2008 à Dijon.

## Groupes

### Formulation

19-22 novembre 2007

#### Formula V

#### 5<sup>th</sup> Conference on formulation technology

Postdam (Allemagne)

Organisée par la Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie eV (DECHEMA), la Royal Society of Chemistry (RSC), la Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh) et la SFC, cette manifestation internationale est le grand rassemblement des spécialistes de la formulation : chercheurs, industriels et décideurs. Des cosmétiques aux produits agrochimiques et pharmaceutiques, des peintures aux revêtements, des produits d'entretien aux matériaux, des bitumes aux encres, des biomolécules aux additifs, cette science pluridisciplinaire touche nombre de domaines... Conférences plénières au programme :

- *New surfactants structures and stabilization principles: one key of formulation*, par M. Antonietti (Max-Planck-Institute of Colloids and Interfaces, All.).
- *Formulation space in four dimensions*, par R. Buscall (MSACT Consulting, G.-B.).
- *Deformation of painting and cosmetics materials from Ancient Egypt*, par P. Walter (Centre de recherche et de restauration des musées de France).

- *Functions out of a tool box - Interaction of particles, polymers and interfaces in the formulation of coating properties*, par W. Bremser (University of Paderborn, All.).

- *Dendrimers: a world of applications*, par J.-P. Majoral (CNRS, Toulouse).

• <http://www.formulav.info>

### Histoire de la chimie

26-27 septembre 2007

#### Journées du club

Nancy

Les deux thèmes « Les chimistes de Nancy » et « Histoire de la chimie théorique au XX<sup>e</sup> siècle » seront illustrés par les conférences suivantes : *Les premiers chimistes lorrains, la chimie en Lorraine du XVII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle*, par P. Labrude ; *Jérôme Nicklès*, par G.M. de Vivar ; *Albin Haller*, par C. Viel ; *La création de la première chaire de chimie physique*, par J.-L. Rivail ; *L'ENSIC de Nancy et ses partenaires industriels : la fondation scientifique des industries chimiques (1930-1960)*, par L. Rollet ; *L'œuvre scientifique du Pr Henri Cordebard : l'emploi du mélange nitrochromique en chimie analytique et le dosage de l'éthanol sanguin*, par C. Boiteux et A. Lambert ; *Innovation dans l'enseignement de la chimie au XX<sup>e</sup> siècle : la réaction de Maillard comme exemple de résultat de cette innovation*, par J. Metzger ; *Nancy, Jean Barriol et la chaire de chimie théorique*, par M. Blondel-Mégrelis ; *Histoire des orbitales moléculaires*, par M.-D. Oger ; *Comment je suis entré en chimie théorique*, par E. Vincent ; *Émergence et développement des techniques de simulation*, par C. Millot ; *Pratiques de modélisation, liens entre le chimiste théoricien et l'ordinateur*, par A. Hocquet ; *Empirisme ou calcul*, par P. Laszlo ; *Les règles de Woodward-Hoffmann*, par N. Trong Anh ; *Mécanique moléculaire et stéréochimie (1956-1975)*, par J. Fournier ; *Le tableau périodique de Mendéléiev*, par A. Fischer.

• [Josette.FOURNIER3@wanadoo.fr](mailto:Josette.FOURNIER3@wanadoo.fr)



### Charles Mioskowski nous a quittés

Nous avons appris avec tristesse le décès de Charles Mioskowski le 2 juin 2007.

Directeur de recherche au CNRS, Charles Mioskowski était directeur du Laboratoire de synthèse organique de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg et chef du Service de marquage moléculaire et de chimie bioorganique au CEA/Saclay. Il avait reçu le prix Le Bel de la SFC en 2006\*. Hommage lui sera rendu dans le prochain numéro.

\*voir *L'Act. Chim.*, **2006**, 301-302, p. 157.

La SFC et la rédaction de L'Actualité Chimique s'associent à la peine de sa famille, de ses amis et collègues.

# le dossier



Esquisse pour une histoire de la Société chimique  
1857-2007

*Marika Blondel-Mégrelis*



Séance du 4 Juin 1857.

Présidence — de Mont Arnaudon.

La séance est ouverte à 8<sup>h</sup> 1/2.

- 1<sup>o</sup> M. Collinet lit un mémoire sur les Equivalents Chimiques.
- 2<sup>o</sup> M. Laureau lit la 1<sup>re</sup> partie d'un rapport historique sur la fabrication industrielle du carbonate de soude.
- 3<sup>o</sup> M. Ubal dini lit un rapport sur un travail publié en Italie par M. Amintore Sella, sur la forme cristalline de quelques sels de platine et celle du Diamant de Bore.
- 4<sup>o</sup> M. Arnaudon présente un rapport sur l'ozone.

La séance est levée à 10<sup>h</sup> 1/2.

E. Collinet

Arnaudon

N. B. M. M. Laureau, Ubal dini et Collinet, laissent leurs rapports ou mémoire au Secrétariat.

Figure 1 - Procès-verbal de la première séance connue de la société, qui n'a pas encore de nom.

En couverture, la médaille du Centenaire de la société où figurent six illustres présidents :  
Marcelin Berthelot, Jean-Batiste Dumas, Victor Grignard, Henri Moissan, Louis Pasteur et Paul Sabatier.

Les scans et les photos de cet article ont été réalisés et traités par Cécile Carret.

# Esquisse pour une histoire de la Société chimique

## 1857-2007

Marika Blondel-Mégrelis

Le premier procès-verbal que nous possédons, qui atteste d'une séance de la société, date du 4 juin 1857. Elle a duré une heure et demie et mentionne quatre noms.

La société fut sans doute pensée à l'exemple de la Chemical Society of London, fondée en 1841, reconnue sept ans plus tard par une charte royale, et dont le premier président, Thomas Graham, se proposait de tenir des réunions « *for the communication and discussion of discoveries and observations, an account of which shall be published by the Society in the form of Proceedings or Transactions.* » Très vite, la Chemical Society élargira son action, de l'avancement de la science au développement des applications de la chimie, à la fois dans l'industrie et dans la société.

Elle fut sans doute aussi conçue sur le souvenir de la Société d'Arcueil qui, bien que d'une durée de vie très courte, au début des années 1800, laissa un héritage fameux. Or les chimistes de cette société (Thenard, Gay-Lussac, Berthollet) mêlent en une même personne, le chimiste pur et celui qui applique.

Cette petite société est cependant remarquable, dès le départ, par un certains nombre de caractéristiques : ses membres sont **jeunes** et n'ont pas « une situation scientifique considérable », les premiers présidents n'étant même que des « *préparateurs distingués* », selon l'expression d'Armand Gautier. D'autre part, elle est très **internationale** : parmi les quatre membres du 4 juin 1857 (*figure 1*), deux sont étrangers, et le 18 août 1858, sept sur douze. Par la suite, elle accueillera Boutleroff, Cooper, puis Kekulé, Beilstein, Cannizzaro, Zinin, Williamson... qui, après leur départ de Paris, seront des « membres non résidents », au même titre qu'un habitant de Lyon, Mulhouse ou Sainte-Hermine. Remarquons néanmoins que la tradition de rencontres animées, la craie ou le tube à essai en main, avec des hôtes coutumiers ou de passage, existait. À peine quelques années plus tôt, on rencontrait ces mêmes chimistes passionnés dans le laboratoire de l'École de Médecine (Wurtz) ou à l'École de Chimie pratique (Gerhardt) qui, rappelons-le, enseignait « *l'art du laboratoire aux jeunes gens qui se destinent à la carrière des sciences, de la médecine, de la pharmacie ou de l'industrie.* » Cela fait donc partie de son essence même, exprimée dans les toutes premières déclarations de la société : « *elle a pour but de réunir en une association scientifique les chimistes tant de la France que de l'étranger.* »

Enfin, elle compte un nombre impressionnant de « **fabricants** les plus distingués », tel Arnaudon (de Turin), venu pour étudier, dans le laboratoire des Gobelins auprès de Chevreul, les procédés de teinture employés dans les manufactures impériales, et de jeunes chercheurs qui, tel Aimé Girard, se dirigeront vers la chimie industrielle (raffinage des sucres, industrie des marais salants, fabrication de l'acide

sulfurique et du coton-poudre). Cela le plus naturellement du monde. Il faut attendre le cinquantenaire pour qu'Armand Gautier éprouve le besoin de souligner que « *notre Société tient à l'honneur de mettre de temps en temps à sa tête* » des Balard, Lauth, Scheurer-Kestner et Lindet. Avec le recul, ce serait donc un exploit ? Pour l'heure, cela semble chose ordinaire, et l'on soutient « *d'intéressantes discussions sur les théories nouvelles de la chimie* » tout autant que l'on expose la fabrication de l'acide picrique à Lyon ou les nouveaux moyens employés pour certaines préparations pharmaceutiques dans l'usine de Bonafous et Cie à Marseille.

Enfin, dès le départ, elle met tous ses efforts à attirer nombre de nouveaux membres car elle sait que l'association peut acquérir de l'importance « *si le nombre des adhérents devient assez considérable pour lui garantir une indépendance absolue.* » Effectivement, le « prosélytisme des membres » est tel que l'on compte déjà 64 membres le 1<sup>er</sup> octobre 1858 (dont 16 membres correspondants), alors que ne figure pas encore parmi les membres une « sommité de la science », et 234 en janvier 1862 (dont 94 membres non résidents).

### Quel est le but d'une telle association ?

« *Simple moyen d'instruction dans l'origine* », lit-on. Pourquoi cette connotation dépréciative pour décrire, *a posteriori*, une assemblée où l'on lit son mémoire, où l'on présente quelques faits, où l'on fait un rapport ou un résumé de diverses publications en France et à l'étranger [1] ?

Le premier âge de la société s'achèvera avec cette fameuse séance du 28 décembre 1858, appelée « 18 Brumaire chimique » par Quesneville. Depuis l'été, le nombre de membres croît d'une façon pléthorique. Arrivent beaucoup de chimistes, déjà au sommet de leur carrière : Wurtz, professeur de chimie organique à la Faculté de médecine, est arrivé en juin, ainsi que Berthelot ; arrivent en décembre des gens comme Pasteur, Sainte-Claire Deville, Cahours, eux aussi déjà avancés dans la carrière. Enfin, Dumas sera en même temps reçu membre et sacré président lors de cette séance.

Les premiers statuts que nous possédons datent de juin 1858. Une version antérieure a dû exister puisque la séance du 30 juin 1857 est « *entièrement consacrée à la rédaction des nouveaux statuts.* » Le premier article (il y en a huit), qui définit le but et l'esprit de la société, sera remis en cause par la suite. Mais on voit bien dès le départ que ce but pose problème et crée une dissension dans la toute nouvelle association. Le 13 janvier 1858, Rosing « *exprime des considérations générales sur le but de la Société.* » Arnaudon « *lui répond.* » On aimerait en savoir un peu plus. Le 10 mars, Rosing [2] « *juge à propos de soulever un discussion sur le but définitif que la*

*Société se propose et sur l'extension qu'elle doit prendre.* » Collinet exprime pour la première fois une réticence à l'idée de recevoir « certains candidats qui, par leur position dans le monde scientifique, jouissent d'une certaine réputation » et donc que la société aurait « un rang moins modeste que celui qu'elle occupe. » Le 29 décembre, Arnaudon pourra bien faire remarquer que « la Société n'avait nullement l'intention, au moment de sa fondation, de préparer ses membres aux examens de licence », Girard fera voter, à 36 voix contre 16, que « la Société chimique de Paris déclare qu'elle désire modifier l'esprit dont elle est animée depuis sa fondation en agrandissant le cercle de son activité scientifique. »

Ce n'est donc pas l'objet de la société qui est en question, mais son « esprit » ; le mot est lâché. C'est bien ce qui apparaît, à travers les lignes raturées du procès-verbal, pour lesquelles il faudrait se reporter à « la feuille ci-jointe », disparue. Il faut une société plus représentative, plus attractive. Un peu de prestige que diable ! Dumas le donnera, qui « bâillait dans son fauteuil de sénateur. »

« La Société chimique a pour but de tenir ses membres au courant des progrès qui ont lieu dans toutes les branches de la chimie. À cet effet, les membres de la Société se réunissent une fois tous les huit jours ; dans chaque séance ils se communiquent des mémoires, des extraits, des rapports sur les travaux qui se publient... », tel est le premier article des statuts datés du 10 février 1858, qui en comportent dix dans le *Bulletin* (douze sur le compte rendu manuscrit).

La Société chimique de Paris a été reconnue d'utilité publique, et ses statuts approuvés par le ministre de l'Instruction publique, Victor Duruy, le 30 novembre 1864. Ils comportent alors 18 articles, le premier ne définissant pas, tout compte fait, un objectif si différent de ce « moyen d'instruction », qui n'est pas si simple, de la première jeunesse. Il l'explicite, dans le souci évident de devenir sérieux et d'acquiescer de la respectabilité, « l'avancement et la propagation des études de chimie » posant mieux une « société savante » ; il montre déjà les réalisations acquises : publication, prix.

Si l'on saute par-dessus les innombrables changements de statuts, ainsi que les refus que vivra la société pour ne retenu que la dernière mouture des Statuts 2006, la vocation de la société reste essentiellement la même. Par delà les précisions et les raffinements d'énonciation, on retiendra néanmoins le point 4 de l'article 2 : créée pour être un lieu de communication et de débat, un lieu où l'on peut s'informer de la science qui se fait, elle ne peut, aujourd'hui, qu'affirmer explicitement qu'elle doit aussi jouer un rôle de « représentation auprès des pouvoirs publics », mais aussi auprès du public. L'image de la chimie devient une préoccupation forte de la communauté, non pas dans un souci de disculpation, qui fausserait tout d'emblée, mais dans un souci d'information juste : « c'est l'ignorance qui fait peur, et non la connaissance » [3].

Mais on ne peut pas parler de la société sans insister sur son caractère associatif, les relations amicales dont elle est issue, qu'elle crée et qu'elle doit propager, le désir de progrès scientifique essentiel certes, mais réalisé dans le cadre de relations personnelles, amicales, et dans une certaine mesure hors du cadre des intérêts ordinaires. À l'exemple de la qualité et de la richesse des relations qui unissaient Fourneau et Tiffeneau, mais aussi Poulenc, Valeur, Blaise, Delépine et d'autres, tout ce monde qui avait plaisir à se rencontrer, déjà dans le cadre du groupement *Molécule* (1903), pour parler

« des avantages des concours réciproques que pouvaient se donner l'industrie et les laboratoires scientifiques », ailleurs pour prendre un repas, faire de la musique ou discuter peinture [4]. Mode de relation humaine si précieuse et si féconde, que Jolibois saluera lorsqu'il prendra la présidence en janvier 1934, après la brève présidence en intérim de Darmois (à qui il est lié d'une « vieille amitié née sur les champs de bataille de Lorraine »), à la mort subite de Matignon : « Mais c'est surtout dans nos séances du vendredi que la Société manifeste sa vraie vie humaine. C'est là que nous nous connaissons, que se développe cette affectueuse camaraderie corporative, dont les effets utiles sont incontestables. »

Il en profite alors pour lancer un appel en direction des jeunes, appel qui sera presque en permanence à l'ordre du jour depuis que, dans l'année qui suivit sa création, cette association de jeunes chimistes se mit brusquement à vieillir. Il n'est pourtant pas nécessaire, aujourd'hui où l'accueil le plus chaleureux et les conditions les plus avantageuses sont réservés aux jeunes chercheurs, de rappeler cette véhémence injonction de Quesneville au tout nouveau « titulaire et président tout à la fois », Jean-Baptiste Dumas : « votre place est à l'Institut à côté de M. Chevreul, pour représenter le passé. Laissez l'avenir aux jeunes gens, laissez-leur surtout, dans l'intérêt de la science, manifester leurs idées en pleine liberté. » Depuis, la société n'a cessé de réitérer cet appel de Dumas, justement, dont la grande intelligence ne paraissait nullement faiblir avec les années ou avec l'absence de travaux personnels : « Que les jeunes n'hésitent pas à venir à nous, appelait Dumas. Ils recevront le meilleur accueil... Nous sommes prêts à encourager leurs travaux et à leur donner la place qui revient à ceux qui cultivent avec amour notre science. » Le vieux rêve se réaliserait-il enfin, avec l'europanisation ? Au congrès de Budapest (août 2006), qui réunissait l'ensemble des sociétés chimiques européennes, 40 % des participants étaient des « jeunes ». Cette forte mobilisation de « jeunes prêts à assurer la relève » fut déclarée « très réjouissante ». Pour SFC07, toutes les conditions attractives sont faites pour que les jeunes sociétaires viennent nombreux et effectuent des « présentations éclair ». Et des vœux les accompagnent pour qu'ils « prennent le relais ».

Une vieille dame de 150 printemps qui vit cette année de nouvelles aventures : on pourrait bien, désormais, l'appeler à nouveau *Société chimique de France*.

## Société chimique de France ?

En 1884, Willm, président, propose de changer le nom : de *Société chimique de Paris*, elle prendrait celui, « beaucoup plus général » de *Société chimique de France*. La plupart des membres présents au Conseil approuvent, mais le Conseil d'État ne suivra pas. Il refusera également la modification des statuts qui proposaient, pour l'objet de la société discuté autrefois, « l'avancement et la propagation des études de chimie générale et appliquée. Elle y concourt par ses travaux, par la publication des mémoires de ses membres, par des leçons publiques, par des prix et des encouragements. » Il faudra attendre plus de vingt ans.

C'est que la vie chimique était encore très concentrée à Paris au XIX<sup>e</sup> siècle : lorsque les chimistes qui sillonnaient l'Europe se rendaient en Angleterre, ils visitaient Manchester, Londres ou Glasgow ; lorsqu'ils visitaient l'Allemagne, ils se rendaient à Giessen, Munich, Göttingen ou Berlin ; mais lorsqu'on allait en France, c'était à Paris ! Il était de renommée publique que rien ne se faisait d'intéressant en dehors de la capitale, en particulier parce que faute d'un laboratoire ou

avec un local vide, il était difficile d'avancer. Au milieu du siècle, lorsque Jean-Baptiste Dumas, qui se posait pourtant en vibrant défenseur des jeunes talents, leur trouvait trop de mérite, il leur proposait un poste à Bordeaux, à Montpellier, à Caen, voire une création à Alger ! C'était signer leur mort scientifique. La première reconnaissance du fait que l'on peut inventer et innover en dehors de Paris se fait à l'initiative de Haller : une section nancéienne est créée en 1895. Suivront en 1898 une section lyonnaise, puis en 1902 une section toulousaine et lilloise. Enfin, l'ouverture en 1905 de la section de Marseille-Montpellier oblige au changement de dénomination.

Ce développement explosif ne va pas sans quelque confusion, et en 1910, le Conseil se voit amené à procéder à un peu d'ordre : il est demandé aux sections de province la liste nominative de leurs membres. Il apparaît alors que seules les sections de Marseille et de Nancy sont dans une situation régulière. De nombreux membres locaux ne font pas partie de la société. À Lyon par exemple, vingt-neuf membres, dont un vice-président et le secrétaire, ne sont pas en règle avec leur cotisation !

Un essai d'internationalisation : en été 1910, Haller avait soumis au Conseil l'idée de la création d'une *Association internationale des Sociétés chimiques*, et d'une entente pour la simplification des extractions de mémoires originaux. En quittant la présidence en janvier 1911, il informe le Conseil que la lettre circulaire qu'il a envoyée aux présidents des sociétés chimiques étrangères a suscité les premières réponses. La société de Londres, puis celle de Berlin approuvent le principe de la création ; les sociétés suisse et américaine se joignent rapidement.

La première réunion, avec banquet, est fixée au 25 avril 1911 : la France, l'Allemagne, l'Angleterre, les États-Unis, la Russie et l'Italie seront représentés. Les délégués désignés par le Conseil sont Béhal, Haller et Hanriot. Le but de l'Association sera l'unification de la nomenclature chimique (Moureu et Grignard, entre autres, feront partie de la Commission de Nomenclature), l'organisation du Congrès de chimie pure, la simplification de mémoires étrangers.

Cette Association sera « liquidée », sur proposition de Haller, après le dernier congrès à Londres de l'été 1919.

C'est en 1906, à la veille des cérémonies du cinquante-anniversaire, que la Société chimique de Paris prend la nouvelle dénomination de Société chimique de France : premier exemple d'ouverture à la province de la vie scientifique française. En effet, la société fait œuvre novatrice en la matière, marchant du même pas que ces deux fervents adeptes du régionalisme : Sabatier – pour qui l'Académie des sciences créera, en 1913, une section réservée aux académiciens non résidents [5] – et Grignard, qui iront jusqu'à refuser le poste qui leur sera offert à Paris.

Société chimique de France, elle le restera tout le siècle, jusqu'à la fusion avec la Société de Chimie Physique (fondée en 1908), à laquelle J.-C. Balaceanu œuvra fortement. En 1983, la nouvelle association prendra le nom de *Société Française de Chimie*, et le gardera jusqu'à ce jour. En 2006, il a été proposé de reprendre le nom de Société chimique de France, pour bien la démarquer et insister sur son caractère national.

La société fêta son cinquante-anniversaire les 16, 17 et 18 mai 1907, menée par son président Louis Bouveault. Journées studieuses et de fêtes prestigieuses, pendant lesquelles le

vice-président de la Society of Chemical Industry refusera l'opposition entre science chimique pure et science chimique appliquée : « *Nous réclamons avec orgueil la même origine, nous nous inspirons des mêmes idéals qui sont la gloire de nos confrères de la Chemical Society* » ; où la Société Polytechnique de Christiania (Norvège) rappellera que son fondateur, Anton Rosing, fut aussi l'un des fondateurs de la Société chimique de Paris ; où Armand Gautier développera les doctrines et les découvertes des plus illustres membres de l'association.

Elle fêta son deuxième cinquantenaire « *avec éclat, en juillet 1957, honorée de la présence de R. Coty, Président de la République ; avec réception au château de Chantilly et dîner de gala au château de Versailles, clos par un spectacle son et lumière dans les jardins.* » Parmi les nombreux exposés généraux prononcés (six, nécessités par le gigantesque développement de la chimie, son « *éclatement en disciplines devenues indépendantes* »), le très bel exposé de R. Paul sur « *l'Industrie chimique* » dit combien la Société « *a tenu à compter parmi ses membres tous ceux qui font œuvre de chimistes dans notre pays, que ce soit au sein de l'Université ou bien dans l'Industrie.* » « Suite scientifique logique » du Centenaire, le XVI<sup>e</sup> Congrès international de chimie pure et appliquée réunissait, du 18 au 24 juillet, quarante-sept nations, trois mille chimistes, et fonctionnait selon trois divisions : chimie physique, chimie minérale et chimie organique. On peut remarquer que la conférence générale d'ouverture fut prononcée par le professeur Natta (de l'Institut de Chimie Industrielle au Polytechnico de Milan) dans un « *français remarquable* », et que les conférences générales purent être suivies dans les trois langues (français, anglais et allemand) grâce à « *un procédé ingénieux de traduction simultanée en anglais et en allemand.* »

L'histoire de la société serait matière à un ouvrage considérable. Nous traverserons ici cette histoire selon trois directions : la vie (et la mort) du *Bulletin de la Société chimique*, les relations entre la chimie pure et ses applications, enfin la société, serviteur de l'État. En abandonnant toute prétention à l'exhaustivité.

## La Société et son journal

Dès les tout débuts de l'existence de la Société chimique, en mai 1858, Rosing, président, soumet un projet de *Revue chimique*, qui « *ne contiendrait que la traduction des travaux étrangers.* » On sait que depuis des dizaines d'années, la France souffrait « *de ne pas connaître ce qui se fait en pays étranger* » [6]. La société lui donne plein pouvoir, à deux conditions : elle n'entrera pour rien dans les frais de publication et le journal concernant la chimie pure portera dans son titre : « *fondé par la Société chimique* ». Curieusement, on est le jour même où Wurtz est admis comme membre. On sait que le *Répertoire de Chimie pure*, dirigé par Wurtz, et le *Répertoire de Chimie appliquée*, dirigé par Barreswil [6], paraissent dès octobre 1858. Mais Barreswil seul se réclame d'une entente avec la Société chimique et marie le projet de Rosing au sien : il s'engage à publier le compte rendu des travaux de la société, qui de son côté lui assure son concours. Ainsi est affiché clairement « *tout le cas que nous faisons de cette fondation récente.* » Quesneville en dira que c'est « *un journal fouilli* » et incitera la société à fonder des « *Mémoires de la Société chimique, un recueil formé seulement des ses travaux, où elle laisserait puiser généreusement* » [8].

En même temps paraît, à partir de décembre 1858, le *Bulletin de la Société chimique*, qui contient les extraits

Séance du 11 février 1897

Hanriot, Moissan, Riban, Cloëz, Petit, Engel, Béhal, and other members' signatures.

Figure 2 - Feuille de signature des membres du Conseil présents à la séance du 11 février 1897.

des procès-verbaux des séances. Il notait le détail des discussions, particulièrement de celles sur la théorie, qui semblent avoir été chaudes aux premiers mois de la société. Seuls les procès-verbaux manuscrits existent pour la période décisive de 1857-58, signés du secrétaire et du président. Ils renvoient très souvent au compte rendu, « pour les détails » des discussions, dans un cahier « conservé au secrétariat ». En décembre 1857, le secrétaire, Collinet, avait proposé de faire imprimer ces comptes rendus « afin de les envoyer aux membres correspondants ». Cette proposition avait été vivement repoussée par Chichkoff et Rosing, et ce cahier demeure introuvable.

La question de la diffusion des débats concernant le fonctionnement de la société sera souvent abordée. En 1896, à l'occasion de la crise de la bibliothèque, on décide de reprendre la publication dans le *Bulletin* des comptes rendus des séances, qui sont réduits à un minimum : les procès-verbaux déposés aux archives seraient ainsi sauvegardés. Ceci sous réserve, bien entendu, de feuilles supplémentaires et donc de finances. Quelques mois plus tard, en février 1897, sous la présidence de Tanret, réapparait la question brûlante de la publication des procès-verbaux du Conseil (figure 2), dont les originaux sont également conservés aux archives. À l'issue d'une discussion entre Moissan, Grimaux, Le Chatelier, Gautier, Riban et Cloëz, il est décidé qu'ils ne seront pas publiés, mais que le président pourra informer la société des résolutions que le conseil aura prises. Les pièces seront envoyées aux archives et ne pourront « être distraites sous aucun prétexte. »

En 1863, le *Bulletin de la Société chimique* et le *Répertoire de Chimie pure* fusionnent en *Bulletin de la Société chimique*, « une seule publication confiée aux soins d'un comité de rédaction dont les secrétaires de la société font partie. » Et en 1864, le *Bulletin de la Société chimique de Paris* comprend

le compte rendu des travaux de la société et l'analyse des mémoires de chimie pure et appliquée publiés en France et à l'étranger [9].

C'est par la lecture des procès-verbaux, très incomplets, que nous apprenons le plus sur la vie de la société et du *Bulletin*, le secrétaire de la société étant le secrétaire de la rédaction de ce dernier. À la suite de conflits sérieux, le président sera sollicité pour prendre davantage de responsabilités, en particulier au sein de la Commission d'impression, qui se réunit de façon irrégulière et qu'il présidera. Nous n'avons que de très rares comptes rendus de ces séances.

Auguste Béhal a marqué la rédaction du *Bulletin* : en 1893, quoique « n'ayant jamais appartenu à la rédaction », il est candidat à la succession de Hanriot « qui a rendu de grands services à la société », en même temps que Bigot, les deux candidats « possédant bien l'allemand ». Béhal est placé en première ligne par 10 voix contre 9 à Bigot (qui sera vice-secrétaire) et un bulletin blanc, parce qu'il a « le travail facile » et à cause du « lustre de son nom ». Il sera élu secrétaire général par 76 voix contre 10 à Bigot et un bulletin nul. Il est réélu pour deux ans en 1895, Hanriot étant disparu dès 1894 ; il l'est encore en 1899-1900 et jusqu'en 1908, date à laquelle il donne sa démission. Membre de la commission des comptes, secrétaire de la rédaction du *Bulletin* à partir de 1893, il est également à la Commission d'impression depuis 1897, d'abord à côté de Hanriot, puis seul.

Béhal fait publier aux *Bulletins* les extraits de tous les journaux chimiques étrangers, obtenant pour ce faire des feuilles supplémentaires, matière à discussion récurrente, car qui dit feuilles supplémentaires dit aussi augmentation des frais. Il demande également des fonds pour publier des brevets « qui pourront rendre de grands services ». La question des brevets revient souvent. Grimaux, entre autres, en est fervent partisan, car « il connaît au moins cent cinquante corps dont les propriétés et les constantes physiques n'ont été décrites que dans les brevets. » Une revue des brevets paraît dans le *Bulletin* à la fin de la section Chimie appliquée, brevets anglais et français. À partir de 1873, la *Revue des Brevets* figure même dans le titre du *Bulletin*, après la section de Chimie appliquée (presque exclusivement des brevets français). À ce moment-là, on soumet cette publication à une exigence financière préalable très prudente.

En 1897, une crise éclate au sein du Conseil. D'une part, Grimaux se livre à de violentes critiques concernant la marche du Comité de rédaction et le nombre de pages supplémentaires, critiques à travers lesquelles on décèle une vive opposition entre lui et Béhal, qui y joue sans doute un rôle trop important à ses yeux. Les relations sont également très tendues avec Tanret, le président de l'époque, qui mène une sorte d'enquête sur la question des émoluments du secrétaire général, dont il demande la suppression du titre afin que l'on en termine avec les abus [10]. Cette année-là, « l'état du *Bulletin* est tellement pitoyable » selon Wyboukoff, qu'on ne peut songer à publier les brevets.

Parmi les chimistes qui ont beaucoup fait pour le *Bulletin*, il faut citer Charles Moureu (1863-1929) : outre qu'il reprit la tradition des conférences faites à la société, à l'image des célèbres leçons données dans les années 1860 (Pasteur, Wurtz, Dumas ...), il organisa des conférences qui donneront une vue d'ensemble sur les progrès de la chimie, auront une résonance internationale et seront, bien sûr, publiées dans le *Bulletin*. Mais aussi, ayant convaincu Maurice Barrès de l'importance de la chimie, voyant les sociétés comme des foyers où s'élabore la science, parce que c'est le lieu où l'on

y discute – telle était bien la première raison du rassemblement des jeunes fondateurs de la société –, il fit accorder une subvention importante aux bulletins des sociétés scientifiques. Car c'est grâce à la publication des travaux de ses membres, mais aussi grâce aux résumés des autres travaux effectués aussi bien en France qu'à l'étranger, que la pensée scientifique se répand dans les laboratoires [11].

La vie du *Bulletin* est toute entière dominée par la question financière, rythmée par les demandes et les aides. Les dons ne sont pas rares : à sa mort, Haller fera un don (90 000 francs) pour permettre à la société « de développer dans son *Bulletin* la partie relative aux conférences » (séance du 23 nov. 1925). Mais c'est auprès des industriels que des secours seront demandés, souvent généreusement accordés.

En 1917, une fois de plus, le *Bulletin* est dans un « état déplorable ». Faut-il augmenter les cotisations (qu'il faudrait pour le moins doubler), suspendre la publication des extraits pour en faire une publication à part (cette proposition sera vigoureusement combattue), obtenir des souscriptions industrielles ? Poulenc cherche des fonds « dans le but de lui donner une plus grande importance », démarche retardée par la création de la Société de Chimie Industrielle d'une part, et par les souscriptions ouvertes par le Syndicat des produits chimiques d'autre part.

À la fin de 1919, la Commission d'impression décide de reprendre la publication bimensuelle du *Bulletin* et d'y insérer les conférences. Dans le début des années 20, l'avenir est envisageable. Le *Bulletin* est remarquable par ses nombreuses conférences et la richesse de sa documentation analytique, et Kling propose de faire appel aux jeunes gens qui traiteront de sujets d'actualité se rapportant ou non à leurs travaux. Et il insiste : à la société comme au journal, il faut faire une large place aux jeunes.

### La question de la documentation

Ce fut une question récurrente pour le *Bulletin*, qui se pose avec une grande acuité aux époques où le journal traverse des difficultés financières. En effet, les recettes étant consacrées prioritairement à la publication des mémoires ; la documentation paraissait à proportion de ce qui restait.

Haller (1849-1925) se prononce non seulement pour la continuation mais encore pour l'extension des extraits. Il envisage d'agir auprès de M. Solvay pour que les sommes provenant de la liquidation de l'Association internationale des sociétés chimiques soient affectées à la publication d'un organe français d'extraits. Le Conseil décide de garder le *Bulletin* sous sa forme actuelle et de ne pas séparer mémoires et extraits en deux parties indépendantes.

À la fin de l'année 1932, afin d'éviter un déficit trop considérable, le Bureau demande au Conseil de fixer le nombre de pages concédées à la documentation pour les numéros du *Bulletin* restant à paraître. Poulenc, toujours assidu au Conseil, qui avait saisi la gravité et l'urgence de la documentation chimique, l'intérêt de sa diffusion « dans les pays de langue latine », voit une solution du côté de la publicité. Après avoir fait une enquête sur ce qui se passait pour la documentation à l'étranger, il « prit son bâton de pèlerin », argumenta auprès des représentants de la grande industrie et amena nombre d'annonceurs qui prirent un engagement triennal, tacitement renouvelé. L'exemple donné par l'industrie incita les organismes officiels à augmenter leurs subventions et, à la veille de la Seconde Guerre mondiale, le *Bulletin*

*Documentation* pouvait contenir l'analyse des grands périodiques étrangers en chimie pure.

On ne saurait trop énumérer les actions menées par Camille Poulenc pour améliorer la situation financière du journal. En 1932, en plus de la subvention extraordinaire du gouvernement (20 000 francs), il obtient une subvention de l'Exposition coloniale : on ne prévoit donc pas de déficit.

L'année suivante, un accord est signé entre le *Journal de Physique* et la société pour la publication en commun d'un fascicule de documentation de chimie physique. Les extraits des mémoires de chimie physique sont en effet imprimés en double pour la plupart. Cette solution doit permettre de réaliser une économie substantielle, mais aussi d'améliorer l'offre bibliographique. En outre, l'adoption d'un format plus pratique, par le fascicule de chimie physique, permet à Poulenc d'entreprendre une série de démarches auprès des industriels pour les inciter à faire de la publicité dans le *Bulletin* : le syndicat de la grande industrie chimique d'abord, puis les autres (il y en a 31), dont celui de l'industrie des produits chimiques pharmaceutiques. Bien entendu, le Conseil applaudit. Ainsi que l'avait prédit Poulenc, le salut est venu du côté de l'industrie qui, en 1934 comme en 1935, apporte une subvention de même importance, alors que celle en provenance de la Fédération Nationale des Associations de chimie ne cessait de diminuer.

L'exercice 1934 se solde par un rigoureux équilibre des dépenses et des recettes : « *Qu'il nous soit permis d'en rendre grâce à notre vénéré Président d'honneur, M. Camille Poulenc* » ; et celui de 1935 par un excédent sensible des recettes sur les dépenses.

En 1936, la situation financière (présente et future) du *Bulletin*, pratiquement confondue avec celle de la société qui en assure l'édition et dont 9/10 des dépenses sont consacrés au périodique, est analysée dans le *Rapport* très clair et équilibré adressé à Mme Joliot-Curie dont nous parlons ailleurs. Un effort considérable a été fait pour « l'amener au niveau des publications étrangères ». Le nombre de mémoires est passé de 148 à 238 entre 1929 et 1936, celui des extraits de 5 200 à 8 800. Les subventions de l'État ayant plutôt diminué ces dernières années, c'est « le généreux appui de l'industrie » accordé depuis 1933 grâce à la campagne de Poulenc qui a permis, en particulier, la publication des extraits. Il est démontré que le *Bulletin* ne peut ni augmenter d'importance, ni même conserver son importance actuelle sans des ressources supplémentaires.

Étant donné que le nombre d'extraits devrait être porté à 12 000 pour que la bibliographie soit comparable à celle réalisée en chimie pure chez les Allemands et les Américains, que les mémoires se développent du fait de la recrudescence de l'activité des laboratoires, que les tarifs de l'imprimeur augmentent, une subvention supplémentaire de 300 000 francs serait nécessaire pour le maintien du *Bulletin* à son niveau actuel, et un crédit annuel supplémentaire d'un million de francs pour l'amener au rang des publications telles que *Chemical Abstracts* ou *Chemische Zentralblatt*. L'*Addendum* qui termine ce rapport est remarquable : c'est un appel pour qu'une subvention annuelle supplémentaire de 100 000 francs soit accordée aux *Annales de Chimie*, réduite à ne plus publier que le tiers des thèses de chimie, dont telle est pourtant la vocation essentielle.

Dans les années difficiles 1934-37, l'équilibre du budget n'est réalisé que grâce à un relèvement des cotisations et à un « généreux effort de l'industrie ». Un autre vice-président

puis président, Pierre Jolibois, qui entretient d'amicales relations avec plusieurs présidents et directeurs généraux, agit comme « un trait d'union particulièrement apprécié entre la chimie pure et la chimie appliquée. » Son action n'est d'ailleurs pas limitée à la recherche de subventions. À la veille de la guerre, « le Bulletin Documentation comporte la totalité des analyses des périodiques étrangers essentiels en chimie pure » (Delaby).

Le rapport sur l'activité du *Bulletin* durant l'année 1944 indiquera que, quoique privé d'attribution de papier, et quoique l'impression fût ralentie faute d'électricité et de chauffage, la gageure a été tenue durant l'occupation de « continuer à tenir les collègues au courant des recherches effectuées dans notre pays et, dans la limite du possible à l'étranger, sans recourir obligatoirement aux publications allemandes. »

L'année 1945 « a été certainement la plus pénible pour le maintien de l'activité » du *Bulletin*, en raison des difficultés d'impression, de la pénurie de papier et de l'absence de documentation. Trois ans plus tard, « le passé est liquidé » et le *Bulletin*, « nouveau modèle est florissant ».

Pour l'exercice 1949, l'amélioration financière est apportée par d'importantes subventions accordées par le Centre National de la Recherche Scientifique. 2 800 000 francs permettent que les travaux des membres soient convenablement développés, et 75 000 francs que les grandes questions développées lors des colloques internationaux figurent dans des mises au point. Cependant que les revenus de la publicité des grandes sociétés industrielles diminuent, du fait qu'elles ont leurs services de publicité qu'il est difficile d'intéresser à la Société chimique de France.

Pourtant, le *Bulletin* est dit « florissant » en 1950. Le tirage est passé de 3 000 à 3 700 ; les mises au point, qui ont remplacé la documentation, sont bien accueillies et les mémoires arrivent nombreux et réguliers.

En 1967, l'équilibre financier de la société est encore une fois en grave danger, et toujours en raison des frais d'impression « de plus en plus importants ». Le nombre des mémoires imprimés est de l'ordre de 700 et devrait s'accroître. Parmi les solutions envisagées et après discussions vives auxquelles interviennent tous les administrateurs, l'unanimité se fait pour qu'un « ticket modérateur » soit demandé, participation très modérée des auteurs aux frais d'impression.

Parmi les mérites dont le *Bulletin* peut se prévaloir, l'un des plus louables est de permettre d'évaluer l'importance, la portée et les futures retombées industrielles de travaux et de découvertes réalisés dans le domaine de la chimie universitaire, ou plus généralement de la recherche. En 1957, sollicité pour dresser un bilan, R. Paul insiste sur « l'importance du Bulletin pour l'industrie chimique » qui aura donc reçu en échange. Mettant en relation dans un même lieu la recherche et l'application, il donne « une somme d'informations du plus haut intérêt », induit « des suggestions pour la conduite des travaux et pour les nouveaux sujets de recherche. » Mais il est aussi un instrument d'appréciation et de mise en perspective. On ne peut peut-être pas mésestimer « la portée des découvertes aussi fécondes que celles de Grignard ou de Sabatier et Senderens. Mais qui, au début du siècle, pouvait prévoir que le nitrile acrylique de Charles Moureu conduirait à nos textiles en orlon ou en crylor ? » demande Paul.

En avril 1973, paraît pour la première fois *L'Actualité Chimique*, publiée par la société, dont l'administration et

la rédaction sont domiciliées rue Saint-Jacques, et qui « remplace le bulletin bi-mensuel de la SCF. » Dix numéros par an sont prévus. Sa création résulte d'une décision du Conseil d'administration qui désire prouver sa vitalité en s'adaptant aux progrès de la chimie. Son premier souci, exprimé par André Michel, président de la SCF, est de diffuser rapidement les nouvelles connaissances et de publier des mises au point écrites par des spécialistes pour les non-spécialistes. On commence donc à vouloir sortir de son cercle et à parler de chimie à un public élargi. Y aurait-il un constat de carence du *Bulletin* ? On est obligé de remarquer que certains auteurs ont pris le virage, et désertent à partir de 1973 [12]. Dans le numéro 5, un article d'André Kaspi, alors maître-assistant à la Sorbonne, examine rapidement l'attitude réservée des Américains, ces spécialistes de l'invention pratique, vis-à-vis de la science ; il pose la question du danger que le développement industriel fait courir à l'homme et à la nature, que seul l'esprit scientifique serait capable de maîtriser. Est également donné le rapport du président J. Bénard sur l'état de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée, à l'occasion de sa 24<sup>e</sup> conférence. En 2004, dans un beau numéro spécial consacré à « Chimie et Environnement », sera publiée la *Lettre ouverte aux présidents du Parlement européen et de la Commission européenne*, ainsi que le *Discours pour la recherche française* du ministre de l'Enseignement et de la Recherche, F. Fillon, à l'occasion du 70<sup>e</sup> anniversaire de la Fondation internationale de la Maison de la Chimie. L'image de la chimie est à dessiner, d'urgence.

Pendant ce temps, le *Bulletin* rencontre de graves difficultés de qualité et une nouvelle formule est préparée. Dans l'éditorial du premier numéro de 1992, François Mathey, le rédacteur en chef, annonce une plus grande rigueur de la politique éditoriale exercée par une nouvelle équipe rédactionnelle à laquelle s'est jointe un nouveau comité scientifique. Le journal s'affiche désormais bilingue : il publie des « original contributions and review articles in all fields of molecular chemistry », et les articles « can be submitted either in French or in English. » Le directeur de la publication est le président de la Société Française de Chimie, Jean-Baptiste Donnet. Les manuscrits soumis sont rejetés dans des proportions de l'ordre de 70 % ! D'autres modifications devraient attirer le lecteur : une couverture illustrée et des articles historiques. Chaque année, un prix récompensera le meilleur article publié. L'éditorial de Mathey opte d'ailleurs pour un autre ton, en anglais, beaucoup plus percutant et attractif ; il conclut que pour son 129<sup>e</sup> anniversaire, le *Bulletin* « starts a new life. » Le prix 1993 sera attribué à un article de Marc Julia et celui de 1994 à Henri Kagan et son groupe. Peu après, Jean Jacques écrit d'ailleurs une *Brève histoire de la synthèse asymétrique*, concluant que plus de cent ans après la célèbre controverse entre Jungfleisch et Pasteur, et « malgré les beaux travaux de Kagan et quelques autres », le problème n'est pas résolu. Notons que ces temps-ci, de nombreux et beaux articles sur la synthèse chirale fleurissent dans notre « Actualité ».

À la veille de son départ, car une rotation des responsables doit permettre d'éviter « toute sclérose du journal », et de « l'ancrer encore davantage dans la communauté des chimistes français », Mathey brosse le bilan de ces quatre dernières années : certes le rythme de parution est plus élevé, la qualité s'est accrue (33<sup>e</sup> place sur 110 journaux classés – quels sont les critères ?) et le *Bulletin* « a rattrapé le peloton des bons journaux européens. » Le *Bulletin* est « de loin, le plus diffusé des journaux français de sa discipline », mais il est évident

pour Marc Julia, alors président de la SFC, que l'on doit plier devant la vague montante de la « langue anglaise ». Les articles devront être accompagnés de résumés anglais et français. Pour autant, cela ne « signifie pas que l'emploi du français dans le Bulletin soit recommandé » ! Pour la traduction des résumés, ainsi que pour la mise en forme des manuscrits anglais issus de laboratoires non anglophones, une chimiste anglaise est mise à disposition. Julia confirme l'amélioration de la publication, avec augmentation spectaculaire de « l'indice d'impact ». Il confirme également, en plus de l'aide à l'achat de logiciels pour les sections régionales, la prise en charge par la SFC des frais de traduction en anglais des manuscrits rédigés en français : il s'agit bien d'augmenter la proportion des mémoires en langue anglaise.

En janvier 1997, Jean-Yves Lallemand prend la succession. Il salue le renouveau du journal, annonce qu'il réduira encore les délais de publication et élargira le spectre des articles, en privilégiant notamment l'interface avec la biologie. Concernant la langue, un pas de plus est franchi : on souhaite « recevoir le maximum de manuscrits rédigés en anglais », car il faut améliorer l'impact des articles auprès de nos collègues étrangers. C'est que la concurrence avec les autres journaux européens est vive, et il considère même comme un « honneur » le fait d'être comparé à eux.

Et pourtant... très peu après, Lallemand et Mathey préfèrent tristement un beau numéro spécial, le dernier numéro du *Bulletin*, qui se veut un hommage à la chimie française dont disent-ils, « la riche histoire se confond avec celle du Bulletin. » Ils plient devant « l'évidente nécessité » d'une opération européenne. Julia, lui, voit cette mutation comme un défi à relever et une chance à exploiter. *Chemistry, a European Journal*, produit de l'association de plusieurs sociétés chimiques d'Europe occidentale, à l'initiative de la société allemande (GDCh), a été lancé avec succès le 1<sup>er</sup> janvier 1997. Le 25 juin 1997, le conseil de la SFC décide la fusion du *Bulletin de la Société chimique de France* avec les *Chemische Berichte*, les *Annalen der Chemie* et le *Recueil des Travaux Chimiques des Pays Bas*, ainsi qu'avec le *Bulletin des Sociétés Chimiques Belges* et la *Gazetta Chimica Italiana*. C'est l'acte de naissance de *European Journal of Organic Chemistry* et *European Journal of Inorganic Chemistry*.

## La question des langues

Elle est déjà évoquée à l'occasion d'une lettre particulière que M. Werner adresse à M. Haller, qui désire en entretenir le Conseil (juin 1913). Il s'agit des travaux publiés « dans des langues peu usuelles » : faut-il faire un choix, les résumer, demander aux auteurs une traduction ; et puis, quelles sont les langues que l'on peut dire « non usuelles » ? Enfin, « est-il désirable d'aborder la question d'une langue internationale pour les publications chimiques ? » À cette dernière question, et à elle seule, le Conseil répondra oui.

Lors du dernier congrès de la Fédération internationale des associations de chimie (statuts et siège à Paris), tenu à Londres durant l'été 1919, est traitée la question de la documentation bibliographique : la proposition de créer un ouvrage dans le genre du *Beilstein* n'aboutit pas. En revanche, les Américains, après avoir déclaré qu'ils se suffisaient à eux-mêmes pour ce qui concerne la publication d'extraits, indiquent qu'ils « verraient volontiers apparaître un organe d'extraits chimiques publiés en français destiné aux peuples latins et slaves. » Ils mettraient même à la disposition des rédacteurs de cet organe les épreuves des *Chemical Abstracts* ! Il semble que l'on peut raisonnablement espérer

un appui financier du gouvernement français, ainsi qu'une participation de l'Espagne, la Yougoslavie, la Pologne, la Belgique, la Roumanie et l'Italie. Est-ce la question de l'augmentation des cotisations, les problèmes financiers qui se posent (proposition de réaliser une économie substantielle en réduisant les caractères et d'adopter par exemple ceux des *Chemical Abstracts* ou des *Chemische Centralblatt*) ? On ne voit plus d'évocation de cette proposition en 1920.

La difficulté récurrente de la « multiplicité des langues employées dans la littérature scientifique » est désormais résolue. La possibilité de « la formation d'un journal scientifique d'Extraits en trois langues, dans lequel pourraient rentrer toutes les publications de nature chimique », et même d'un journal international contenant des traductions soit en allemand, soit en anglais ou en français, de mémoires originaux publiés dans des idiomes moins connus, envisagés par l'Association internationale des sociétés chimiques en 1913 est définitivement enterrée. On vit une l'époque où, lorsqu'un grand congrès international est préparé par la France, la communication courante et journalière, de laboratoire parisien à laboratoire parisien, s'effectue en anglais. Seule tient encore notre *Actualité Chimique*, fidèle mais non jalouse de la langue française.

## Chimie et industrie

Dès ses premiers pas, la société a été constituée de la rencontre de chimistes relevant des deux côtés : la chimie pure et la chimie appliquée. Jacques Arnaudon, l'un des « fabricants » les plus distingués de Sardaigne, était venu à Paris en 1855 pour étudier « les modes et procédés de teinture employés dans les manufactures impériales » [13]. Avant de se rendre à Paris, Rosing est intéressé à des questions de chimie industrielle, d'économie forestière et agricole et de société. En France, il effectue de nombreuses visites à caractère industriel : la fabrique de phosphates de Coignet, les milieux soyeux lyonnais, et il continuera à se former en Angleterre dans des stations expérimentales et diverses manufactures.

Lorsque C. Barreswill crée le *Répertoire de Chimie appliquée*, il s'inscrit dans la lignée du baron Thenard et en harmonie avec le programme premier de Rosing ; la société lui accorde immédiatement son concours. Parmi ses collaborateurs, Koechlin, Kopp (qui a monté une fabrique de couleurs d'aniline en Angleterre), Sobrero (élève de Pelouze, qui obtint la glycérine fulminante en 1847), Boutlerow et Rosing. À tel point que Barreswill indique dès son *Avant-Propos* d'octobre 1858, que « tout praticien qui croirait que la chimie pure est inutile, serait dans une grave erreur. »

Parmi les premiers présidents, après Arnaudon et Rosing, Aimé Girard mena des recherches industrielles (raffinage des sucres, industrie des marais salants, fabrication d'acide sulfurique...); on connaît les intérêts de Dumas et Pasteur pour les applications de la chimie, de Balard pour les marais salants, la transformation industrielle du toluène en aldéhyde benzoïque par Lauth et Grimaux – Lauth qui a eu tellement d'activités dans l'industrie colorante et qui, à la manufacture nationale des porcelaines de Sèvres, autour de 1880, perfectionna et innova pour la production dans cette industrie de la céramique (et qui contribua à la création de PC). À maintes reprises, Lauth développe activement l'idée « qu'il est plus que jamais nécessaire de se rapprocher des industriels. » Devant le Conseil du 10 décembre 1885 par exemple, il suggère d'inviter au dîner annuel « un certain nombre

de membres du syndicat des produits chimiques.» Les avantages qu'y trouvera la société sont multiples et toujours liés : elle « aura un appui efficace », elle « aura plus d'influence », le journal « aura une plus grande extension », placé au cœur même des « progrès de la chimie industrielle et scientifique », toujours intimement imbriqués. Dans tous les cas, et la société s'y engage, l'aide des « généreux souscripteurs » passés et à venir sera « employée uniquement à l'extension du Bulletin. » Dans cette même séance, Friedel préconise la création d'une section de chimie industrielle. Plus tard, Scheurer-Kestner (1872-1939) mettra ses talents de chimiste et d'analyste et les résultats de ses divers travaux au service de l'industrie – qu'il s'agisse du grillage des pyrites, de la fabrication du violet d'aniline ou de l'optimisation des chaudières.

En fait, si l'on consulte la liste des personnes qui ont dirigé la société durant cette fin de XIX<sup>e</sup> siècle, on s'aperçoit que nombre d'entre eux étaient des industriels ou avaient des relations avec l'industrie. On serait dans cette ligne du milieu du siècle : à Paris, écrivait Reynoso à Gerhardt, « tout ce qui est science pure n'intéresse point et passe inaperçu. Il faut aujourd'hui se lancer dans les applications industrielles, de manière que l'homme de science tend à disparaître pour faire place à celui qui s'en sert pour l'exploiter d'une manière quelconque » [14]. À la société, on présente des produits de l'industrie : des échantillons de tissus teints, de la verrerie, des porcelaines de laboratoire, des thermomètres industriels ; on participe aux expositions, on les organise (figure 3).

Dans le titre même du *Bulletin* figure dès 1873 la mention « la revue des brevets » (figure 4). Des industriels, « usant de l'invitation que M. le président (Gautier) leur a adressée »,



Figure 3 - Une page du *Répertoire de Chimie Appliquée de Barreswill* (1861).

viennent soumettre à la société les problèmes qu'ils ont à résoudre. À partir de 1889, le développement de la chimie industrielle nécessite la création d'une section à part, au même titre que la chimie organique, analytique, minérale ou biologique.

Mais la question des brevets, mise à l'ordre du jour de la séance du Conseil du 4 février 1897, illustre la difficulté de la cohabitation des industriels et des scientifiques et la divergence des désirs.

Certes, la publication des brevets est la concrétisation de « l'union de la partie industrielle de la Société avec la partie scientifique. » On pense pouvoir réunir la somme de 4 500 francs nécessaire pour les feuilles supplémentaires que la Commission d'impression doit accorder au *Bulletin*. Mais à la réflexion, l'extraction des brevets étant particulièrement difficile, la somme nécessaire tellement importante, et « l'état actuel du bulletin tellement pitoyable » que Wyruboff, qui pense par ailleurs « que la Société ne doit avoir rien de commun avec les industriels », préconise, contrairement aux autres membres du Conseil, que l'on se concentre auparavant sur le point financier. Grimaux est partisan de la publication des brevets. Cette séance se clôt sur le vote à l'unanimité que « les brevets seront publiés dès que la société aura recueilli une somme de 4500 frs assurée pour trois ans » ; le Conseil, sage, ne s'engagera pas au-delà de la somme énoncée.

Le président, Tanret, nomme une commission chargée de procéder à la recherche des moyens propres à publier les brevets. Il s'avérera que, très souvent, la somme nécessaire à la publication des brevets « n'est pas trouvée », et l'on rend aux souscripteurs la somme versée, à la plus grande consternation de Lauth qui demandera « si l'on se désintéresse pour toujours des brevets. »

Y aurait-il malaise ? Pourquoi, au cinquantenaire, après avoir indiqué que la « préoccupation des recherches pratiques et des applications industrielles est une tradition constante, faut-il avertir qu'il est sage de continuer à la suivre dans l'intérêt économique et scientifique de notre pays » ?

Cependant, la société montre l'exemple, et de nombreux grands industriels vont occuper la présidence : Pascalis, en 1909, directeur des Produits chimiques Roseleur, Delval et Pascalis, qui fut président du Syndicat des produits chimiques puis de l'Union des Industries Chimiques, sortit la société de la crise qui la menaçait.

Lorsqu'en 1912, il faut choisir un vice-président, M. Béhal « montre que l'intérêt de la Société consisterait à appeler à cette fonction un industriel », et M. de Laire est élu avec 13 voix sur 15. Il sera président l'année suivante. Ce pionnier de l'industrie des corps odorants de synthèse a su mêler des professeurs de chimie à la vie et au fonctionnement de sa société qui produit, au moment de sa présidence, plus de deux cents corps importants. Il entraîne les membres de la société dans sa politique dynamique. Au cours de cette année 1913, un Grand Prix est décerné aux nombreux produits présentés à l'exposition universelle de Gand. Camille Poulenc (1864-1942), dont le directeur de la recherche a mis au point la stovaine, lui succèdera, et l'assemblée prorogera ses pouvoirs pendant toute la durée des hostilités ; il « restera au premier rang de ceux qui, par leur dévouement, ont contribué à la grandeur » de la société.

Haller (1849-1925), pur professeur d'université, considéré comme le plus grand organicien de son temps, proposé pour le prix Nobel, atterré par la césure qui s'est opérée en France entre la science pure et appliquée, militera tout sa vie pour « l'union entre la science et l'industrie. » Il œuvre pour la

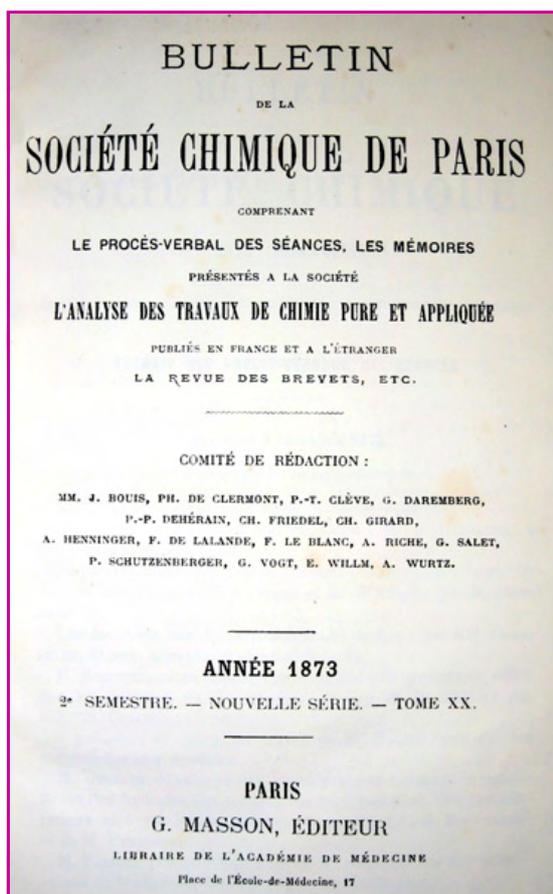


Figure 4 - Première parution du *Bulletin* mentionnant dans son intitulé : *La Revue des Brevets*.

création, à Nancy, d'un Institut chimique (1889), puis de chimie physique et d'électrochimie, puis de la teinture et impression sur étoffes où, parallèlement à l'enseignement de la chimie pure, serait donné un enseignement spécifique de chimie appliquée et qui formerait des ingénieurs chimistes pour l'industrie [15]. Ceci, tout en amorçant une décentralisation : les lieux de la formation seraient situés au cœur de la région industrielle concernée. Il sera nommé directeur de l'École de Physique et de Chimie Industrielles de la ville de Paris, créée une vingtaine d'années plus tôt par Lauth. Cette action incessante dans le sens d'une « *collaboration entre le laboratoire et l'usine* » était le produit d'une double conviction : d'abord « *les nations où la production intellectuelle est la plus intense, la mieux utilisée, sont celles qui ont la suprématie du point de vue industriel.* » Ensuite, l'Alsacien patriote voulait créer, en France, les conditions semblables à celles qui avaient permis que l'industrie chimique allemande devint florissante : plus de laboratoires qui soient des « *sanctuaires de la science pure* », plus d'usine vivant exclusivement « *d'empirisme et de routine.* »

Charles Moureu fut le chantre de l'union science pure/industrie. Dans les *Discours et Conférences sur la Science et ses Applications* (1927), qu'il offre à la bibliothèque de la société, il dit s'être efforcé de « *mettre en relief le rôle de plus en plus important de la science dans la vie moderne.* »

Il y a aussi ceux qui ont incarné la communication chimie pure/industrie, à plusieurs niveaux : Matignon (1867-1934), rédacteur en chef de la revue *Chimie et Industrie*, de la Société de Chimie Industrielle, a travaillé pour « *une meilleure intégration de la science et de la pratique et la collaboration de l'usine et de l'industrie.* » Quant à Georges Dupont, qui succéda à

Jolibois dont nous parlons ailleurs, et qui œuvra tant pour la société, il rassemble en sa propre personne les activités en chimie pure et en chimie appliquée : industrie du bois et de ses goudrons, de la pâte à papier, récolte et distillation de la gomme (mise au point d'une colonne à distillation industrielle).

Il faudrait citer aussi des gens comme Tiffeneau, qui illustra sa perception unitaire de la pratique chimiste en appliquant pour la première fois la méthode de Grignard à l'industrie durant son court passage dans l'industrie. Il mit ainsi entre les mains de Fourneau la chlorhydrine, qui le mènera à la stovaine ; ce même Fourneau qui, secrétaire général de la société, continua après la Seconde Guerre mondiale la campagne qu'avait menée Poulenc après la Première : il ramena comme membres de la société les chimistes de la plupart des firmes industrielles et il obtint « *toute l'aide dont la société eut besoin après les dures épreuves de la guerre* » [16].

Henri Moureu est un autre exemple de ces chimistes universitaires qui s'efforceront d'améliorer les relations entre l'industrie et l'université. Membre du Conseil de la société Air Liquide puis président de son Comité scientifique, il est l'un des premiers à prendre conscience des responsabilités de l'industrie chimique dans le domaine de l'environnement. Il est pour beaucoup dans la création de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (1958), puis du Comité National d'Action pour la Pureté de l'Air (1961) [17].

En novembre 1967, le président Moureu rappellera encore « *la nécessité qu'il y a à mettre des industriels dans notre Conseil d'Administration* » : deux des six places devraient avoir une responsabilité industrielle. Clément et Gross sont alors proposés aux suffrages de l'Assemblée générale.

La société court-elle derrière un amour impossible ? Au deuxième cinquantenaire de la société, R. Paul note bien qu'elle a toujours tenu à compter parmi ses membres tous ceux qui font œuvre de chimistes, que ce soit au sein de l'Université ou bien dans l'industrie, et que la liaison est « *bien loin de se faire aussi mal qu'on se plaît à le dire.* » La présidence même de Jean-Claude Balaceanu par exemple, de 1981 à 1983, qui a fait sa carrière à l'Institut Français du Pétrole dont il a été le directeur général de 1973 à 1988, instigateur de nombreux programmes multidisciplinaires de recherche et d'industrialisation, industriel, chercheur, enseignant, défricheur de nouvelles voies dans le domaine de l'énergie par exemple, permet d'envisager les choses d'une façon plus optimiste. On peut évoquer aussi Philippe Desmarescaux, président de la société de 1998 à 2000, directeur général de Rhône Poulenc, fondateur de Biovision, le Forum mondial des sciences du vivant. Dans ce cadre, se mêlent tous les deux ans à Lyon les experts, les leaders et décideurs, qu'ils soient scientifiques, industriels, membres des grands organismes internationaux ou d'organisations non gouvernementales.

### La Société de Chimie Industrielle

C'est G. Friedel qui introduit l'idée de la création d'une section spéciale dans la société. Certes, tout ceci est très intéressé, « *dans le but de ramener à la Société un certain nombre d'industriels* », et ne fait pas la part belle à l'industrie : on ne pourrait exposer les progrès récents de l'industrie que « *lorsque l'ordre du jour serait peu chargé.* » Nulle surprise donc que le Syndicat des produits chimiques se montre peu intéressé ! Le président Friedel hâte donc les choses et ouvre la première séance de chimie industrielle, le 6 juillet 1888, très satisfait de voir se réaliser l'œuvre, si souvent entreprise, du « *rapprochement des chimistes et des industriels* », en

« *espérant des résultats heureux pour les uns et pour les autres.* »

Dans les années suivantes, de nombreux appels sont lancés : les séances de chimie industrielle attirent peu de monde, bien que les communications y soient nombreuses. Des démarches sont faites, des incitations aux industriels d'y venir pour soumettre les problèmes spéciaux qu'ils ont à résoudre, la proposition d'extension de la partie du *Bulletin* consacrée à cette discipline. On projette d'organiser le bulletin industriel, proportionnant toujours le nombre des revues de chaque industrie au nombre des membres de cette industrie qui appartiennent à la société. Lindet compte publier de véritables monographies sur certains points spéciaux, qui seraient placées dans le *Bulletin* entre les Mémoires et les Extraits ; et Scheurer-Kestner demande que l'on adjoigne des mémoires industriels importants qui seraient publiés rapidement. Mais certains sont sceptiques, dont Grimaux qui voit bien que cela ne peut suffire, les industriels étant de toute façon renseignés plus complètement par leurs journaux spéciaux.

Adrian se montre très actif comme intermédiaire entre la société, le Syndicat et les industriels. La question de la formation des chimistes se destinant à l'industrie étant à l'ordre du jour, il conçoit le projet d'une école de chimie pratique et industrielle, qui donnerait aux jeunes gens des connaissances techniques spéciales. On discute amplement au conseil du 20 juin 1891 : Gautier voit un grand avantage à ce que les chimistes destinés à une industrie aient une forte éducation chimique en dehors de cette industrie. Lauth se prononce pour la création d'une école spéciale, et Schutzenberger reprend un argument que défendait Liebig dans les années 40 : les jeunes gens solidement formés en chimie générale seront très vite efficaces, dès lors qu'ils arriveront dans l'industrie. Pour Scheurer-Kestner, le seul laboratoire industriel est l'usine. Les discussions suivent, la société se plaçant en interlocuteur du Conseil municipal de la ville de Paris, et il est finalement décidé, en plus d'une pétition au ministre de l'Instruction publique (projet d'ensemble des chaires et laboratoires qu'il serait utile de créer ou de développer), que le président de la société, Le Bel, écrira au Conseil de Perfectionnement de l'École de Physique et de Chimie Industrielles, pour y demander l'institution d'une 4<sup>e</sup> année d'études.

Cependant, la section industrielle de la société réunit peu d'adhésions. Elle manifeste son mécontentement et des rumeurs courent qu'elle songerait à faire scission, à créer une Société de Chimie Industrielle, avec sa propre publication. Scheurer-Kestner, très conscient de ce « danger », insiste pour que l'on prenne des mesures donnant satisfaction à la section. De longues discussions occupent les séances du Conseil au début de l'année 1893 pas exemple, où l'on vote finalement la proposition suivante : « *Le conseil s'engage à faire son possible pour que la chimie industrielle soit représentée d'une façon équitable dans le bureau et dans le conseil* » !

C'est au tout début de cette année 1917, sous la présidence de Poulenc (figure 5), que le Conseil est informé par Haller de la fondation prochaine d'une Société de Chimie Industrielle, en même temps qu'il invite la société à rester « *attentive aux efforts faits dans cette direction.* »

Toujours ce même 8 janvier, « *on prête au Syndicat des produits chimiques le projet de créer un sorte de maison du chimiste.* » Haller est d'avis qu'il « *y aurait le plus grand intérêt pour les trois organismes à se rapprocher, tout en gardant*



Figure 5 - **Camille Poulenc (1864-1942)**, président de la société de 1914 à 1919, grand démarcheur de la Société auprès des industriels.

*chacun son indépendance.* » Il se montrera très actif dans la réalisation de ce rapprochement. Parallèlement, la Société de Chimie Physique déclare qu'elle est disposée à étudier toutes les propositions qui pourraient être faites dans le but de réaliser une entente entre les principales sociétés scientifiques. Tout va pour le mieux dans le sens de l'entente et la Société de Chimie Industrielle invite le président Poulenc à un banquet qu'elle organise ; il en profite pour y délivrer une allocution. À partir de là, Poulenc met en route un processus en vue de la simplification des extraits : il faut que le Comité d'impression du *Bulletin* et le Comité de rédaction de la Société de Chimie Industrielle entrent en relation.

Dès 1919, dans le cadre des mesures à prendre pour assurer la vie du *Bulletin*, Haller considère que l'idéal serait de n'avoir qu'une seule société de chimie. Il « *ne perd pas l'espoir de voir fusionner la Société chimique et la Société de Chimie Industrielle.* »

L'union de la science et de l'industrie, les possibilités d'un dialogue permanent resteront la préoccupation majeure de la société. En 1921, elle reprend à son compte l'idée, lancée en 1912 par le Syndicat des produits chimiques, d'une Maison de la Chimie, lieu de rencontre de « *toutes les associations françaises scientifiques ou industrielles s'occupant de chimie* », qui ne fut inaugurée que le 1<sup>er</sup> décembre 1934. Mais elle avait alors revêtu un caractère international : l'intervention de l'Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée [18], la nécessité et la volonté, après la Première Guerre mondiale, d'appréhender le développement de la chimie et de ses applications, voulaient faire de cette Maison de la Chimie la « *propriété du monde entier.* » Hélas, des coupes sombres dans le projet et dans la constitution firent que la société se retira. La Conférence Pasteur, dont la société est signataire, a relancé en 2003 le projet jamais abandonné de rapprochement entre chimistes et industriels. Aujourd'hui, la Maison de la Chimie devrait redevenir, conformément au rêve de ses fondateurs, « *le symbole du rapprochement entre scientifiques et industriels* » [19].

Aujourd'hui, où existe une division de Chimie industrielle depuis 2006, regroupant déjà plus de cent membres, où s'est

également créé un groupe de Biotechnologies, et où le prochain président pourrait être un industriel, où la Fédération Française des Sciences pour la Chimie regroupe toutes les sociétés savantes, dont la Société Française de Génie des Procédés, la Société Française de Métallurgie et des Matériaux, le Comité AdebioTech, les horizons semblent dégagés.

## La Société, serviteur de l'état

Depuis sa création, la société a traversé trois guerres, au cours desquelles elle s'est comportée en association responsable et patriote et a pu mettre ses compétences au service du pays.

En 1870, Friedel est président. La société organise plusieurs séances extraordinaires, durant la durée de ses vacances, pour se consacrer à diverses questions relatives à l'approvisionnement et à la défense de Paris. Les difficultés que présente la fonte des canons sont abordées pendant les séances du mois de novembre (on sait que l'artillerie française avait encore des canons qui se chargeaient par la gueule) : Jungfleisch pense que l'on pourrait éviter l'inconvénient de la formation de bulles « *en renversant le moule* » ; Friedel donne quelques renseignements sur la fabrication des canons dans les ateliers de l'industrie privée ; Tiercelin et Willm entreprennent des recherches sur les matières salpêtrées, dont ils entretiennent la société. Berthelot en profite pour présenter un mémoire historique sur l'extraction du salpêtre – il faut savoir que cette industrie a été abandonnée depuis l'introduction en Europe du nitrate de soude du Chili. Or il apparaît que l'approvisionnement pourrait devenir insuffisant et il faut songer à de nouvelles ressources. Un *Comité scientifique pour la défense de Paris* est créé à l'initiative du ministre de l'Instruction publique et doit enquêter, avec le concours de la société, sur la recherche des salpêtres naturels dans les matériaux des habitations. La commission, présidée par Berthelot et à laquelle siègent également Frémy et Jungfleisch, rend son rapport qu'elle communique à la société le 18 novembre. Il se conclut par une « *marche proposée pour faire la récolte générale des cendres et des matériaux salpêtrés dans tout Paris* », opération qui envisage à la fois la récolte et le traitement et qui doit être « *secondée par la patriotisme des citoyens*. »

Ces professeurs « *arrachés à leurs études abstraites* » n'avaient sans doute à offrir « *que leur contingent de bonne volonté et de patriotisme*. » D'autres, comme Armand Gautier (1837-1920) qui appartient à la société depuis 1863, s'engagent d'une manière plus concrète : attaché à la garde nationale, il s'occupe activement d'améliorer la fabrication des poudres et des explosifs ainsi que la fonte des canons.

L'intérêt pour les « *matières explosibles* » restera vif : en juillet 1871, Jungfleisch entretient la société de l'importance des variations de température sur les produits de décomposition. Ce que Berthelot soutient en rappelant le cas de l'azotate d'ammoniaque.

Parallèlement, la société s'intéressera à la conservation des viandes (Pelouze), à la désinfection et à l'assainissement.

Il faut cependant reconnaître qu'en tant que personnes, les membres les plus célèbres de la société, et en particulier ceux qui avaient été proches de Napoléon III, n'ont pas eu un comportement particulièrement courageux et patriote : Dumas, président d'honneur perpétuel depuis 1861, ministre de l'Agriculture et du Commerce du Prince-président, sénateur du second Empire, fuit Paris avec sa famille à la fin de l'année 1870, craignant pour sa personne et pour ses biens.

Reprenant sa place au bureau de l'Académie le 19 juin 1871, il saluera néanmoins « *la force morale de l'Académie* », qui a « *poursuivi ses travaux sans interruption*. » Pasteur était parti pour Arbois dès la défaite de Sedan. Et Berthelot, après avoir mis sa famille à l'abri de la Commune, gagnait Londres en avril 1871, où l'accueillait Williamson : il serait question de la création d'une chaire ou d'un laboratoire à Trinity College [20].

## La Première Guerre mondiale

Après une brève interruption, les séances reprennent à la société, émaillées de l'annonce de membres « *tombés au champ d'honneur*. » Wohlgemuth, Édouard Bauer en 1916, qui vient de succomber à la Poudrerie militaire de Saint-Chamas et dont Haller déplore la disparition, « *une diminution de notre réserve d'énergies* » ; J.C. Bongrand, tué au cours d'une opération de nuit effectuée en toute première ligne. Il avait travaillé dix ans au laboratoire de Moureu, et en avril 1916, après avoir eu l'épaule broyée et un éclat d'obus dans le poumon, il prend une brève convalescence auprès de lui ; la complaisance des camarades remplacera le bras hors d'usage. « *Les Barbares ajoutaient une nouvelle honte en inaugurant les attaques par gaz asphyxiants. En dépit des répugnances d'une vieille civilisation latine, il fallait se défendre et riposter. Le rôle de la Chimie dans cette guerre, déjà si considérable, allait s'étendre dans des domaines inattendus*. » Hélas, malgré les efforts de Moureu pour le retenir (« *Je reviendrai ensuite avec vous faire la guerre chimique* »), il repart au front pour venger ses camarades et tombe aussi, « *glorieusement, dans l'enthousiasme et la flamme patriotique*. »

Camille Poulenc est président de la société pendant le conflit, les pouvoirs du Conseil et du Bureau étant prorogés tout le temps des hostilités. La société se montre extrêmement patriote et même belliqueuse : les tués à l'ennemi étant parfois salués comme des morts glorieuses, la « *semence héroïque* » vue comme le « *gage du triomphe définitif de la France et de ses Alliés*. » Il faut « *unir, comme par le passé, toute votre science et toute votre expérience*. » Malgré une mission et des préoccupations bien lourdes au titre de la Défense nationale, Poulenc remplit son mandat « *avec une bonne grâce, une dignité, un dévouement et, dans certains cas une générosité dont nous lui garderons le souvenir* », dira G. Bertrand.

Quelle a été la position de la société, en tant qu'institution, pendant ces heures difficiles ? Le 3 janvier 1918, Valeur lira une lettre (que nous avons vainement recherchée) du sous-lieutenant J. Duclaux, relative au rôle effacé que jouerait la Société chimique pendant la guerre. Valeur répond et donne les grandes lignes de sa réponse au Conseil. Faisant abstraction des individus, on ne peut guère se faire une idée du bien fondé de cette critique : 29 juin 1914 est la dernière séance. En août a lieu une séance officielle du Conseil et l'on y décide de suspendre momentanément la vie de la société. Le 10 décembre, le président Poulenc se fait l'interprète du Conseil en envoyant ses meilleurs souhaits aux membres de la société qui combattent actuellement dans les rangs de l'armée française ou des armées alliées, et l'hommage de son admiration à ceux d'entre eux qui ont déjà succombé dans l'accomplissement du devoir. Suivent les questions courantes. La séance du 18 janvier est également consacrée aux problèmes traditionnels, dont financiers : la commission des finances indique que, si l'on veut tabler sur des « *recettes absolument certaines* », la publication d'un bulletin de deux

feuilles par mois est possible. Par la suite, elle devra faire face à l'augmentation du prix du papier. Hanriot reproche à la commission « son excès de prudence » et « préconise la reprise de la vie absolument normale. » C'est cette « vie normale » que l'on suit à travers les procès-verbaux et bulletins. Parfois, une proposition est faite, et acceptée, de publier dans le *Bulletin* une invitation aux membres de la société « à faire connaître les noms de nos collègues tués ou blessés à l'ennemi ou ayant souffert du fait de la guerre ou de ceux qui ont été l'objet de citation. » Les journaux allemands continuent d'être envoyés à la société, Tiffeneau en montrant tout l'intérêt, et Poulenc intervenant lorsque des difficultés surgissent.

L'une des conséquences de la guerre est la pénurie en verreries de laboratoires. En novembre 1915, Lindet présente à la société un certain nombre de pièces provenant des maisons Poulenc frères, Leune, Berlemont, et plaide pour que l'on fasse « crédit à nos verriers qui ne peuvent parvenir d'un coup à l'habileté qu'après de longues années les ouvriers austro-allemands avaient acquise. » D'un mal on fera un bien : Haller exprime le vœu que les laboratoires « prennent l'engagement de ne plus acheter après la guerre, que des verreries françaises, fussent-ils même, pendant quelques années, la payer un peu plus cher que la verrerie allemande. »

À titre individuel cependant, l'action des membres est impressionnante : c'est à cette époque que la Fondation Charles Friedel est instaurée par son fils Georges, dans le but immédiat de venir en aide « aux membres de la Société chimique ou de leurs familles qui ont souffert de cette guerre. » Puis Madame Adrian affecte les arrérages de la donation Adrian aux membres de la société victimes de la guerre.

Parmi les contributions d'Urbain (figure 6), Haller et bien d'autres, évoquons celles de Victor Grignard (figure 7) qui, dans le laboratoire d'Urbain, travailla sur les produits asphyxiants employés par l'ennemi et identifia leur mode de fabrication : l'ypérite est fabriqué à partir de la monochlorhydrine du glycol selon la méthode de V. Mayer (1884). Puis il s'attacha à résoudre les questions posées par le Service

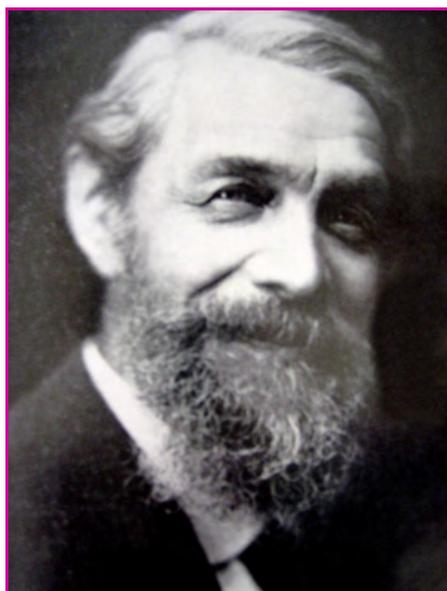


Figure 6 - **Georges Urbain (1872-1938)**, président de 1926 à 1928. Professeur à la Sorbonne, il a exercé une influence profonde sur toute une génération de chimistes.



Pl. XI. Caporal garde-voic (1914-1915)

Figure 7 - **Victor Grignard (1871-1935)**, prix Nobel de chimie 1912 en même temps que Paul Sabatier. Le « *pousse-caillou* » se révélera plus utile à la France en travaillant sur l'ypérite.

central des études et expériences chimiques de guerre. Mais sa participation ne s'arrête pas là. Il transforme la mission qui lui est confiée aux États-Unis au lendemain de la guerre en une véritable « croisade » au service d'une France préoccupée de la paix dans le monde : au célèbre dîner en l'honneur des chimistes, au Chemists Club de New York, il exprime la conviction que les pays ne pourront s'affranchir qu'en développant l'industrie, dans le cadre d'une puissante union économique entre « tous les alliés contre le bloc germanique », la chimie jouant un rôle tout à fait central. Tout en précisant par la suite « que ce n'est pas la haine qui nous anime », mais la conscience d'un danger encore existant [21].

Il faut aussi citer Georges Thesmar (1887-1965), l'un de ces chimistes alsaciens qui se sont engagés pour la France. Affecté en mars 1915 à la poudrerie de St-Chamas (près de Marseille) où il fabrique de la mélinite, il est ensuite nommé chef de fabrication à Bassens (Gironde), où arrivera Jolibois début 1917. Le « capitaine Jolibois », qui s'est distingué dans l'exécution des tirs (du canon de 75, de groupe) et a accompli nombre de missions, est rappelé au début de 1917 à la poudrerie de Bassens pour la fabrication de plus grandes quantités de poudres et d'explosifs ; puis il se montrera efficace au service des bombes d'avion à la Section technique de l'aéronautique. À l'armistice, il dirigera le groupe de contrôle des usines de la BASF à Oppau, cependant que Thesmar sera intégré dans le corps de réserve de chimistes civils.

Mais une affaire secoue la société : 93 intellectuels allemands avaient signé un document qui fut publié le 4 octobre 1914, un « *Appel aux nations civilisées* » justifiant la guerre, le militarisme, l'invasion de la Belgique, et faisant de la guerre une croisade de la culture allemande en péril. En décembre 1914, le président Poulenc proteste énergiquement, puis une discussion s'engage sur la réaction à envisager. La radiation des membres signataires du manifeste rallie la majorité des membres lors de la séance du Conseil du 8 février 1915. Puis on insiste sur le fait que si von Baeyer et Fischer sont des

membres d'honneur de la société, Willstaetter est un membre ordinaire, et les votes sont partagés à son sujet. Considérant que la société « ne saurait faire abstraction de la personnalité morale de ses membres et, qu'en s'efforçant d'excuser les crimes du militarisme allemand, les signataires du manifeste s'en rendent les complices », il est décidé d'exclure de son sein les trois chimistes allemands.

Il faut mentionner que d'autres courants existent. Armand Gautier, qui fut président à trois reprises (1876, 1891 et 1906), a une attitude beaucoup plus nuancée. À son ami A. Lacroix, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences, il écrit : « quelques membres de notre Académie auraient eu la pensée de rayer des listes (de l'Académie des Sciences) les membres allemands, associés ou correspondants. J'espère que l'Académie ne commettra pas cette faute. Nous serions désapprouvés par tous les gens de sang froid et par nos amis étrangers. La barbarie allemande n'empêche malheureusement pas la science et n'a rien à faire avec elle. Laissons à ceux que nous avons librement choisis pour leur haute valeur scientifique leur titre d'associé ou de correspondant, d'autant que rien n'établit d'ailleurs qu'ils approuvent les monstruosité inutiles de la guerre à l'allemande. Ce sont du reste presque tous des fonctionnaires et ils ne peuvent, en ce moment, protester publiquement. »

La commémoration du centenaire de Marcelin Berthelot fournira l'occasion de reprendre les relations : une délégation allemande importante, comprenant les principaux représentants de la chimie allemande, assistera officiellement aux cérémonies du 23 au 26 octobre 1927. Georges Urbain, alors président, invitera les délégués allemands (et autrichiens) à un déjeuner officiel, en même temps que les délégués de seize pays, l'Allemagne étant « bien représentée par Mrs les professeurs Willstätter et Haber. » Les relations se renforceront et Willstätter sera invité à faire partie de la Société chimique de France, en même temps qu'il sera prié de présenter, à la Société chimique de Berlin, MM. Urbain, Moureu, Jolibois et Tréfouël (figure 8).

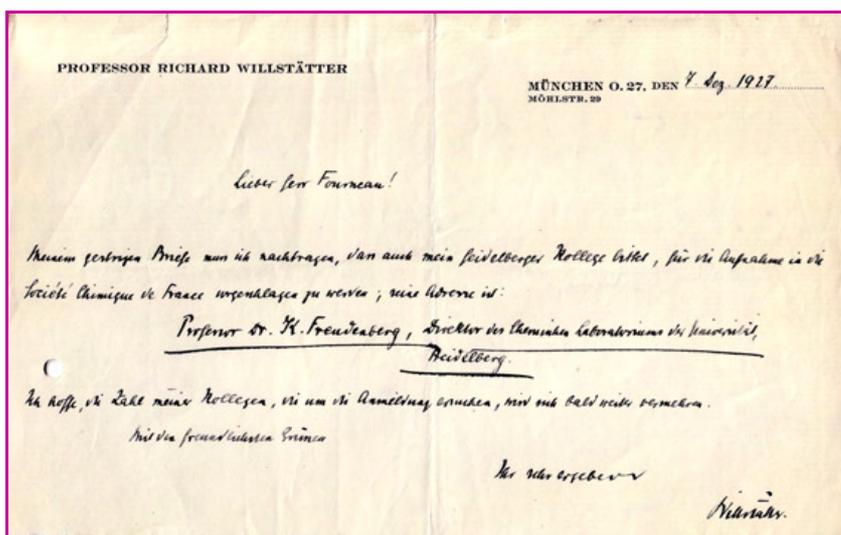


Figure 8 - Lettre de R. Willstätter dans laquelle il donne l'adresse de son collègue d'Heidelberg qui souhaite faire partie de la Société chimique.

## La Seconde Guerre mondiale

De la même façon que Poulenc reste président pendant toute la durée de la Première Guerre, Georges Dupont, élu

président en 1937, ne quittera le poste qu'en 1944, l'article 3 de la loi du 5 février 1941 interdisant de nouvelles élections pour remplacer, même provisoirement, les administrateurs des associations reconnues d'utilité publique (lettre du Préfet du Département de la Seine, 12 mai 1941). Georges Dupont, scientifiquement mobilisé pendant la Seconde Guerre, dirige des recherches intéressant la défense puis l'économie : antidétonants, carburants de remplacement, synthèse du camphre... Trefouël crée un dépôt de médicaments pour la résistance, puis organisera un comité militaire de la pénicilline.

On retrouve Thesmar qui, à la Société des matières colorantes et produits chimiques de Saint-Denis, s'oppose aux officiers allemands et tente de préserver l'intégrité et l'indépendance de la firme. Hélas, l'accord du 12 mars 1941 place les principaux producteurs de colorants français sous la direction de l'IG Farben Industrie. Un peu plus tard, Jolibois servira son pays en assurant la présidence de l'administration séquestre de IG Farben en zone française d'occupation. Par sa diplomatie, il parvient à instituer une participation durable et les intérêts français seront représentés dans la nouvelle BASF.

Certaines séances du Conseil furent particulièrement difficiles, en particulier celle du 14 octobre 1940 : les conditions imposées par les autorités occupantes stipulaient que ni le Conseil ni la Rédaction ne devait contenir de membres israéliques. Après discussion, il fut décidé à l'unanimité que ces dispositions étant contraires aux statuts, le Conseil ne pouvait y souscrire. C'est à Dupont qu'incomba le « périlleux devoir » de transmettre ce refus aux Allemands. À la séance du 13 novembre 1940, les membres des Conseils des Sociétés de Chimie Physique et de Chimie Biologique sont présents en acte de solidarité, et l'on donne acte de confiance à Fourneau (qui préside le bureau de contact avec les autorités allemandes) pour de nouvelles démarches concernant la censure scientifique et la publication du *Bulletin* (figure 9).

Mais l'œuvre de reconstruction est immense : en octobre 1944, après avoir « salué la liberté reconquise », le président pose la question du « rôle que doit y jouer notre Société chimique. » Notre industrie ne devrait plus se contenter d'exploiter les brevets étrangers pour « ouvrir des voies industrielles nouvelles. » Elle devra former de nombreux cadres de haute valeur, avec une forte proportion de chimistes, avertis des nouvelles connaissances scientifiques et techniques, des méthodes et de l'esprit de laboratoire. C'est en assurant la publication des mémoires et des analyses français et étrangers, au moyen du *Bulletin*, tellement limité et retardé durant ces années de gêne et de pénurie, c'est en multipliant les conférences de mises au point, que la société pourra assurer son rôle d'information et de liaison entre les chercheurs. Il faut rendre hommage à Georges Dupont qui sut, par son courage, « faire traverser à notre Société la période la plus critique de son histoire sans rien sacrifier de son honneur » (C. Prévost, Séance annuelle de la Société chimique de France, 30 mai 1959).

Henri Moureu participe à la fabrication d'explosifs qu'il fournit à la Résistance. En septembre 1944, il comprend que l'explosion de Maisons-Alfort est celle d'un V2, et il entreprend de convaincre la France Libre puis les dirigeants de la

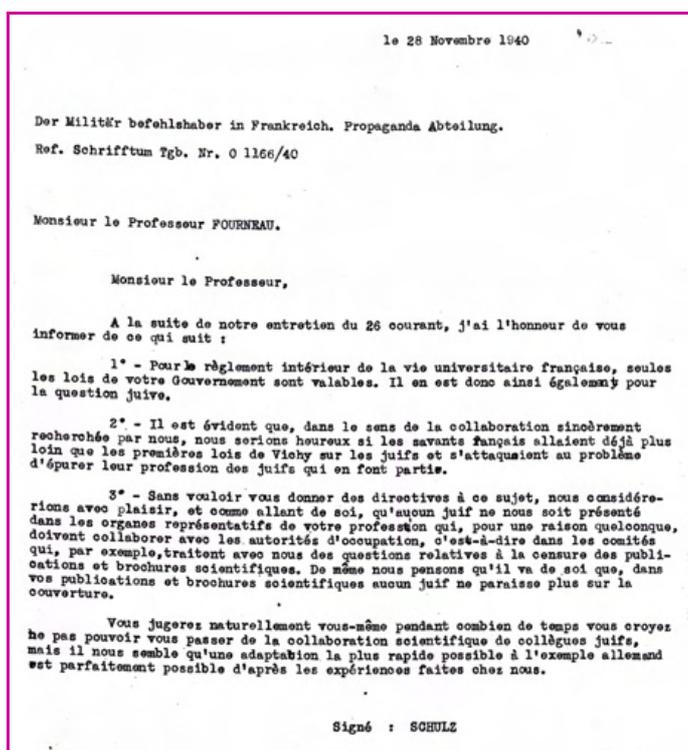


Figure 9 - Sans commentaire.

IV<sup>e</sup> République de l'importance de cette nouvelle arme. Réussissant à interroger les prisonniers allemands et à ramener neuf wagons de matériels de pièces détachées de V2, il fait son éducation et devient un spécialiste des missiles. Il contribuera à la création du Centre d'études des projectiles autopropropulsés (1945), puis du Laboratoire de recherches balistiques et aérodynamiques de Vernon (1946).

Dans les années 30, Moureu avait travaillé pour la Direction des Poudres. En 1959, il se mettra au service de la Communauté européenne du charbon et de l'acier. On le retrouvera Conseiller technique du Ministère des Finances pour les catastrophes de Texas City et de Brest où l'explosion de bateaux chargés de nitrate d'ammoniaque avait tué 600 personnes. En 1961-62, il est expert près le parquet de la Seine pour les attentats commis par l'OAS.

Car les chimistes ne sont pas au service de la France seulement en temps de guerre ! Un épisode met particulièrement en lumière l'implication de la société dans l'avenir de la France, la responsabilité dont elle se sent impartie, et la nécessité d'y améliorer la recherche, en chimie en particulier. En juin 1936, à la suite de la création d'un sous-secrétariat de la recherche scientifique, le professeur Jolibois, président de la société et au nom de la Société, prend l'initiative d'adresser à Mme Joliot-Curie un rapport sur « *l'ensemble des mesures qui nous paraissent de nature à développer et à perfectionner les recherches de chimie en France et un plan d'ensemble qui, s'il était adopté, servirait grandement la chimie française.* » Le rapport y est détaillé de façon extrêmement raisonnée et réaliste selon un certain nombre de points : amélioration des laboratoires actifs existants, création d'un laboratoire de mesures physico-chimiques appliquées à la recherche, construction d'une usine pour essais et préparations chimiques à l'échelle semi-industrielle, nécessité d'augmenter les subventions du *Bulletin de la Société chimique de France*, et enfin subvention en faveur d'une bibliothèque centrale de chimie et de chimie physique.

En décembre, on apprend que Jean Perrin aurait décidé de doubler la subvention accordée à la société.

Promouvoir la chimie, préserver la qualité scientifique : en 1951, la société nomme une Commission de l'enseignement, présidée par Dufraisse, chargée de travailler à un rapport sur la formation des chimistes. Il s'agit de défendre le diplôme d'ingénieur-chimiste, réhabiliter l'expérimentation et attirer à la chimie toutes les capacités et toutes les vocations.

Il faudrait aussi évoquer toutes les actions menées, à titre individuel ou collectif, auprès du Conseil municipal de la ville de Paris, du Conseil d'hygiène de la Seine, de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, de la Société des Nations, du Bureau international des poids et mesures..., toutes les actions qui ont permis l'organisation de services médicaux en temps de guerre ou en temps de paix, de programmes de vaccination, de la production industrielle...

## Quelques manifestations de la société

### Le centenaire de Charles Gerhardt

En octobre 1916, Tiffeneau propose que la société qui a « *plus de devoirs envers Gerhardt qu'envers Wurtz et Ste Claire Deville* » célèbre le centenaire de la naissance de Charles Gerhardt.

En raison des circonstances particulières que vit la France, la manifestation se réduira à une conférence qui portera sur l'œuvre de Gerhardt. Le 8 décembre 1916, le président Camille Poulenc ouvre la journée en évoquant « *l'analogie que présente l'existence de Ch. Gerhardt et celle de notre France actuelle : c'est au milieu des mêmes difficultés matérielles, c'est au prix des mêmes efforts héroïques, c'est en butte aux mêmes calomnies injurieuses venues d'Outre-Rhin que l'un et l'autre combattent pour le triomphe de leur idéal.* » Et il évoque « *le manifeste des intellectuels allemands, encore trop présent en notre mémoire.* » Pour Poulenc, le centenaire représente donc une occasion de manifester son patriotisme vigoureux, qui n'est repris ni dans l'adresse de la Section de Montpellier, ni dans celle d'un groupe de chimistes alsaciens, et qui lui fait saisir d'une façon peu nuancée l'exemple de Liebig comme « *le type intellectuel allemand* », et l'opposition Liebig/Gerhardt comme le besoin de domination contre la recherche de la vérité. « *Messieurs, permettez-moi de voir dans le triomphe de Gerhardt le symbole du triomphe définitif de la France.* »

### Le cinquantenaire de la théorie du carbone asymétrique (22 décembre 1924)

À la lecture d'une lettre de la Société chimique néerlandaise et de la Société de l'industrie chimique néerlandaise, annonçant l'organisation d'une Assemblée suivie d'un banquet pour commémorer le 50<sup>e</sup> anniversaire de la fondation de la stéréochimie par Le Bel et van't Hoff, prévus à Amsterdam pour le 25 octobre, Charles Moureu, président, irrité de n'avoir point reçu une invitation personnelle mais une circulaire « *cavalière* », exprimant sa « *crainte* » que l'influence germanique ne se soit faite sentir en Hollande, fait désigner Delépine pour le remplacer, et pense enfin que la société doit prendre l'initiative d'une manifestation en l'honneur de Le Bel.

Se posent alors diverses questions au Conseil. Contre Moureu, partisan de donner une « *certaine pompe* » à cette fête, avec invitation du président de la République, Fourneau

prêche pour une manifestation plus modeste : la stéréochimie n'intéresse qu'un nombre restreint de personnes et le nom même de Le Bel, qui n'a pas été membre de l'Académie des sciences, est inconnu du grand public ; par ailleurs, il faudrait éviter de réveiller de vieux conflits entre Berthelot et Wurtz ; enfin doit-on donner à cette commémoration un caractère national ?

Haller note que Le Bel et van't Hoff qui ont travaillé ensemble au laboratoire de Wurtz, ont donc « naturellement échangé quelques idées. » D'ailleurs, van't Hoff a publié son premier exposé tout juste trois mois après avoir quitté ce laboratoire.

La Société chimique de France organise donc, le 22 décembre 1924, une cérémonie « glorifiant » Joseph Achille Le Bel (président de la société en 1892) et à la mémoire de Jacobus Henricus van't Hoff, en présence du ministre de l'Instruction publique, F. Albert, de Le Bel, et de nombreuses notabilités étrangères et françaises, la plupart des pays adhérant à l'Union Internationale de la Chimie Pure et Appliquée s'étant fait représenter. On ne peut qu'admirer la parfaite maîtrise du discours prononcé par Moureu : certes « la théorie des atomes asymétriques ne représente qu'une partie de la vérité », mais l'hypothèse était féconde ; la science est « œuvre essentiellement collective » et « rien n'est fertile comme la bataille des idées. »

Le Bel sera l'un des bienfaiteurs de la société (figure 10, en dernière page de l'article).

### Le centenaire de la naissance d'Ernest Solvay (Maison de la Chimie, 3 novembre 1938)

Lors de la dissolution de l'Association internationale des sociétés chimiques en 1919, Haller demande à Ernest Solvay d'attribuer à la société les 360 000 francs de rente belge qui faisaient partie du patrimoine de l'association et qui ont été restitués. Solvay met « bien volontiers ce capital à la disposition de la Société chimique de France », la plus ancienne et la plus prospère des sociétés chimiques françaises de langue latine, en souvenir de ce que la chimie doit à la France et aux savants français. La cérémonie a lieu à la Maison de la Chimie, en présence de M. Solvay (fils), avec une conférence de M. Étienne, professeur à l'École Nationale Supérieure des Mines qui gère la société Solvay française, le mieux placé pour retracer la vie et l'œuvre du grand industriel et de l'éminent philanthrope, qui aida et encouragea la société en des moments difficiles, suivie d'un dîner (tenue de soirée) que la société Solvay prend à sa charge. On ne sait pas pourquoi la deuxième conférence prévue n'a pas eu lieu.

### Le banquet de la Pentecôte

En 1883, le président Lauth propose de créer un « dîner de la Société chimique » qui serait trimestriel. Quoique cette proposition soit adoptée, on n'entend plus parler de rien jusqu'en juin 1890 où le Conseil adopte le principe d'un dîner annuel auquel seront conviés les membres de la société. Le premier, fixé au 6 décembre, sera réglé par Le Bel et Hanriot. Ce banquet, renouvelé dès le mois de mai 1891 à l'hôtel des sociétés savantes, deviendra une véritable institution : le « banquet de Pentecôte ». En 1894, on profite de la présence de Raoult, qui fera une conférence sur ses derniers travaux le vendredi, pour fixer la date du banquet au samedi ; en 1895, on offre ce banquet à Scheurer-Kestner auquel on remettra

une médaille. En 1911, un vendredi soir au Palais d'Orsay, le banquet suivra une conférence de Holleman dans l'après-midi. Voilà une manifestation qui déplace les membres provinciaux, auxquels la Compagnie des Chemins de Fer accorde une réduction grâce aux négociations de Béhal (la société avait acheté des obligations du chemin de fer de l'Est et du PLM, plaçant ainsi les fonds recueillis dans la souscription entreprise en 1894). Paul Sabatier demandera même, en avril 1912, que cette réduction soit étendue à certains membres de leur famille.

Le banquet de la Pentecôte de 1914 devait marquer une volonté de rapprochement avec les chimistes allemands, engagée depuis 1911. Willstätter y est invité à faire une conférence sur la chlorophylle et Haber sur la synthèse de l'ammoniaque. La conférence de Willstätter est confirmée en avril : elle portera sur les matières colorantes des plantes et sera précédée d'une exposition de produits et d'appareils, pour laquelle les dépenses sont engagées. On sait comment les choses ont tourné. Il faudra attendre la célébration du centenaire de Berthelot, en octobre 1927, pour une reprise des relations avec la chimie allemande : Willstätter et Haber seront invités par Urbain au déjeuner officiel.

La tradition du banquet de Pentecôte, interrompue pendant la guerre, est reprise sur la proposition de Camille Poulenc, à la suite de son voyage en Angleterre et du toast porté par la Chemical Society aux chimistes français. Le 5 juin 1919, Pope, qui recevra une médaille, est invité à donner une conférence sur la dissymétrie moléculaire et Moureu prononce une conférence sur Ramsay. Entre les deux conférences, un banquet est donné au Palais d'Orsay.

L'Assemblée générale de la Pentecôte 1924 comprenait une conférence de F. Swarts (professeur à l'Université de Gand) sur les composés fluorés organiques, suivie d'un banquet dans les salons de Marguery, généreusement subventionné par la Compagnie des matières colorantes, les Établissements Kuhlmann, la Société des matières colorantes et produits chimiques de Saint-Denis, les Établissements Poulenc, la Maison de laire, la Société chimique des usines du Rhône. Enfin, un certain nombre de discours, dont celui de Moureu qui célèbre la vitalité de la société, la qualité et le développement du *Bulletin* (qui devra cependant élever une fois de plus la cotisation) ; celui de Swarts (professeur à l'Université de Gand), membre non résidant depuis 1919, qui se proclame de la culture et de la langue française ; Matignon, qui engage « le concours le plus complet de la Société de Chimie industrielle » ; le président de la Société des experts chimistes qui, « auxiliaires de la justice, doivent aider la science à marcher droit. » Il faut que l'humanité reprenne sa marche, « l'heure de l'oubli ne peut sonner qu'après l'heure de la justice ». Enfin, Lowry, professeur à Cambridge, représentant de la Chemical Society, rappelle que sa société est de quatre ans plus vieille et lance des invitations pour son prochain banquet.

On peut encore citer la séance du 25 mai 1935, à laquelle Hinshelwood, professeur à Oxford et membre de la Royal Society, spécialiste de l'étude expérimentale et théorique du mécanisme des réactions chimiques, fut invité à présenter ses plus récents travaux. Le banquet qui suivit, réunissant la Société chimique, la Société de Chimie Physique et la Société de Chimie Biologique, eut lieu à la Maison de la Chimie.

En 1946, l'Assemblée générale est prévue le 10 mai, avec exposés de Karrer (Zurich) et de Paul, mais il ne peut « être encore question de banquet, en raison des difficultés de ravitaillement. » Les heureux temps reviennent : on donnera « une certaine solennité » à l'Assemblée du 25 mai 1950 qui

s'étalera sur deux jours : Backer de Groningen prononcera la conférence, on inaugurera une exposition en hommage à Grignard au Palais de la découverte, à l'occasion du cinquantième de sa première *Note* sur les organomagnésiens dont Collonge « causera » par ailleurs, et le Banquet sera « avec tenue de soirée recommandée. » Il faut remarquer – car c'est remarquable – que pour la première fois, une séance de communications est réservée aux membres des sections de province. Bientôt, les Assemblées se tiendront toutes en province.

## Et l'histoire ?

De nombreux membres éminents de la société ont été portés à l'étude de l'histoire du développement de leur discipline, et se sont montrés soucieux de constituer l'histoire de leur société. C'est ainsi qu'un projet d'histoire de la société se fait jour en 1894, porté par Scheurer-Kestner, partisan d'une histoire résumée, et Hanriot, d'une histoire « *in extenso* », donnant la biographie des présidents. Hanriot possède des documents, en ordre, qu'il met à la disposition de Scheurer-Kestner. On reculera devant le montant d'une publication coûteuse, alors que le budget est en déficit, « à cause de la table décennale et des feuilles supplémentaires. » On ne connaît donc qu'un *Court résumé de l'histoire de la Société chimique de France*, publié sans doute en 1925 (quelques pages), un *Mémorial de la Société chimique de France* par Paquot, en 1949, en plus de la *Conférence de Gautier* pour le cinquantième et des *Exposés généraux* pour le centenaire.

Dans le règlement administratif, un archiviste existe dès 1864 : il est chargé « de la garde des archives de la Société », dont il dresse un inventaire et il a la bibliothèque sous sa direction. Les papiers ne doivent pas être très abondants puisqu'il demande en 1894 l'achat (pour 60 francs) d'une caisse métallique « pour conserver les documents de la société et les plis cachetés. » Le crédit est voté. Un peu plus tard, Cloëz exposera que parmi les nombreux papiers conservés, un grand nombre sont inutiles et devraient être détruits. En revanche, des documents capitaux manquent. En 1897 devient visible un désordre certain et des manques sérieux. Des mises au point sont votées au Conseil et il est précisé que la Commission des archives, prévue par les statuts, sera nommée annuellement « pour s'occuper de la bibliothèque et des archives. » Aujourd'hui, on ne peut que regretter la parcimonie de nos archives.

En tous les cas, une grande attention est portée aux travaux des grands maîtres : Lavoisier bien entendu, Dumas, Wurtz... et surtout lorsque les étrangers pourraient nous prendre de vitesse. Ainsi, Hofmann ayant fait paraître dans le *Journal de la Société chimique de Berlin* une notice très étendue sur Dumas, il est décidé « après une très courte discussion », qu'un numéro spécial sera fait, qui publiera une notice sur Wurtz par Friedel (17 janvier 1885). Lorsqu'en 1934, la société célèbre le cinquantième de la mort de Dumas et de Wurtz, c'est Urbain qui retrace l'œuvre de ces chimistes. Presque tous les présidents ont une notice nécrologique dans le *Bulletin*. Nous avons évoqué les travaux de Grimaux, Tiffeneau et à sa suite, Delépine, Jean Jacques ; il faudrait aussi mentionner les travaux d'Henri Normant et de tant d'autres. Autant de tentatives, plus ou moins élaborées, pour situer son propre travail au sein d'un questionnement, d'une méthode et d'un projet. Aujourd'hui, une traversée de l'histoire de la société sera perceptible à travers la biographie des présidents [22]. Un parallèle avec l'histoire des autres sociétés savantes, françaises et étrangères, permettrait en

particulier de conduire cette esquisse dans la voie de l'exécution.

On nous reprochera, en lisant ces lignes, que l'œuvre de l'homme, le chimiste, a souvent été mêlée à l'œuvre du sociétaire et que l'œuvre de la société, en tant qu'institution, est parfois discutablement confondue avec l'œuvre de tel ou tel sociétaire. C'est que le chimiste est homme et que la société est association de chimistes. C'est que depuis le XIX<sup>e</sup> siècle, on a bien compris, grâce aux correspondances merveilleuses de ces chimistes (Berzélius, Liebig, Wöhler, Laurent) que la chimie est une histoire « d'amour ». C'est que dans de très nombreux cas, l'action de ces savants a été tellement impliquée dans la vie de la société qu'un départage est impossible. Nous nous sommes attardés sur l'exemple de Poulenc, cet industriel de talent, qui prenait si fréquemment son « bâton » pour partir convaincre ses pairs de la nécessité de soutenir la société. On pourrait citer ce groupe de chimistes, sociétaires, qui ont mis leur formation, leur talent très spécial, leur laboratoire, leur science et leur humanité au service de la France, à un moment critique : Moureu, Job, Grignard, Urbain, Toussaint, Rivat, Mignonac, Kling et d'autres. À Auger, il suffisait de poser telle question sur tel sujet pour qu'il fût répondu : « Voyez tel numéro du *Zentralblatt* ou des *Berichte* ou du *Bulletin* de telle année, vous y trouverez ce que vous désirez » [23]. La société est un groupe d'hommes, avec ses grandeurs et ses faiblesses.

## En révérence

La « participation des jeunes, passablement désintéressés des sociétés savantes, jugées sans doute un peu poussièreuses », la participation des chimistes de l'industrie, la nécessité d'une publication scientifique vigoureuse, ont toujours été exprimées comme les désirs essentiels et vitaux, parfois les acquits pour lesquels on se congratulait. Le premier congrès de la Société Française de Chimie, SFC 84, saluait l'ouverture d'un débat sur les problèmes de formation et d'enseignement, suggéré à la fois par les industriels et les enseignants. On offrait aux jeunes diplômés et chercheurs, « invités », des « contacts avec la grande industrie », et bien d'autres choses pour le futur. On y souhaitait la relance de journaux français de chimie, insistant sur la nécessité capitale pour un pays de la publication de bons journaux primaires [24].

La dimension est passée à celle de l'Europe et la langue française est reléguée aux oubliettes.

Dans ces toutes dernières années, la société peut se féliciter de réussir de vieux projets : la construction européenne, avec la réunion SFC Eurochem de Toulouse en 2002, où trois sociétés savantes de la chimie européenne se voyaient réunies ; puis la tout nouvellement créée EuCheMS (European Association for Chemical and Molecular Science) réussissait à organiser le premier congrès européen de chimie.

Et l'autre vieux rêve ? Certes la progression industrielle (15 %) était en « légère progression », mais elle restait très limitée. Les efforts sont-ils réels et continus ? Les vieux slogans : « consolider, multiplier les ponts entre science et industrie » restent à l'ordre du jour. Il est reconnu, pour SFC07 par exemple, « que nous aurions pu faire mieux pour les contributions industrielles. »

La nouveauté ? Il convient de ménager des ponts entre chimie et grand public, réconcilier l'homme de la rue avec la chimie, non pas parce que le chimique serait déconsidéré, ce que Liebig, cet immense artisan de la popularisation de la

chimie, s'était magistralement appliqué à redresser, mais parce que, antinomique du naturel, il ferait peur [25]. L'Union des Industries Chimiques l'a bien compris. En organisant les 2<sup>e</sup> États généraux de la chimie (Lyon, janvier 2007), les industriels ont pris résolument le parti de la transparence : ils vont expliquer les choses et établir des fiches de sécurité décrivant la toxicité de 30 000 produits. La chimie va désormais prendre soin de son image. Il serait grand temps.

Alors que sa démarche n'est pas *a priori* motivée par le souci de participer au phénomène de mode, la chimie se trouve, de par sa constitution, à l'avant-garde. Il convient d'inverser les perspectives : ce n'est pas tant la chimie, l'industrie chimique, qui crée des problèmes d'environnement (certes, elle en crée), ce sont les questions d'environnement qui sont essentiellement de nature chimique et qui demandent des méthodes chimiques pour les résoudre [26]. La chimie prend d'autres directions et la société peut se flatter d'être parfois à l'avant-garde, en créant par exemple le groupe de Biotechnologies, en s'investissant dans la Commission, « Chimie et Société »... *L'Actualité Chimique* joue son rôle, en particulier avec ses jolis numéros spéciaux où, en même temps que l'on montre le rôle clé que joue la chimie dans les questions de pointe telles que le développement durable, la chimie verte – où d'ailleurs on implique le maximum d'industriels –, elle s'applique à imposer une tout autre image que celle qui lui avait été plaquée. Le journal est bien « le reflet de la réalité de la chimie » [27].

## Notes et références

- Quesneville la décrit comme « une petite société de chimie où l'on voulait s'aider les uns les autres à rendre plus agréable et plus fructueuse le séjour dans la grande capitale du monde, le stage dans les laboratoires de maîtres. »
  - Il a déjà une forte expérience d'organisateur : dès dix-neuf ans, à la fin des années 1840, des conférences sont organisées sous son impulsion où l'on traite de problèmes d'actualité, dans le domaine des métiers manuels et dans l'industrie, à Copenhague puis à Christiania.
  - Bernier J.-C., Desmarescaux P., Tout n'est-il que chimie... ?, Éditorial du numéro spécial « Chimie et vie quotidienne », *L'Act. Chim.*, nov. 1999, p. 3.
  - Foumeau E., Marc Tiffeneau (1873-1946), *Bull. Soc. Chim.*, 1948, 15, p. 905.
  - C'est en effet un décret du 17 mars 1913 qui crée à l'Académie des sciences une division de six membres non résidents, à prendre parmi les membres correspondants n'habitant ni la Seine ni la Seine et Oise.
  - Les Français étaient réputés pour pratiquer très peu « les langues étrangères ». D'où l'importance particulière des chimistes alsaciens, bilingues. L'information arrivait difficilement et les traductions étrangères étaient mal faites ; Gerhardt s'était sérieusement attaqué à cet état de chose. Après un essai pour remonter le *Répertoire* de Gaultier de Claubry tellement tombé en discrédit, puis le projet de « remonter une feuille destinée à répandre chez nous les travaux d'Allemagne et d'Angleterre », à la manière du *Jahresbericht* de Berzélius, il s'attache, à partir de 1840, à la *Revue scientifique* de Quesneville pour la partie chimique de l'étranger (compte rendu de ce qui se publie de plus intéressant à l'étranger). À partir de 1845, Émile Kopp le remplace pour l'analyse des travaux étrangers, cependant qu'il édite ses *Comptes rendus des Travaux de Chimie* dans le *Journal de Pharmacie* pour Masson. En 1848, Gerhardt reprend sa collaboration avec Quesneville qui cessera définitivement en 1851. Une revue des travaux étrangers continuera cependant au *Journal de Pharmacie*, rédigée par Wurtz.
  - Charles L. Barreswil (1812-1870) a publié *Appendice à tous les traités d'analyse chimique* (1843, avec Sobrero), *Chimie photographique* (avec Davanne), *Traité de Chimie industrielle* (1861-1864, avec Aimé Girard). Son *Répertoire* fut sans doute pensé à l'exemple de feu le *Répertoire de Chimie* de Gaultier de Claubry.
  - Le *Moniteur scientifique du chimiste et du manufacturier*, 1860, II, p. 559.
  - Le *Bulletin* paraît chez Hachette jusqu'en 1872. Il est édité par Masson à partir de 1873. Il serait intéressant de connaître les raisons et les modalités du transfert. Notons que, au début de 1889, Carré, éditeur, bd Saint-Germain, fait des offres à la société. Masson propose alors un traité de dix ans, qui sera accepté à l'unanimité. Parmi les avantages consentis, la distribution en France sera prise en charge par l'éditeur, qui fournira gratuitement dix exemplaires du *Bulletin*. En 1995, la société songe à s'éditer elle-même. Après examen de la question, il apparaît que
- « la situation de la société ne s'améliorerait pas » et le Conseil vote le statu quo. Un nouveau traité est négocié par Riban, président en 1899, qui permet une économie de 3 000 francs par an et rend la société propriétaire des trois cents exemplaires du *Bulletin* inutilisés. En 1951, la Société chimique de France devient éditeur, la distribution se faisant par Masson. En 1990, un protocole d'accord est signé avec les Éditions Elsevier France, qui intéresse le *Bulletin*, le *Journal de Chimie Physique* et *Analisis*. La responsabilité de la politique rédactionnelle restant à la charge de la SFC pour ces trois revues. « Les Éditions Elsevier auront le rôle de la mise en œuvre de ces revues, leur commercialisation, leur promotion, la recherche d'abonnés et la publicité. »
- Lors d'une séance du Conseil particulièrement orageuse, on en vient aux chiffres : en 1872, Masson versait 800 francs au secrétaire, somme portée à 1 200 francs en 1879. Or il semblerait bien, selon les conclusions auxquelles arrive le président Tanret après plusieurs consultations, que les honoraires du secrétaire général soient voisins de 4 000 francs en 1897. Béhal est mis en cause. Or c'est en 1883 que, « étant donné l'état de la société et la situation particulière du Bulletin », on décide de confier à l'un des deux secrétaires la fonction de secrétaire général, qui touchera des appointements s'élevant à un total de 4 000 francs. Il faut une personne décidée à s'occuper activement des intérêts de la société : ce sera Schneider pour deux ans.
  - Cf. Dufraisse C., La vie et les travaux de Charles Moureu, *Hommage à Charles Moureu (1863-1929)*, Imprimerie de l'Indépendant, 1934.
  - Henri Normant (1907-1997) par exemple, président en 1971-72, publiait dans le *Bulletin* jusqu'en 1973. Il donne alors ses articles aux *Journal of Organometallic Chemistry*, *Tetrahedron Letters*, *Synthesis*, *Canadian Journal of Chemistry*.
  - Lettre du ministre de Sardaigne à Chevreul, 22 sept. 1855, citée dans : Fournier J., Un élève de Chevreul : Jacques Arnaudon (1829-1893), cofondateur et premier président de notre Société, *L'Act. Chim.*, juillet 2003, p. 47.
  - Lettre du 7 juillet 1856, dans : Grimaux et Gerhardt, *Charles Gerhardt, sa vie, son œuvre, sa correspondance, 1816-1856*, Masson, 1900, p. 286.
  - Ce genre d'établissement n'était pas en soi une innovation en France, mais il était le produit de l'initiative et des financements privés : en 1838, Pelouze avait créé un laboratoire privé, rue Guénégaud, où il pouvait accueillir six à douze élèves désireux d'apprendre la chimie pratique. Il le ferme en 1849 pour ouvrir un laboratoire de recherche et d'enseignement pratique au 22-26 rue Dauphine, qu'il fermera en 1859 lorsqu'il sera nommé directeur des essais à la Monnaie.
  - Delépine M., Notice sur la vie et les travaux d'Ernest Fourneau, *Bull. Soc. Chim.*, 1950, 17, p. 957.
  - Communication E. Langlinay.
  - Dont la 7<sup>e</sup> conférence, qui s'était tenue à Washington en 1926, avait organisé la visite d'un certain nombre d'usines à l'est des États-Unis, dont Pittsburg, Akron, Detroit, Buffalo, Rochester...
  - Potier P., Hui J., La Maison de la Chimie, une histoire extraordinaire, *L'Act. Chim.*, 2004, 276, p. 4 ; voir également les articles de Paul Rigny, Roselyne Messal, Émérence Marcoux, Danièle Olivier et Catherine Beudon, dans le numéro de *L'Actualité Chimique* paru en mars dernier.
  - On lira avec intérêt : Jacques J., En attendant la République, *Berthelot : 1827-1907. Autopsie d'un Mythe*, Belin, 1987, p. 123-32.
  - On pourra comparer les arguments et le style avec les leçons que Duhem donna à Bordeaux en 1915 : ne pouvant « verser son sang », il prendra ainsi « son humble part à la défense nationale » (*La Chimie allemande*).
  - Ouvrage collectif réalisé à l'initiative du groupe Histoire de la chimie, 2007, sous presse.
  - Cf. le très beau texte de C. Toussaint dans : Grignard R., *Centenaire de la Naissance de Victor Grignard*, Audin, Lyon, 1972, p. 4-80.
  - SFC 84 : à suivre..., *L'Act. Chim.*, septembre 1984, p. 7.
  - Nous montrons ailleurs que cette antinomie, chimique/naturel, ne va pas de soi et a été introduite au XIX<sup>e</sup> siècle sur dessein délibéré, pour magnifier le nouveau chimiste, celui de la synthèse.
  - Vermeulin P., *La chimie et l'environnement*, numéro spécial de *L'Act. Chim.*, 1999, p. 108.
  - Au hasard, ou presque, l'un des derniers numéros comporte, entre autres, les rubriques *Recherche et développement*, *Industrie*, *Enseignement et formation*.



### Marika Blondel-Mégrelis\*

est ingénieur (ESCIL), ingénieur-docteur (physique), docteur en philosophie et historienne de la chimie. Elle a cessé ses activités dans le cadre de l'IHPST (CNRS/Paris 1).

\* Courriel : marika.blondel@club-internet.fr



**a** " Je désire que toutes les rentes léguées à la Société Chimique soient exclusivement employées à des buts scientifiques, mais pouvant se rattacher à d'autres sciences (physique, astronomie etc...). On pourra fuser-fonder un ppix sur un sujet variable, mais je défends expressément qu'en les emploie à des constructions ou à l'entretien de périodiques "

**b** " CECI EST MON TESTAMENT :

J'institue pour ma légataire universelle la SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE FRANCE, ayant son siège à Paris, rue Saint-Dominique 28, aux charges ci-après :

Je lègue l'actif net de ma succession, après paiement de tout passif, frais et droits de mutation, en usufruit pendant sa vie, à Madame Veuve Henri FREUNDLER, ma Belle-Sœur, demeurant actuellement à Genève.

Après l'extinction de cet usufruit, j'entends que ma légataire universelle emploie intégralement tous les revenus nets des biens et valeurs provenant de ma succession au fonctionnement de la Fondation LE BEL, à Paris, 250 rue Saint-Jacques.

Je révoque tout testament antérieur.

Fait à Paris le 3 Mars 1938.

P. FREUNDLER.

Figure 10 - Achille Le Bel (1847-1930), bienfaiteur de la Société.

« Fondation Le Bel » apparaît pour la première fois le 8 janvier 1832. Antérieurement, il était question de « Legs » Le Bel ou de « Succession » Le Bel.

a - L'une des dispositions testamentaires d'Achille Le Bel (procès-verbal de la séance du Conseil du 23 mars 1942).

b - Testament de Paul Freundler, directeur de la Fondation Le Bel, ancien secrétaire générale et rédacteur en chef du *Bulletin*, décédé le 5 janvier 1942.



## The CRC International Conference

offers an excellent opportunity to gain valuable information on current developments and future trends in coupling and organometallic catalysis.

**Johnson Matthey** is pleased to announce that Dr. Thomas J. Colacot will be joining this elite group of speakers to present our latest technology in the area of cross-coupling catalysis.

Dr. Colacot will be available after the presentations to meet individually with attendees to discuss their specific projects.

### Organizer:

Catalysis Research Center,  
Hokkaido University Japan

### Co-Organizers:

- . Johnson Matthey
- . Laboratoire de Chimie Organometallique de Surface CNR-ESCPE LYON
- . Chemical Society of Japan, Hokkaido Branch
- . Sigma-Aldrich Corporation
- . JIST Japan Interaction in Science & Technology Forum

**Opening Address: 09:00**  
Tamotsu Takahashi  
CRC, Hokkaido University, Japan

## Invited Speakers

Prof. Ei-ichi Negishi  
Purdue University, USA

Prof. Genevieve Baime  
University of Lyon 1 France

Prof. Akira Suzuki  
Hokkaido University, Japan

Prof. Pierre H. Dixneuf  
University of Rennes 1, France

Prof. Kohei Tamao  
Riken, Japan

Prof. Olivier Baudoin  
University of Lyon 1, France

Prof. Gregory C. Fu  
Massachusetts Inst.  
of Technology, USA

Dr. Thomas Colacot  
Johnson Matthey, USA

Prof. Tamejiro Hiyama  
Kyoto University, Japan

**Conference Dinner: 19:00**

## Registration/Poster/ Contact Information:

<http://www.cpe.fr/crcsymposium>

## Johnson Matthey Contact Information:

Connie Schlegel  
Ph: +1 856 384 7151  
e-mail: [schlecx@jmus.com](mailto:schlecx@jmus.com)  
web: [www.jmcatlysts.com/pharma](http://www.jmcatlysts.com/pharma)

Contribution invisible. Succès visible.

**Contribution invisible** – Comme pour beaucoup de produits de consommation courante, la qualité du papier dépend de notre contribution. C'est, en effet, l'action de nos produits chimiques qui donne au papier sa qualité d'impression. Tout en conjuguant fabrication économique et respect de l'environnement.

**Succès visible** – C'est en partenariat avec nos clients issus de nombreuses branches industrielles que nous élaborons et optimisons les solutions les meilleures. Avec, pour eux, des résultats bien visibles : l'optimisation des procédés et de la qualité, la réduction des coûts favorisent leur réussite. Elle améliore aussi la qualité de vie pour tous.

[www.basf.fr](http://www.basf.fr)

 **BASF**  
The Chemical Company\*

\*L'Entreprise de la chimie