

Mensuel
numéro

6

Juin 2003

l'actualité chimique



Les peintures marines

Science et technologie :
vision de l'Europe

Le concept
d'équilibre chimique





ChemPhysChem

A European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry

Chairmen of the Editorial Advisory Board:

Frans C. De Schryver (Belgium)

James T. Hynes (France, USA)

2003, Volume 4, 12 issues per year,

ISSN Print 1439-4235

ISSN Electronic 1439-7641

www.ChemPhysChem.org

Subscribe Now!

ChemPhysChem – significant and successful

ChemPhysChem amalgamates the wide and flourishing field ranging – to name just a few topics –

- from atmospheric science to hard and soft condensed matter
- from femtochemistry to nanotechnology
- from complex biological systems to single molecule research
- from clusters and colloids to catalysis and surface science
- from electro- to photochemistry

• **First ISI Impact Factor: 4.217**

• Selection from Reviews published:

W. Ketterle: When Atoms Behave as Waves: Bose-Einstein Condensation and the Atom Laser

E. A. Cornell, C. E. Wieman: Bose-Einstein Condensation: The First 70 Years and some Recent Experiments

S. Hammes-Schiffer: Comparison of Hydride, Hydrogen Atom, and Proton-Coupled Electron Transfer Reactions

J. F. Castillo: The Dynamics of the H + H₂O Reaction

F. Endres: Ionic Liquids: Solvents for the Electrodeposition of Metals and Semiconductors

G. Meijer: Cold Molecules

ChemPhysChem is now co-owned by 9 national chemical societies.



EUChemSoc

www.interscience.wiley.com

Register to Wiley InterScience to browse the FREE ChemPhysChem online sample copy and receive FREE Tables of Contents automatically by E-mail.

Please enter our/my 2003 subscription to ChemPhysChem

Institutional rates:

Europe

Switzerland

All other countries

print or electronic

€ 748,-

sFr 1284,-

US\$ 798,-

print + electronic

€ 786,-

sFr 1349,-

US\$ 838,-

Personal rates: € 98,- sFr 168,- US\$ 98,-

Prices include postage and handling charges.

Please tick: private business

Name
Address
City/Postcode
Country
Date/Signature

Please send me a free sample copy

Please return this order form to your local subscription agent or to:

Customers in Germany, Austria, and Switzerland:

WILEY-VCH Reader Service
P. O. Box 10 11 61,
D-69451 Weinheim, Germany
Phone: +49 (0) 6201-606 147
Fax: +49 (0) 6201-606 172
e-mail: subservice@wiley-vch.de

Customers in all other areas:

John Wiley & Sons, Ltd.
Journals Administration Department
1 Oldlands Way
Bognor Regis West Sussex, PO22 9SA, UK
Phone: +44 (0) 1243-779 777
Fax: +44 (0) 1243-843 232
e-mail: cs-journals@wiley.co.uk



WILEY-VCH

RÉDACTION

Rédacteur en chef : Bernard Sillion
Rédactrice en chef adjointe : Séverine Bléneau-Serdel
Secrétaire de rédaction, maquettiste, webmaster : Évelyne Girard
Secrétaire de rédaction, activités de la SFC, manifestations : Roselyne Messal
Chargés de rubrique : Marika Blondel-Mégrelis (Histoire de la chimie), Lydia Bonazzola (Enseignement), Yves Dubosc (Livres et médias, Manifestations), Gilbert Schorsch (Industrie), Pierre Vermeulin (Chimie francophone)
Comité de rédaction : P. Aldebert (CNRS), P. Arpino (div. Chim. anal.), A. Audibert-Hayet (IFP), B. Badet (ICSN), X. Bataille (Histoire des sciences), M. Blanchard-Desce (div. Chim. orga.), M. Blondel-Mégrelis (club Histoire), E. Bordes (div. Cat.), J. Buendia (SCI), M. Carrega (div. Matér. polym.), G. Chambaud (com. interdiv. Enseignement), N. Cheymol (CPGE), J.-C. Daniel (groupe Formulation, GFP), R.-E. Eastes (ENS), E. Florentin (ENS), J.-P. Foulon (UDP), J. Fournier (club Histoire), Y. Gauduel (div. Chim. phys.), G. Gros (chimie des procédés), J.-F. Lambert (div. Cat.), V. Nardello-Rataj (groupe Formulation), P. Pichat (ADT), A. Picot (Prévention des risques chimiques), P. Rigny (exp. scient.), D. Rutledge (div. Chim. anal.), G. Schorsch (SFC), F. Secheresse (div. Chim. coord.), H. This (INRA-Collège de France), M. Verdager (UPMC), P. Vermeulin (CNRS), C. Viel, D. Vivien (div. Chim. solide)
Journaliste stagiaire : Colin Droniou
 Publication analysée ou indexée par : Chemical Abstracts, la 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
 E-mail : ac@sfc.fr - http://www.sfc.fr
Directeur de la publication : François Mathey, président de la Société Française de Chimie
Imprimerie : SPEI, BP 26, 54425 Pulnoy
Maquettage articles : e-Press, Casablanca Technopark, Route de Nouaceur, Angle RS 114 et CT 1029, Casablanca (Maroc)
 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
 edif@wanadoo.fr

© SFC 2003 - Tous droits réservés
 Dépôt légal : juin 2003

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 2003 - L'ACTUALITÉ CHIMIQUE

(11 numéros par an)
Particuliers : France 85 € - Étranger 90 €
Institutions : France 183 € - Étranger 195 €
Membres de la SFC : 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
 Prix de vente au numéro : 18 € (port inclus)

Editorial	2
Le politique et la chimie, par B. Sillion	2
Comment ça marche ?	3
Les peintures antisalissures marines, par A. Périchaud	
Recherche	7
Le 3 ^e Rapport sur la science et la technologie de la Commission européenne décrypte le « paradoxe européen », par G. Schorsch	7
Devenir et comportement de l'herbicide Isoxaflutole dans l'environnement. Études en conditions contrôlées et en conditions naturelles, par E. Beltràn	10
Industrie	18
Minnesota Mining Manufacturing (3M) : un centenaire qui se porte bien, par G. Schorsch	18
Enseignement	24
<i>Les travaux pratiques</i>	
Synthèse et formulation d'un vernis polyuréthane bactéricide, par N. Destais-Orvoën	24
Histoire de la chimie	30
« Ingénieur-chimiste »... ou « ingénieur chimiste » ?, par F. Cœuret	30
La construction du concept d'équilibre chimique, par A. Dumon	37
Chimie francophone	47
La coopération entre la Suisse et le Vietnam pour l'environnement, par C. Brassaud	47
Sociétés savantes	51
La SF2M, Société Française de Métallurgie et des Matériaux	51
En direct de l'UIC	52
Informations générales	53
Livres et médias	57
Manifestations	61
Calendrier	61
Activités de la SFC	62
Courrier des lecteurs	63

Index des annonceurs

ChemPhysChem II^e de couv. EDIF III^e de couv. EDP Sciences p. 6

Nous remercions vivement notre imprimeur SPEI, qui nous a fourni la photo de couverture.

Le politique et la chimie

La chimie est perçue, et c'est là un de ses paradoxes, de deux manières par le politique selon sa position. Au niveau de l'État, elle apparaît brillante : 2^e producteur européen, 5^e producteur mondial, fortement exportatrice, 2 000 entreprises, 240 000 emplois dont 77 % en PME-PMI, donc tout va bien ! Au niveau de la commune ou de la circonscription..., il y a l'usine... et l'on vit dans la crainte de l'incident.

Le colloque parlementaire « Améliorer l'image et la valeur de la chimie en France », organisé à l'initiative de Mme Comparini, députée du Rhône et présidente de la région Rhône-Alpes (la 2^e après l'Île-de-France pour l'implantation de sites chimiques), a eu l'immense mérite de mettre en perspective ces deux visions. Des représentants au plus haut niveau de la grande industrie ont expliqué leurs résultats et les voies et moyens employés pour que la sûreté des installations industrielles ne soit pas une source d'inquiétude pour les populations, donc pour les élus locaux.

Le colloque n'a cependant pas totalement répondu à la question de l'amélioration de l'image de la chimie dans le public. Pourquoi ? On peut comparer la chimie à un immense iceberg : la partie visible, c'est son image actuelle ; celle que le public perçoit : la chimie lourde, avec ses usines en site périurbain. Améliorer cette image, c'est bien ; mais faire connaître la partie cachée de la chimie, la plus importante, celle qui discrètement met au point des produits et objets qui améliorent la qualité de la vie, est une action indispensable pour donner une image complète et correcte de cette science.

Il est certes souhaitable que le politique soit convaincu que ce qui constitue la part visible de l'iceberg est géré de manière rigoureuse par ceux qui en ont la charge ; mais si l'on veut préserver l'avenir, et faire en sorte que les jeunes se sentent attirés par les études scientifiques et par la chimie en particulier, il faut que le

monde politique et l'ensemble de la population sachent combien la vie quotidienne est dépendante de la chimie.

En décembre 1999, nous avons publié avec le CNRS un numéro spécial de *L'Actualité Chimique* intitulé « Chimie et vie quotidienne », dans lequel nous déclinions les rôles le plus souvent discrets, pour ne pas dire masqués, mais néanmoins indispensables joués par la chimie en médecine, dans les technologies de communication, dans les transports, l'habillement, les loisirs, pour la sauvegarde de l'environnement etc. Mais là encore, nous prêchions pour un public de fidèles déjà convaincus et malheureusement, notre audience et son impact sont peu importants au-delà de lecteurs initiés.

C'est aux sociétés savantes et aux grands organismes de recherche qu'il incombe de faire une importante démarche de communication vers un public plus large pour montrer qu'il n'y a pas d'innovation sans recherche et sans industrie pour les développer. Cette opération de communication pourrait prendre la forme de journées itinérantes dans les régions sur des thèmes comme « Chimie et bien-être physique », « Chimie et confort », « Chimie et technologies de pointe », « Chimie et environnement, la chimie du futur »... Bien entendu, ces journées doivent être ouvertes à un public large. Cette idée a reçu un accueil favorable en région Rhône-Alpes où l'on attend des propositions concrètes. Pour cela, la SFC a pris des contacts avec l'UIC, Chimie et Société et le CNRS pour établir un large partenariat.

Nous pensons que sans cette information d'une grande rigueur scientifique mais ouverte à tous, dans le style de l'« Université de tous les savoirs », la chimie risque de rester dans les esprits un jeu d'apprentis sorciers.

Bernard Sillion
Rédacteur en chef

Appel à candidatures

Bernard Sillion souhaitant quitter ses fonctions avant la fin de cette année, les personnes bénévoles intéressées par le poste de rédacteur en chef sont priées de faire part au plus tôt de leur candidature à la rédaction (*L'Actualité Chimique*, 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris).

Les peintures antisalissures marines

Alain Périchaud

Summary

Antifouling processes

Fouling is the growth of marine organisms, for example barnacles, mussels and algae on immersed surfaces. It is a natural phenomenon, whose economic consequences are so heavy that they have become unacceptable for the industries concerned. Ultimately ships must be taken from the water and mechanically cleaned to remove this fouling. All commercial antifouling processes are based on the leaching of biocides from painted surfaces. The main biocides in use today are triorganotin (TBT) and cuprous oxide derivatives. But, because of environmental problems, the International Maritime Organization proposes to ban the use of TBT antifouling throughout the world by 1st January 2003.

Mots-clés Key-words

**Salissures marines, film bactérien, peinture, liant, environnement.
Fouling, biofilm, paint, binder, environment.**



Figure 1 - Voilier au carénage.

La lutte contre les salissures biologiques (« fouling ») qui se déposent sur les carènes des navires (*figure 1*) et plus généralement sur toutes les structures immergées date de plus de 2 000 ans. Les Grecs utilisaient des clous en cuivre, d'autres des revêtements de goudron... Bien que de technicité plus complexe, les peintures antisalissures marines employées aujourd'hui procèdent du même principe : libérer à la surface du matériau que l'on souhaite protéger une substance toxique pour les organismes animaux et végétaux qui souhaitent s'y fixer.

Bien que dans l'industrie des peintures, ce type de produit ne soit pas le plus répandu, nombre de sociétés importantes le commercialisent. Parmi les plus grands fabricants mondiaux, on peut citer SigmaKalon (www.sigmacoatings.com),

Akzo Nobel's International Paint (www.yachtpaint.com), Hempel (www.hempel.com), Jotun (www.jotun.com) et Chugoku Marine Paints (www.cmp.co.jp). D'autre part, la liste des fabricants en France peut être consultée sur le site Internet de la Fédération des Industries des Peintures, Encres, Couleurs, Colles et Adhésifs (www.fipec.org/listes-fabricants/fab-p-marine.html).

Les méfaits de la salissure marine

Le « fouling » des surfaces immergées [1] se traduit par le dépôt de crustacés (balanes, anatifes), de bryozoaires, de mollusques (moules), la présence d'algues (*figure 2*)... On a dénombré plus de 4 000 espèces responsables des salissures de carènes. Cela entraîne un accroissement de charge pour le navire et une entrave à son déplacement. Pour maintenir sa vitesse, la consommation de carburant doit être plus importante [2]. Le « fouling » est aussi un facteur important de corrosion du revêtement des coques de navires. Le nettoyage des carènes et la remise en état ont également des répercussions économiques importantes.



Figure 2 - Dépôts d'organismes marins constituant le « fouling ».

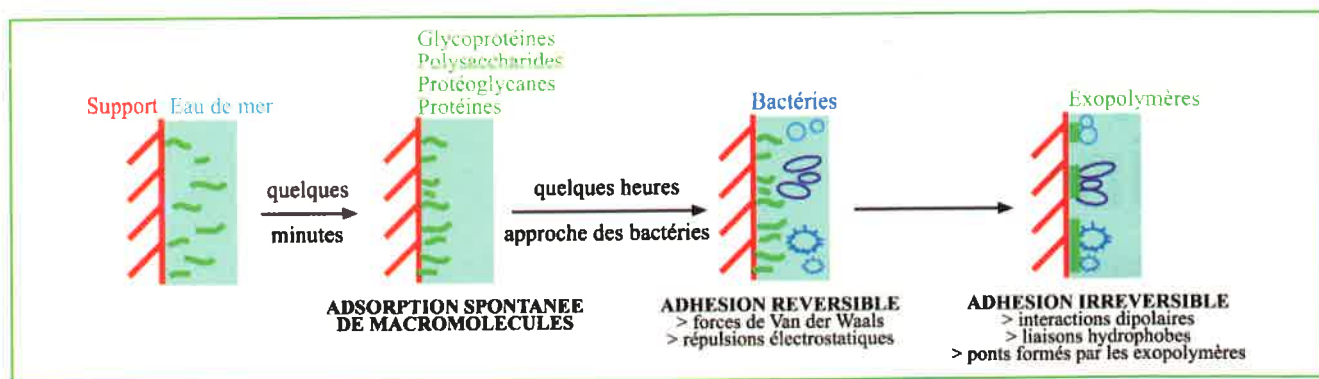


Figure 3 - Modifications biologiques de la surface immergée.

Les organismes responsables de la salissure marine

Les caractéristiques de la surface interviennent de manière importante dans le processus d'adhésion bactérienne : elles sont de nature physico-chimique, physique ou biologique. La rugosité de la surface [3] est une caractéristique physique qui joue un rôle prépondérant : elle peut fournir un accroissement des surfaces disponibles pour l'attachement des bactéries, créer des zones où les cellules attachées sont protégées contre les forces érosives des courants turbulents ou contre les abrasions, et peut accroître les courants convectifs au voisinage de la surface.

Les modifications de nature biologique de la surface sont dues au fait que, lorsqu'on plonge une surface solide dans un environnement aquatique, il se produit en quelques minutes une adsorption spontanée de matériel non vivant, d'ions et de macromolécules (protéines, glycoprotéines, protéoglycans, polysaccharides) [4] (figure 3). Cette adsorption peut être un processus sélectif, ce qui va changer la charge et les caractéristiques de la surface. Le film macromoléculaire adsorbé fournit aux bactéries une source de carbone et d'énergie, ce qui va leur permettre de coloniser rapidement ces surfaces [5].

Les forces à longue distance établissent une adhésion réversible des bactéries. Au bout de quelques heures, l'adhésion devient irréversible grâce à la réalisation d'un pont de polymères extracellulaires (glycocalyx, exopolymères, polysaccharides, protéines...) entre les bactéries et la surface. L'adhésion des bactéries est influencée par différents facteurs comme l'accessibilité et la concentration des nutriments, le pH et la température de l'eau, la concentration en électrolytes, les flux de particules en suspension et par les propriétés physico-chimiques de la surface [6]. Lors de la production du biofilm, le processus se poursuit : les bactéries attachées produisent de nouvelles cellules, du matériel extracellulaire et simultanément de nouveaux types de micro-organismes s'attachent (figure 4). Les colonisateurs initiaux sont souvent des bâtonnets et des diatomées. Ceux-ci sont habituellement suivis par un accroissement des effectifs et de la diversité des types bactériens, des algues, des champignons et des protozoaires [7].

La présence de films bactériens peut aussi influencer la fixation et l'attachement des algues unicellulaires et des macro-algues [8].

Cependant, cette succession bien précise d'événements est controversée : les macrosalissures ne sont pas forcément

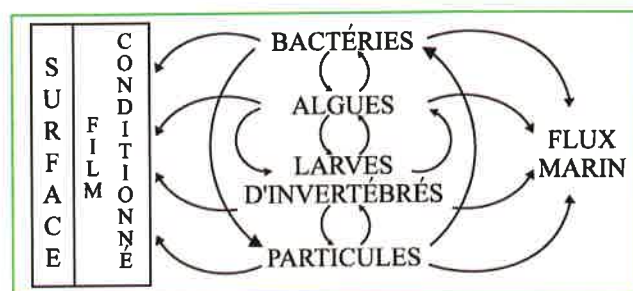


Figure 4 - Modèle dynamique de développement de salissures.

l'étape finale et le modèle précédent n'est pas généralisable [9]. En effet, des larves d'invertébrés peuvent s'accrocher quelques heures à peine après l'immersion. Toutefois, même d'après ce modèle dynamique de développement des salissures, les bactéries sont parmi les premiers colonisateurs [10].

Mode d'action des peintures antisalissures

On distingue généralement trois types de peintures antisalissures marines [11] :

Peintures à matrice dure

Ces peintures comportent généralement des liants de type vinylique. Ce sont les plus anciennes mises sur le marché. Leurs fortes propriétés mécaniques permettent d'appliquer de fines couches. Le biocide est généralement de l'oxyde de cuivre (« copper paint »). Le liant étant insoluble dans l'eau de mer, le biocide incorporé migre lentement à la surface. La vitesse de relargage décroît de manière exponentielle. L'augmentation progressive de la rugosité du feuillet de peinture favorise le développement des salissures. L'efficacité de ces systèmes est en général comprise entre 18 et 30 mois.

Peintures à matrice érodable

Elles sont formulées en mélangeant un polymère insoluble et un liant soluble dans l'eau (la colophane par exemple). Le revêtement va se désagréger lentement dans l'eau, libérant progressivement le biocide. Ce système permet d'atteindre des durées d'efficacité de l'ordre de 36 mois.

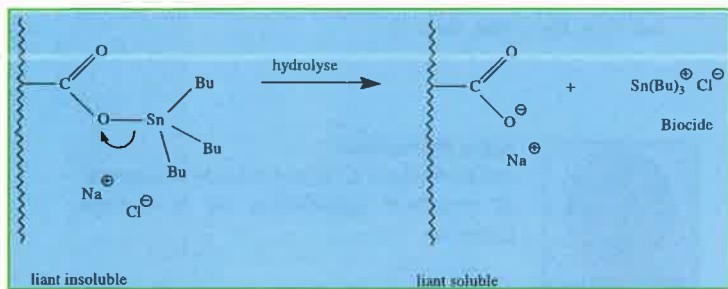


Figure 5 - Mécanisme d'hydrolyse des polyacrylates de tributylétain.

Matrices autopolissantes

Ce sont des revêtements à base de copolymères organométalliques, essentiellement d'acrylate de tributylétain (TBT) ou de cuivre, appliqués en couches épaisses (de l'ordre de 400 μsec). Le biocide est lié par l'intermédiaire d'une liaison ester au copolymère acrylique. Ce liant est insoluble dans l'eau, mais après rupture de la liaison ester due à un mécanisme combiné d'hydrolyse et d'échange ionique (figure 5), le biocide va se libérer lentement et le copolymère deviendra alors progressivement soluble dans l'eau. Après sa disparition, une nouvelle couche d'acrylate de TBT apparaîtra à la surface de la peinture qui est ainsi régénérée (on parlera de « self-polishing » ou de peinture autopolissante). La vitesse d'hydrolyse soigneusement contrôlée permettra une efficacité antisalissure de la peinture sur quelques années. Ce type de peinture est employé pour les gros navires.

Selon le type d'embarcation, la fréquence d'utilisation, la durée d'efficacité du revêtement, le prix..., l'utilisateur choisira parmi ces trois types de peintures marines (figure 6).

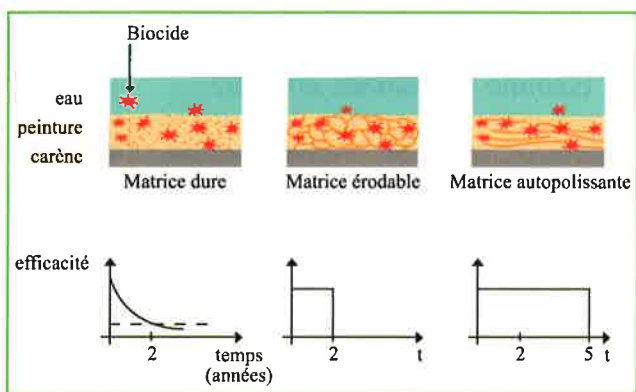


Figure 6 - Matrices dure, érodable, autopolissante et leurs efficacités dans le temps.

Les dégâts provoqués par les peintures marines antisalissures

De 1976 à 1981, les activités ostréicoles ont été très fortement perturbées sur le bassin d'Arcachon. Les huîtres *Crassostrea gigas* présentaient des malformations de la coquille (chambrage se traduisant par une augmentation de l'épaisseur de la valve supérieure). De plus, un amaigrissement des mollusques dépréciait leur valeur marchande (figure 7). Le captage naturel du naissain qui assure le renouvellement des stocks en élevage était devenu pratiquement



Figure 7 - Malformations de la coquille d'huître.

inexistant. Cela eut pour conséquence une très forte baisse de la production d'huîtres et la disparition de la moitié des entreprises conchyliques. Une maladie apparue chez les escargots de mer, l'imposex, affecte les organismes femelles qui développent un appareil reproducteur mâle, ce qui les rend stériles. Les mêmes phénomènes ont été observés sur les huîtres récoltées dans la région du port de La Rochelle où, comme à Arcachon, la plaisance s'était fortement développée (présence de marinas).

Rapidement, les composés organostanniques contenus dans les peintures antisalissures ont été mis en cause [12]. En 1980, des tests d'écotoxicologie sur des embryons et des larves de *Crassostrea gigas* ont permis de démontrer que l'utilisation de ces composés était dangereuse en zone conchylicole : au-dessus de $1 \mu\text{g.L}^{-1}$, les larves présentent un développement anormal et meurent en quelques jours [13].

Par décret en date du 17 janvier 1981, le ministère de l'Environnement français a interdit l'usage des peintures antisalissures à base d'organoétains pour les bateaux de moins de 25 mètres de long dans les départements riverains de la Manche et de l'Atlantique. Cette mesure a été ensuite élargie à toutes les côtes et reprise dans une directive européenne, puis progressivement adoptée par les pays d'Amérique du Nord, de l'Asie, etc.

Pour le bassin d'Arcachon, l'application de la réglementation a eu un effet bénéfique considérable, favorisant trois ans après, grâce à l'importation d'huîtres du Japon, le retour à des conditions de production ostréicole satisfaisantes.

Les avancées dans le domaine

Les recherches sont très actives afin de mettre au point des revêtements antisalissures efficaces, respectueux de l'environnement et d'un prix abordable. Polyacrylates de cuivre ou de zinc, revêtements anti-adhésifs à basse énergie de surface (élastomères de silicone, époxy fluorés), biocides analogues à ceux émis par certains organismes marins (éponge de mer, corail, tunicate), polymères bactéricides, sont autant de pistes étudiées aussi bien par des laboratoires de recherche que de puissantes compagnies internationales.

Là encore, la réglementation, interdisant l'utilisation de TBT et obligeant à trouver un substitut, joue un rôle moteur dans la recherche et l'innovation.

Références

- [1] Relini G., *Oebalia*, 1993, 19, p. 103.
 [2] Dawans F., *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 1982, 37, p. 767.
 [3] Bennet J.M., Jahanmir J., Podlesny J.-C., *Appl. Opt.*, 1995, 34, p. 213.
 [4] Wahl M., *Marine Ecology Progress Series*, 1989, 58, p. 175.
 [5] Bianchi M., Marty D., Bertrand J.-C., Caumette P., *Micro-organismes dans les écosystèmes océaniques*, Masson, Paris, 1989.
 [6] Lappin-Scott H.M., Costerton J.W., Marrie T.J., *Encyclopedia of Microbiology*, 1992, 1, p. 277.
 [7] Callow M.E., *Biofouling*, 1993, 7, p. 313.
 [8] Cooksey K.E., Wigglesworth-Cooksey B., *Biofilms-Science and Technology*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1992.
 [9] Roberts D., Rittschof D., Holm E., Schmidt A.R., *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 1991, 150, p. 203.
 [10] Clare A.S., Rittschof D., Gerhart D.J., Maki J.S., *Invertebrate Reproduction and Development*, 1992, 22, p. 67.
 [11] Kjaer E.B., *Progress in Organic Coatings*, 1992, 20, p. 339.
 [12] His E., Robert R., *Intern. Counc. Explor. Sea Comm. Meet, Mariculture Comm. Copenhagen*, 1980.
 [13] Alzieu C., Héral M., Thibaud Y., Dardignac M.J., Feuillet M., *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.*, 1980, 45, p. 16.



Alain Périchaud

est professeur à l'Université de Provence* et directeur scientifique de la société Catalyse.

* Laboratoire de chimie macromoléculaire, case 55, Université de Provence, 3 place

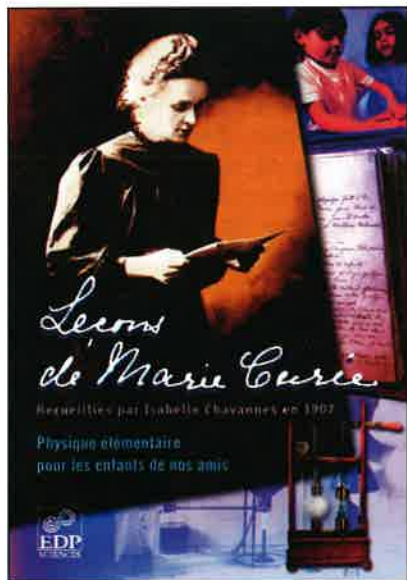
Victor Hugo, 13331 Marseille Cedex 3.

Tél. : 04 91 87 93 60.

E-mail : polymere@up.univ-mrs.fr



NOUVEAUTÉ



Leçons de Marie Curie Recueillies par Isabelle Chavannes en 1907

Voici un document exceptionnel, retrouvé par miracle dans une cave : il livre les comptes-rendus de cours élémentaires de physique, que Marie Curie donna en 1907 à sa fille Irène et aux enfants de ses collègues dans le cadre d'une « coopérative d'enseignement ».

Marie Curie a imaginé elle-même ces leçons, destinées aux enfants d'une dizaine d'années. Claires, inventives, amusantes, elles reposent sur le questionnement et l'expérimentation.

Préface d'Yves Quéré,
Membre de l'Académie des Sciences.
Postface d'Hélène Gispert,
Historienne des Sciences

2-26883-635-6 • 128 pages • 12,90 €

EN VENTE EN LIBRAIRIE

Le 3^e Rapport sur la science et la technologie de la Commission européenne décrypte le « paradoxe européen »

Gilbert Schorsch

Le rapport publié par les services de la Commission équivaut à celui établi périodiquement par la *National Science Foundation* aux États-Unis. Il rassemble des données et compare les moyens de R & D mis en œuvre dans les diverses régions ou pays, ainsi que les résultats obtenus, des publications aux échanges commerciaux en passant par les brevets.

Ce volumineux rapport de 450 pages vise principalement une comparaison entre la situation européenne et celle de ses principaux concurrents mondiaux, États-Unis et Japon essentiellement.

Pour présenter le travail et synthétiser la masse des informations recueillies, Philippe Busquin, Commissaire général responsable de la recherche, avait demandé à ses services de synthétiser les conclusions essentielles du rapport sous la forme de 12 fiches. Il les a encore résumées sous trois points essentiels lors de sa conférence de presse du 17 mars dernier à Bruxelles.

Les tableaux produits dans cet article ont été établis à partir du rapport de la Commission.

L'Europe, une bonne école de formation

En matière de **formation** d'abord, c'est l'Europe qui a formé en 2000 le plus grand nombre de diplômés de l'enseignement supérieur (2 143 500, dont 26 % de formation scientifique et technologique (S & T)), devant les États-Unis (2 066 595, dont 16,9 % seulement de S & T) et le Japon

(1 107 332, dont 21,2 % de S & T) (tableau I). Le déséquilibre entre scientifiques et technologues formés au Japon est flagrant. Serait-il à la base des difficultés qu'éprouve ce pays à récolter les fruits des investissements énormes qu'il consacre pourtant à la R & D ?

En Europe, c'est la Grande-Bretagne qui attire, de loin, le plus grand nombre d'étudiants étrangers dans l'enseignement supérieur. Le taux d'étudiants venant d'autres pays y est de plus du double de celui de la France, qui attire essentiellement des étudiants africains. L'Allemagne se situe entre ces deux pays et ce sont les étudiants asiatiques qui y sont majoritaires (tableau II). Mais c'est la France qui forme le plus de scientifiques et de technologues (151 439), devant l'Angleterre (125 621) et largement devant l'Allemagne (80 045).

qui consacre une part insuffisante à la R & D

Si l'on passe maintenant en revue les **moyens consacrés à la recherche** dans les trois grandes régions, on constate que les États-Unis rattrapent l'Europe – pour le nombre de docteurs de classe d'âges 25-34 ans – voire la dépassent – pour les dépenses de recherche par rapport au PIB (tableau III). La capacité d'attraction de jeunes, formés en Europe... et surtout en Asie, pour passer leur doctorat aux États-Unis, permet à ces derniers de combler leur retard : 15 % des doctorants étrangers diplômés y sont d'origine européenne. Il ressort de l'étude, qu'entre 1991 et 2000,

Tableau I - La formation supérieure.

	Nombre total de diplômés de l'enseignement supérieur (million)	Diplômes scientifiques et technologiques	Diplômes scientifiques Total des diplômés (%)	Diplômes technologiques Total des diplômés (%)
Europe	2,14	555 647	12	14
États-Unis	2,07	348 549	9	8
Japon	1,10	234 829	2	19

Tableau II - L'attractivité des formations européennes.

	Part des étudiants étrangers dans le système éducatif national (%)	dont
Grande-Bretagne	14,4	6,0 en provenance d'Europe
Belgique	10,9	6,0 en provenance d'Europe
Allemagne	8,5	3,0 en provenance d'Asie
Suède	7,8	4,0 en provenance d'Europe
France	6,4	3,2 en provenance d'Afrique et seulement 1,4 d'Europe

Tableau III - L'effort de R & D (données 2000).

	Nombre de docteurs pour 1 000 personnes (classe d'âges 25-34 ans)	Dépenses de R & D par rapport au PIB (%)	dont part des entreprises
Europe	0,42	1,93	56,3
<i>dont France</i>	<i>0,65</i>	<i>2,13</i>	<i>54,1</i>
États-Unis	0,41	2,67	66,8
Japon	0,25	2,98	72,2

Tableau IV - Publications et brevets.

Biotechnologies		
	Nombre de publications	Part des brevets (%)
Europe des 15	348 935	27,8
États-Unis	345 206	51,9
Japon	<i>n.r.</i>	9,9
Nanotechnologies		
	Part des publications	Part des brevets (%)
Europe des 15	34 %	39
États-Unis et Canada	28 %	45

15 158 thèses ont été passées par des étudiants d'origine européenne – 4 000 Allemands, 3 000 Anglais et 1 400 Français principalement. Mais, constat inquiétant, 75 % de ces doctorants d'origine européenne restent définitivement aux États-Unis. La raison ? : les États-Unis offrent aux scientifiques étrangers des postes de travail et des opportunités de carrière qu'ils ne trouvent plus – pour les Européens – ou pas encore – pour les Asiatiques qui représentent 84 % des thésards étrangers, dont 37 900 Chinois et 30 100 Indiens. Plus globalement, on estime à 400 000 le nombre de diplômés de S & T d'origine européenne travaillant actuellement aux États-Unis sur un total de 11 millions de postes en S & T. Ce creuset serait actuellement bien utile à l'économie européenne qui vise de passer de 2 à 3 %, d'ici 2010, sa part de R & D par rapport au PIB. C'est le « brain drain » chiffré et la raison pour laquelle les pays européens, en liaison avec la Commission, étudient la mise en place de « facilités de retour » pour ces expatriés.

et doit améliorer la cohérence des objectifs entre les entreprises et la recherche publique

Le rapport fournit d'ailleurs la raison du manque d'attractivité du « site Europe ». Elle peut se résumer à un « déphasage » entre les principaux acteurs, industriels et universitaires. Pour le démontrer, la Commission a choisi deux domaines

« à la mode », les biotechnologies et les nanotechnologies. Dans les deux domaines, le nombre des publications européennes se compare favorablement à celles d'origine américaine : il est sensiblement du même ordre de grandeur dans les biotechnologies et nettement supérieur dans les nanotechnologies. Mais lorsque l'on compare maintenant les brevets sur lesquels débouchent les connaissances acquises lors de ces recherches, la situation s'inverse. Dans les biotechnologies, le nombre de brevets américains représente presque le double de celui des brevets européens, et la situation se dégrade progressivement : entre 1992 et 1999, la part des brevets américains a augmenté au rythme de 19 %/an pendant que celle de l'Europe baissait de 12 %/an ! Dans les nanotechnologies, pourtant affichées comme une priorité dans le 6^e Programme Cadre, la situation s'est également inversée, malgré les bonnes performances de l'Allemagne (tableau IV). L'effort des pouvoirs publics dans ce domaine était-il déterminant et suffit-il à expliquer l'inversion du classement (184 milliards d'euros en Europe contre 270 aux États-Unis) ?

Nous ne le pensons pas, car un constat s'impose à l'examen des divers tableaux : **les industriels européens sont nettement moins impliqués dans le financement de la R & D que leurs homologues américains**, voire japonais – qui le sont peut-être trop, sans toujours disposer des bases scientifiques nécessaires (voir ci-avant). **L'adéquation entre les connaissances disponibles et les besoins des marchés est-elle assurée de manière satisfaisante en Europe ?** Le rapport ne répond pas directement à la question. Mais l'examen de la production scientifique des universités européennes y répond. En effet, le rapport procède à une analyse des publications selon trois critères successifs (nombre de publications, nombre de citations et taux d'impact), qui passent dans l'ordre du quantitatif au qualitatif. Le tableau V montre que le classement se modifie de manière significative selon ces trois critères. La pertinence des informations publiées est certainement plus intéressante que le nombre des publications. A cet aune, Cambridge, l'Université Technique de Munich et l'Université Louis Pasteur de Strasbourg détrônent respectivement l'University College de Londres, la Ludwig-Maximilian Universität de Munich et Pierre et Marie Curie à Paris, pour ne citer que les plus représentatives. La spécialisation, telle que la pratiquent l'Université Technologique d'Eindhoven et l'Université Catholique de Louvain-la-Neuve, qui figurent au tableau des taux d'impact, est certainement une preuve d'efficacité de leur recherche, que les industriels peuvent ainsi exploiter au mieux.

Des tableaux montrant les efforts des grands groupes en matière de R & D sont rassemblés dans le rapport. Nous

Tableau V - Classement des universités européennes suivant leurs publications, citations et taux d'impact.

Rang	Nombre de publications	Nombre de citations	Taux d'impact
1	University College (Londres, GB)	University College (GB)	Cambridge (GB)
2	Pierre et Marie Curie (Paris, F)	Karolinska Institute (S)	Eindhoven Univ. of Technology (PB)
3	Université de Milan (I)	Pierre et Marie Curie (Paris)	Univ. Technique de Munich (All.)
4	Université de Lund (S)	Université de Leiden (PB)	Louis Pasteur (Strasbourg, F)
5	Ludwig-Maximilian Universität (Münich, All.)	Ludwig-Maximilian Universität (Münich, All.)	Univ. Catholique de Louvain-la-Neuve (B)

Tableau VI - La place des entreprises chimiques et pharmaceutiques européennes (partie de gauche) et des entreprises françaises, tous secteurs confondus (partie de droite), dans le classement des 50 premiers budgets R & D mondiaux.

Rang	Sociétés européennes		Rang	Sociétés françaises
5	GlaxoSmithKline	GB	7	Alcatel
6	Astra Zeneca	GB	11	Renault
10	Bayer	All.	14	Peugeot
16	BASF	All.	20	Aérospatiale
17	Aventis	F	22	ST Microelectronics
24	Boehringer Ingelheim	All.	27	Snecma
25	Sanofi-Synthelabo	F	32	Michelin
28	Akzo Nobel	S	35	Valeo
31	TotalFinaElf	F	40	Alstom
32	Merck	All.	42	Schneider
43	BP Amoco	GB	46	France Telecom
48	Shell	GB	49	Thales
51	Solvay	B	50	L'Oréal

avons résumé le classement des sociétés chimiques européennes selon l'importance du budget R & D dans le *tableau VI*, ainsi que celui des sociétés françaises, toutes activités confondues. Il apparaît que 13 des 50 premiers budgets de R & D sont dépensés dans la pharmacie (Glaxo, Astra Zeneca, Aventis, Sanofi, Merck...) et la chimie (Bayer, BASF, AKZO, BP, Shell, Solvay... dans l'ordre). Hors chimie, 13 sociétés françaises occupent de bonnes positions dans le palmarès des 50 premiers budgets européens de R & D, essentiellement dans l'automobile, la microélectronique et les télécommunications. Le reproche du manque d'implication des industriels s'adresse probablement davantage aux PME. Mais il est difficile pour le moment de disposer d'informations à ce sujet.

Nous n'avons bien sûr « exploité » qu'un nombre limité d'informations d'un rapport qui fait également une analyse des problèmes de mixité dans les emplois – *le nombre de femmes professeurs d'université est injustement discriminatoire...* – et sur les nouveaux pays qui doivent rejoindre l'Union européenne – *le potentiel de la Pologne et de la Hongrie est bien mis en évidence, en particulier pour la chimie.*

Conclusion

En définitif, ce rapport fournit une illustration et une explication concrètes de ce que l'on a souvent résumé sous la formule lapidaire du « paradoxe européen ». L'Europe dispose d'équipes de recherche de bonne qualité et qui publient de nombreux articles scientifiques. Mais les entreprises du « vieux continent » sont incapables de transformer les connaissances acquises dans ses laboratoires en innovations commercialisables, et donc en emplois. Manque de pertinence pour les premiers, et de volonté stratégique pour les autres. Tel paraît le constat à l'examen du rapport.

Les remèdes résultent de l'extrapolation des informations de ce rapport :

- **retenir et offrir de meilleures conditions de travail aux « expatriés européens »** : des possibilités intéressantes de retour sont en cours d'étude ;
- **assurer une meilleure concertation entre scientifiques et industriels européens** pour qu'ils travaillent mieux de concert sur les vrais besoins de la société civile : les pistes concrètes seront plus difficiles à identifier car ce n'est pas qu'un simple problème de moyens mis en œuvre. Les mentalités doivent évoluer aussi !



Gilbert Schorsch

est conseiller Recherche-Innovation à l'UIC Ile-de-France.

* Contact : *L'Actualité Chimique*,
250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris.
Tél. : 01 40 46 71 64. Fax : 01 40 46 71 61.
E-mail : ac@sfc.fr

Numéros à thème à venir

Les biomatériaux

Juillet 2003

Les isotopes stables

Août-septembre 2003

La chimie dans les sciences médicales

Novembre-décembre 2003

Devenir et comportement de l'herbicide Isoxaflutole dans l'environnement

Études en conditions contrôlées et en conditions naturelles

Estelle Beltràn

Cet article résume la thèse soutenue le 18 décembre 2001 à l'Université Montpellier I qui a valu à son auteur le Prix Phytopharma 2002.

Summary

Fate and behaviour of the herbicide Isoxaflutole in the environment. Studies under controlled and natural conditions

The herbicide Isoxaflutole (IFT) is a new proherbicide recently developed by Bayer CropScience France and used in pre-emergence on maize and sugarcane. Its easy isomerization into a diketone nitrile derivative DKN, which is the effective active substance, occurs in several media. Two supplementary products are supposed to be formed in the natural environment: a benzoic acid derivative BA and an aminomethylidene one, NO. The fate and behaviour of IFT was studied in a soil from Montpellier under natural conditions and under controlled conditions in aqueous media and in several soils. In aqueous solutions, the high reactivity of IFT could be shown; thus, the degradation rate of IFT increased as pH value raised. The DKN derivative was the only compound detected under sterile conditions, whereas both DKN and NO were formed when some soil fungi were added to the aqueous solutions. Studying the adsorption-desorption processes for IFT, DKN and BA and the degradation of IFT in soil under controlled conditions allowed us to precise the effect of parameters such as temperature, moisture content, pH value and organic matter content of the soil, etc. Under natural conditions, IFT, DKN and residues of BA were confined in the topsoil. A new method for BA analysis was also proposed. Experimental results could be described by a model linking retention processes and isomerization of IFT both in aqueous and sorbed states.

Mots-clés

Produit phytosanitaire, Isoxaflutole, isomérisation chimique, dégradation biologique, adsorption-désorption, modélisation, mobilité.

Key-words

Plant protection product, Isoxaflutole, chemical isomerization, biological degradation, adsorption-desorption, modelling, mobility.

Introduction

Contexte général

Le comportement d'un produit phytosanitaire dans l'environnement dépend des processus de transfert, de

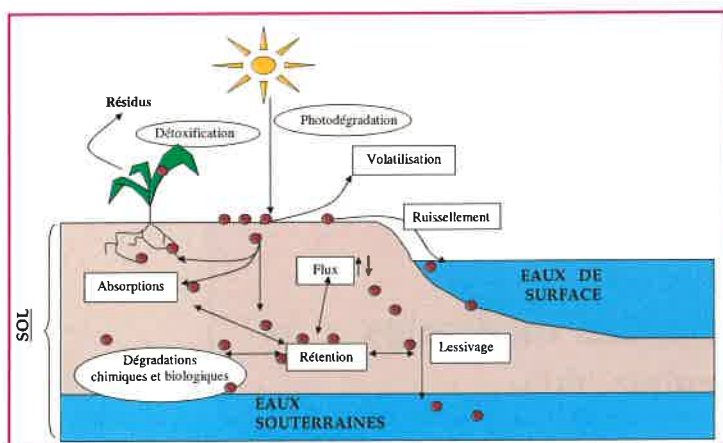


Figure 1 - Comportement général d'un produit phytosanitaire dans l'environnement.

transport et de transformations auxquels il peut être soumis, selon de nombreux mécanismes d'échange entre les différents compartiments air, eau et sol (figure 1). Parmi ces différents processus, citons :

- la volatilisation ;
 - le ruissellement ;
 - le transport vertical hydrodynamique par la phase aqueuse du sol, résultante de flux d'eau descendants et ascendants ;
 - les phénomènes de rétention (adsorption et désorption) ;
 - l'absorption, l'exsudation et la rétention par les plantes, ainsi que l'absorption par les organismes vivants dans le sol ;
 - les transformations abiotiques, dont la photodégradation ;
 - les dégradations biotiques, par métabolisation directe par les micro-organismes et/ou par co-métabolisation...
- Les interactions sont multiples et liées notamment à la nature physico-chimique de la molécule ainsi qu'aux conditions pédoclimatiques.

L'Isoxaflutole (IFT) et ses principaux dérivés

La figure 2 présente l'IFT et ses dérivés DKN, AB et NO, ainsi que leurs principales propriétés physico-chimiques connues.

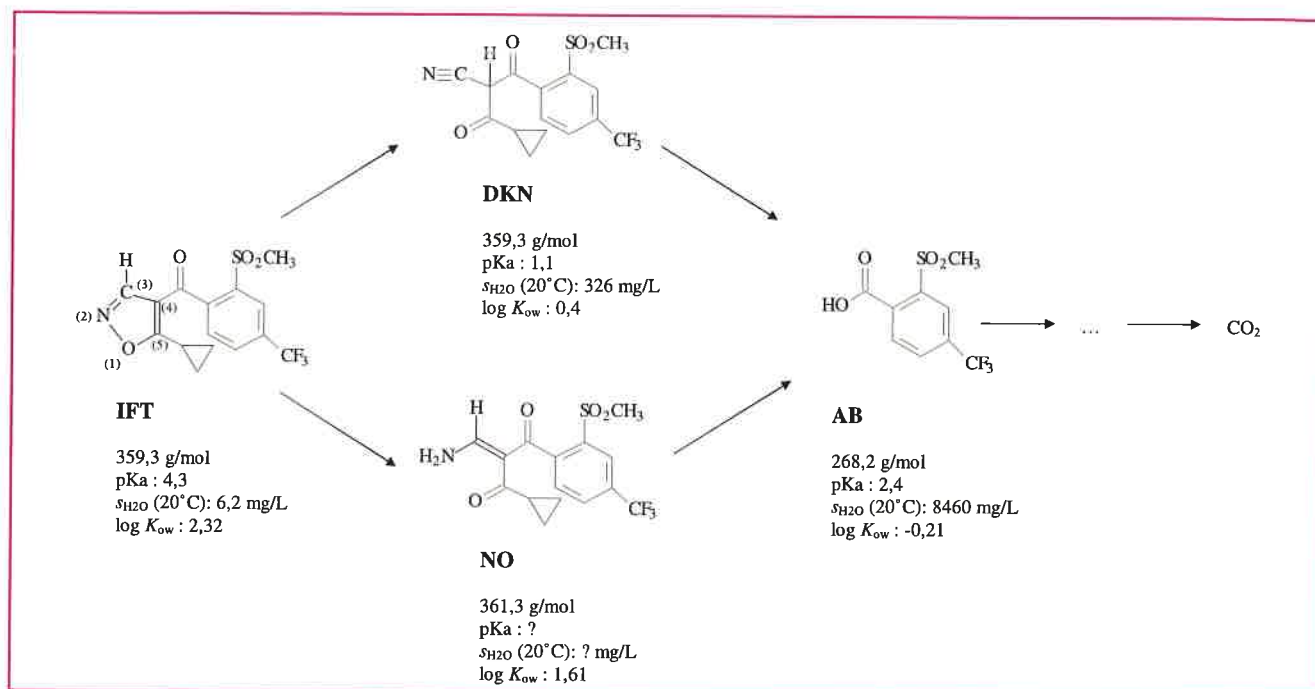


Figure 2 - L'IFT et ses principaux dérivés.

Appliqué en traitement de pré-émergence sur le maïs, l'IFT est un herbicide à action systémique. D'abord absorbé par les racines et les jeunes tiges des adventices, il est véhiculé par le xylème et accumulé par les méristèmes. La véritable substance active, le dérivé DKN, est rapidement formé par ouverture du noyau isoxazole de l'IFT et inhibe l'enzyme *p*-hydroxyphénylpyruvate dioxygénase (4-HPPD), intervenant dans la biosynthèse des quinones, précurseurs des caroténoïdes [1-2]. L'IFT peut être appliqué seul (formulations Emerode[®] et Merlin[®]) ou en mélange avec d'autres substances actives telles que l'Aclonifen (formulations Acajou[®] et Lagon[®]) ou l'Atrazine (formulation Atoll[®]).

L'IFT faisant partie des nouvelles substances actives utilisées en agriculture, il est donc apparu nécessaire d'essayer de déterminer quantitativement les paramètres pouvant avoir une influence sur son comportement général dans l'environnement.

Nous avons étudié, en conditions contrôlées de laboratoire dans un premier temps, les cinétiques de dégradation de l'IFT dans l'eau et dans le sol, ainsi que les processus d'adsorption-désorption de l'IFT, du DKN et de l'AB sur plusieurs sols de propriétés physico-chimiques différentes. Au cours de ce travail de thèse, nous avons également amorcé une approche modélisatrice permettant de prendre en compte simultanément les phénomènes de dégradation et de rétention, et réalisé un essai de suivi en conditions naturelles de plein champ. Les résultats présentés ici concernent les études de dégradation en milieu aqueux et dans le sol, ainsi que les études d'adsorption-désorption.

Matériel et méthode

Préparation des échantillons

Solvants et réactifs

Acétonitrile, méthanol, acétone, eau pour préparations injectables, alcool isopropylique, (triméthylsilyl)-diazométhane 2M dans l'hexane (TMSD), bases et acides divers. Les

standards analytiques (IFT, DKN, AB, NO) de pureté supérieure ou égale à 99 % ont été fournis par Aventis CropScience France (Lyon).

Matériel utilisé

- Agitateurs type « omni-mixer » Coupatan-R.
- Centrifugeuse Sigma Laborzentrifugen type 2-5.
- Agitateur horizontal.
- Évaporateur Zymark Turbovap LV.
- Filtrés Nalgène 0,2 µm.
- Filtrés Nylon 66 0,45 µm.
- Matériels et verrerie classique de laboratoire.

Procédure analytique

La figure 3 résume les différentes méthodes analytiques utilisées tout au long de ce travail. Les échantillons aqueux concernent les solutions tamponnées de l'étude de la dégradation en milieu aqueux ainsi que les surnageants de l'étude d'adsorption-désorption. L'analyse correspondante n'a pas nécessité d'étape de pré-concentration. Les échantillons de sol concernent les substrats solides des études de la dégradation dans le sol en conditions contrôlées et en conditions naturelles : ils ont été extraits deux fois par un mélange de solvants (CH₃CN/H₂O/HCl_{0,1M}, 60/40/0,8 : v/v/v), purifiés, évaporés sous vide puis repris par 3 mL de phase mobile (extrait I) pour analyse chromatographique par HPLC/UV. En raison d'interférences au temps de rétention du dérivé AB, une étape de méthylation a été mise au point pour cette molécule. Une aliquote de l'extrait I a été méthylée en milieu acide par du TMSD à 35 °C sous flux d'azote. L'extrait ainsi obtenu a été repris par 1,5 mL d'acétone (extrait II) et analysé par CPG/ECD et CPG/MS.

Matériel chromatographique

- **HPLC/UV** : appareil équipé d'une pompe Shimadzu LC-10ADVP, d'un injecteur automatique SIL-10ADVP (boucle de 20 µL) et d'un détecteur Shimadzu SPD-10AVP, bilongueur d'onde.

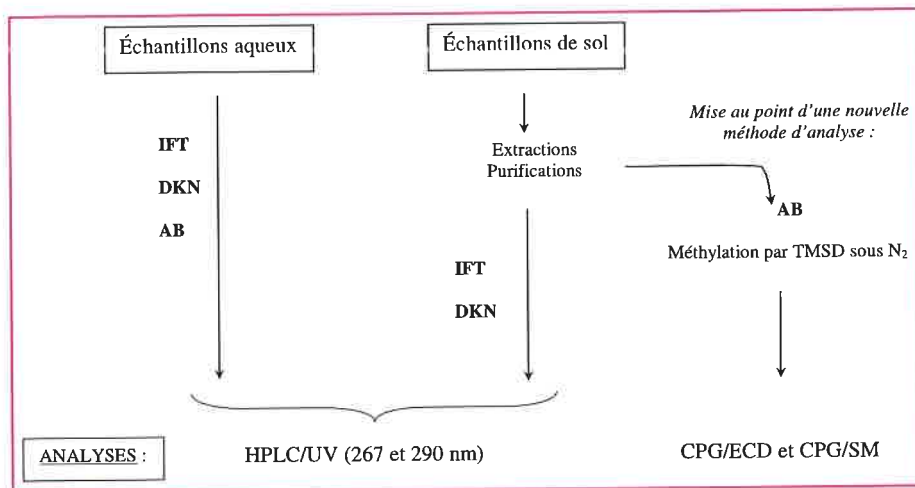


Figure 3 - Schéma résumant les différentes méthodologies utilisées.

- Longueurs d'onde utilisées : 267 et 290 nm.
- Phase stationnaire : colonne C18 Hypersil ODS 5 μm , 250 \times 4,6 mm (Supelco).
- Phase mobile : $\text{CH}_3\text{CN}/\text{H}_2\text{O}/\text{CF}_3\text{COOH}$ (48/52/0,5 : v/v/v), mode isocratique.
- Débit : 1 mL/min.
- Enregistrement et traitement des données : logiciel *Star* de Varian.

Dans ces conditions d'analyse, les temps de rétention de l'IFT, du DKN, du NO et de l'AB étaient respectivement de 14,6 ; 13,7 ; 7 et 4,9 min.

- **CPG/ECD** : chromatographe en phase gazeuse Varian 3350 équipé d'un détecteur à capture d'électrons ^{63}Ni .
- Gaz vecteur : N_2 U, débit : 1,5 mL/min.
- Phase stationnaire : colonne capillaire 15 m \times 0,25 mm DB-1701 [(14 % cyanopropylphényl)-méthylpolysiloxane] ; épaisseur du film 0,25 μm (J & W Scientific).
- Température de l'injecteur : 185 $^\circ\text{C}$ (mode splitless) ; température du détecteur : 300 $^\circ\text{C}$; programmation de température : de 90 $^\circ\text{C}$ (1 min.) à 240 $^\circ\text{C}$ (25 min.) à raison de 15 $^\circ\text{C}/\text{min}$.
- Enregistrement et traitement des données : logiciel *Chemstation* de Hewlett Packard.

Dans ces conditions d'analyse, le temps de rétention de l'AB-méthylé était de 10,85 min.

- **CPG/SM** : chromatographe en phase gazeuse HP 5890 Series II équipé d'un détecteur de masse HP 5971 (détection en mode SIM).
 - Gaz vecteur : He 5.5 ; débit : 1,5 mL/min.
 - Phase stationnaire : colonne capillaire 30 m \times 0,25 mm DB-5 [(5 % diphényl)/(95 % diméthylsiloxane)] ; épaisseur de film 0,25 μm (J & W Scientific).
 - Température de l'injecteur : 175 $^\circ\text{C}$ (mode splitless) ; température du détecteur : 280 $^\circ\text{C}$; programmation de température : de 90 $^\circ\text{C}$ (1 min.) à 235 $^\circ\text{C}$ (15 min.) à raison de 20 $^\circ\text{C}/\text{min}$.
 - Enregistrement et traitement des données : logiciel *MSChemstation* de Hewlett Packard.
- Dans ces conditions d'analyse, le temps de rétention de l'AB-méthylé était de 8,29 min.

Les critères de qualité des différentes étapes de préparation des échantillons et d'analyse ont été vérifiées (spécificité, stabilité des solutions, répétabilité, reproductibilité, linéarité, taux de recouvrement, limites de détection et de quantification...).

Dégradation de l'IFT dans l'eau et dans le sol

Dégradation dans l'eau

Protocole expérimental

Après avoir vérifié que la concentration initiale en IFT (milieux aqueux) n'affectait pas les valeurs des constantes de vitesse, nous avons fixé la concentration initiale d'IFT à 10 mg/L. Les échantillons ont été maintenus à température constante, à l'obscurité, en flacons bruns hermétiquement fermés et régulièrement agités. Pour l'étude en conditions abiotiques, plusieurs paramètres ont été étudiés : l'influence du pH (valeurs comprises entre 1,8 et 10,1), de la température (20 $^\circ\text{C}$, 35 $^\circ\text{C}$ et 50 $^\circ\text{C}$), de la composition de la solution tamponnée (tampons organiques/inorganiques). Les prélèvements ont été réalisés en

atmosphère stérile (proximité de la flamme d'un bec bunsen). Pour l'étude en conditions non stériles, l'influence de la présence d'une bactérie (*Stenotrophomonas maltophilia*) et de souches mycologiques (*Penicillium chrysogenum* – 2 souches – et *Exophiala jeanselmei*) a également été étudiée.

Résultats

En conditions stériles, le DKN a été le seul dérivé détecté. En présence de *P. chrysogenum*, le DKN et le NO ont été détectés (la quantité de NO n'étant pas supérieure à 10 % de la concentration initiale en IFT).

Dans tous les cas, le modèle de cinétique de pseudo-premier ordre [3] a pu être appliqué à l'isomérisation de l'IFT en DKN :

$$\ln \frac{C}{C_0} = -K_{\text{obs}} t$$

avec C_0 , concentration initiale en IFT (en mg/L), C , concentration (en mg/L) au temps t (en h) et K_{obs} , constante de vitesse observée (en h^{-1}).

Influence du pH en tampons inorganiques. Influence de la nature des constituants du tampon

Comme le montre la figure 4, l'isomérisation de l'IFT a été soumise à une catalyse basique puisque la valeur de K_{obs} augmentait lorsque le pH augmentait. Nous avons pu également remarquer sur cette figure qu'à un changement de constituants du tampon correspondait un changement de pente de la droite $\log K_{\text{obs}} = f(\text{pH})$, ce qui nous a permis de supposer que l'isomérisation de l'IFT pouvait également être influencée par les espèces chimiques en solution.

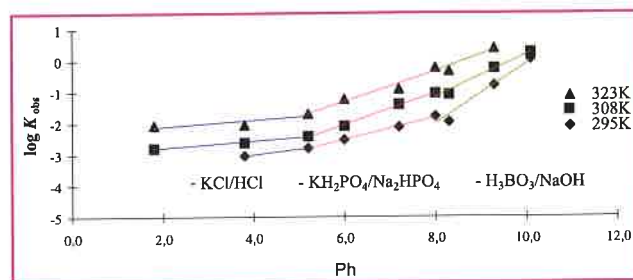


Figure 4 - Influence du pH sur la constante de vitesse observée K_{obs} de l'isomérisation de l'IFT en DKN en tampons inorganiques. (\blacktriangle : 323 K, \blacksquare : 308 K, \blacklozenge : 295 K).

Ceci a pu être vérifié au cours d'expériences complémentaires en tampons organiques de type RCOOH/RCOONa : pour une même valeur de pH (pH 5,2), la constante de vitesse K_{obs} a ainsi été près de 10 fois plus élevée en tampon $\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONa}$ qu'en tampon $\text{KH}_2\text{PO}_4/\text{Na}_2\text{HPO}_4$ [4].

Influence de la température

L'effet catalytique de la température a pu être quantifié grâce à la loi d'Arrhénius :

$$K_{obs} = A \exp\left[\frac{-E_a}{RT}\right]$$

avec A , constante spécifique de la réaction, E_a , énergie d'activation de la réaction (en J/mol), R , constante des gaz parfaits (8,314 J/mol.K) et T , température (en K).

Les droites obtenues sur le diagramme d'Arrhénius ont permis de déterminer les énergies d'activation de l'isomérisation chimique de l'IFT en milieu aqueux stérile. La valeur moyenne des énergies d'activation $E_a(\text{moy}) = 82,4$ kJ/mol correspond bien à un mécanisme réactionnel de type E2 en une seule étape, comme cela est indiqué sur la figure 5. En effet, le cycle isoxazole de l'IFT n'est pas substitué en position 3, ce qui entraîne une déficience électronique sur ce carbone et, par conséquent, une forte tendance à l'ouverture du cycle par protonation de l'atome d'hydrogène correspondant [5].

Présence de micro-organismes

A la suite d'une contamination accidentelle d'échantillons aqueux, quelques-uns des micro-organismes présents ont été isolés, purifiés et identifiés : la bactérie *Stenotrophomonas maltophilia* ainsi que trois souches de champignons inférieurs (deux souches de *Penicillium chrysogenum* et une souche d'*Exophiala jeanselmei*) ont été ensuite réutilisées séparément afin de déterminer leur influence éventuelle sur la dégradation de l'IFT.

Dans les milieux inoculés par *S. maltophilia*, les vitesses de dégradation de l'IFT n'ont pas été significativement différentes de celles déterminées en conditions stériles, de même que dans les milieux contenant la souche mycologique *E. jeanselmei*. En revanche, la dégradation de l'IFT a été plus fortement influencée par la présence de *P. chrysogenum* : le dérivé NO a été quantifié, à des teneurs différentes selon la souche de *P. chrysogenum* considérée, et les vitesses de réaction étaient significativement différentes de celles observées en conditions abiotiques.

Dégradation dans le sol

Protocole expérimental

Après avoir vérifié que la teneur initiale en IFT n'affectait pas les valeurs des constantes de vitesse, nous l'avons fixée à 10 mg/kg de sol préalablement séché à l'air et tamisé à 2 mm. Les échantillons fortifiés ont été maintenus à température constante, à l'obscurité, dans des boîtes de Pétri fermées (échantillons non stériles), ou des flacons

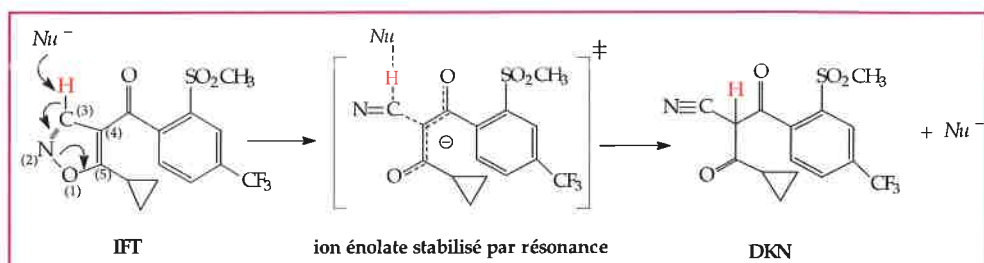


Figure 5 - Mécanisme réactionnel de l'isomérisation de l'IFT en milieu aqueux.

Tableau I - Conditions expérimentales pour l'étude de la dégradation de l'IFT dans le sol.

	Influence étudiée	Humidité (%)	Température (°C)	Nature du sol
Conditions non stériles	Humidité	17 ; 29 ; 45	30	sol O
	Température	17	10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 60	sol M1
	Nature du sol	17	30	sol C, sol O, sol M1, sol M2, sol B
Conditions stériles	Activité microbienne	17	30	sol M1

hermétiquement fermés contenant 20 g de sol stérilisé par autoclavage avant fortification (échantillons stériles). Pour l'étude en conditions biotiques, plusieurs paramètres ont été étudiés : l'influence de l'humidité (17 %, 29 % et 45 %), de la température (10 °C, 20 °C, 30 °C, 40 °C et 60 °C) et de la nature du sol. Pour l'étude en conditions stériles, les prélèvements ont été réalisés en atmosphère stérile (proximité de la flamme d'un bec bunsen), et l'influence de l'activité microbienne sur la vitesse de dégradation de l'IFT et sur la nature des dérivés formés a été étudiée à 30 °C. Le tableau I résume les conditions expérimentales de l'étude de la dégradation de l'IFT dans le sol. En raison de contraintes analytiques, la quantification de l'AB n'a pu être réalisée que lors des études d'influence de la température et en conditions stériles.

Résultats

Conditions non stériles

- Influence de l'humidité

L'influence du taux d'humidité sur la dégradation de l'IFT a été conduite sur le sol O à 30 °C, la teneur initiale en IFT (10 mg/kg) étant identique pour les trois taux d'humidité testés. Ainsi, pour 17 % d'humidité : 10 g de sol ont été fortifiés par 2 mL de solution aqueuse d'IFT à 50 mg/L ; pour 29 % : fortification par 4 mL de solution à 25 mg/L et pour 45 % : 8 mL de solution à 12,5 mg/L. Il a pu être montré que la vitesse d'isomérisation de l'IFT en DKN était plus rapide lorsque le taux d'humidité était plus élevé. Cette accélération a été également accompagnée de la formation de dérivé NO en quantité d'autant plus importante que le milieu était humide. Une relation linéaire a pu être établie entre le taux d'humidité et le temps de demi-vie de l'IFT :

$$t_{1/2} = -1,2 \times (\% \text{ humidité}) + 86,1$$

- Influence de la nature du sol

Le tableau II présente quelques caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés. Après 6 jours d'incubation

Tableau II - Quelques caractéristiques physico-chimiques des sols étudiés.

*sols utilisés pour les études d'adsorption-désorption uniquement.

	Sol O	Sol B	Sol C	Sol M2	Sol M1	Sol M1A*	Sol M1B*
Classification FAO	Sand Loam	Clay	Clay	Clay Loam	Clay Loam	Clay Loam	Clay Loam
Argiles (%)	9	46,5	41	19,5	22	22	22
Sables (%)	74	32,5	29	48,5	47	47	47
Limons (%)	17	21	30	32	31	31	31
pH	6,1	8,3	4,8	8,6	8,0	7,3	7,3
C organique (%)	1,1	1,4	1,7	0,7	3,1	1,7	0,6

($t = 143$ h), aucune trace d'IFT n'a pu être détectée dans les sols B, M1 et M2, alors qu'environ 10 % de la teneur initiale en IFT pouvait être quantifiée dans les sols C et O. La quantité totale de molécules extraites représentait 100 % de la teneur initiale en IFT dans M2, 81 % dans M1, 72 % dans B, 60 % dans C et seulement 48 % dans O, semblant indiquer la formation de résidus difficilement extractibles, en quantité variable selon le sol considéré. Le pH acide de ces deux sols pourrait avoir favorisé la solubilisation d'ions Fe^{2+} avec lesquels les dérivés DKN et AB sont susceptibles de se complexer (voir aussi le paragraphe « Désorption »). Les constantes de vitesse K_{obs} calculées en utilisant le modèle de cinétique du premier ordre ont pu être corrélées avec le pH des sols, seul paramètre pour lequel une corrélation satisfaisante a pu être établie. La figure 6 présente la relation exponentielle obtenue.

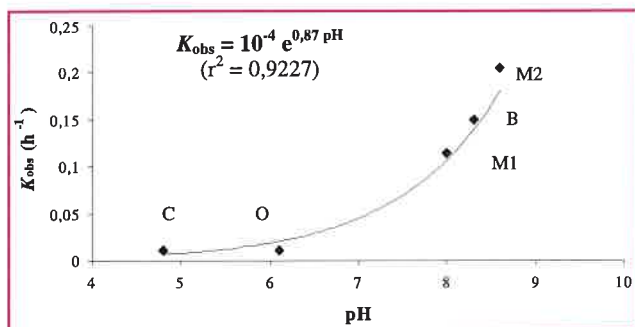


Figure 6 - Relation entre K_{obs} et le pH des sols lors de l'étude de la dégradation de l'IFT en conditions biotiques.

- Influence de la température

Comme attendu, la vitesse de dégradation de l'IFT a été d'autant plus rapide que la température était élevée. Afin de déterminer les processus chimiques et biologiques de l'isomérisation de l'IFT en DKN, le diagramme d'Arrhénius a été tracé (figure 7) : l'absence de changement de pente significatif montre que la destruction de l'activité microbiologique du sol (aux températures supérieures ou égales à 40 °C) n'a pas d'influence sur l'isomérisation, confirmant ainsi le caractère essentiellement chimique de cette réaction. L'énergie d'activation correspondante est de 81,2 kJ/mol, ce qui est similaire à la valeur obtenue en solution aqueuse stérile ; cela indique que le mécanisme réactionnel est le même. La formation du dérivé AB a été suivie quantitativement à 20, 30, 40 et 60 °C. A 20 et 30 °C, après une période de latence, la quantité d'AB formé a tout d'abord augmenté jusqu'à un maximum de 1,4 mg/kg de sol (à $t = 760$ h et à 30 °C), soit seulement 14 % de la teneur initiale en IFT, pour décroître ensuite jusqu'à la limite de détection (figure 8). A 40 et 60 °C, températures entraînant

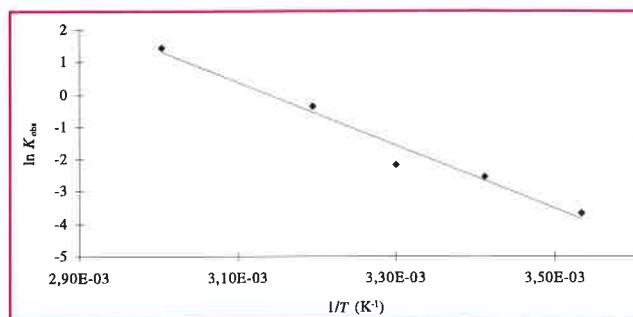


Figure 7 - Dégradation de l'IFT dans le sol en conditions biotiques. Diagramme d'Arrhénius $\log K_{obs} = f(1/T)$.

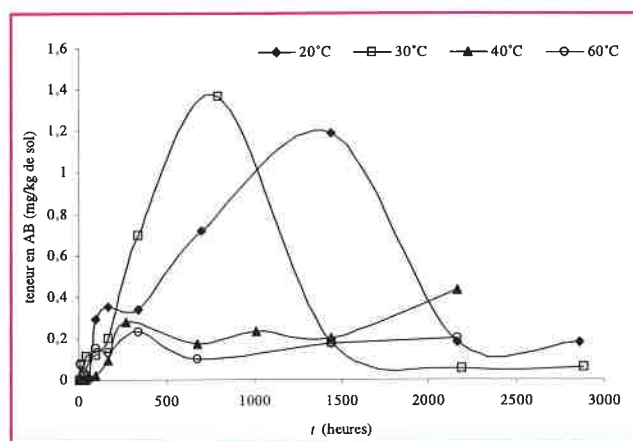


Figure 8 - Dégradation de l'IFT dans le sol en conditions biotiques. Quantités d'AB retrouvées en fonction de la température.

une diminution (et destruction) de l'activité microbienne du sol, de telles courbes « en cloche » n'ont pas été observées, et les quantités retrouvées n'ont pas excédé 0,4 mg/kg de sol. Ainsi, même si nous n'avons pas pu décrire la dégradation du DKN en AB par un modèle cinétique, il est apparu nettement que cette réaction était gouvernée par un processus essentiellement biologique. Il est en effet connu qu'en dessous de 35 °C environ, à la fois les processus chimiques et biologiques ont lieu ; alors qu'au-delà de cette température, les dégradations sont essentiellement chimiques. Cet aspect a pu être vérifié par l'étude de la dégradation de l'IFT dans le sol M1 stérilisé.

Conditions stériles

La dégradation de l'IFT en conditions abiotiques a été suivie à 30 °C et 17 % d'humidité dans le sol M1 stérilisé, appelé M1S. L'isomérisation de l'IFT en DKN a été observée et le

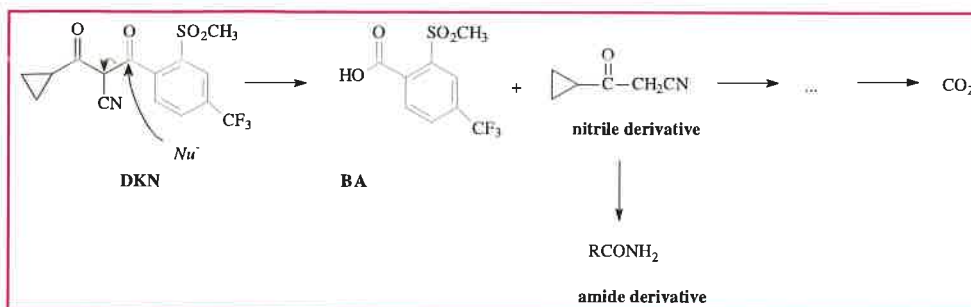


Figure 9 - Mécanisme supposé de la dégradation du DKN en AB.

temps de demi-vie de l'IFT en conditions stériles (96 h) était très proche de celui déterminé en conditions non stériles (114 h). Ceci confirme le caractère essentiellement chimique de la première étape de la dégradation de l'IFT. La deuxième étape, c'est-à-dire la dégradation du DKN en AB s'est révélée très différente selon l'activité microbienne du sol. En effet, alors que dans le sol M1 (sol vivant) l'AB avait pu être quantifié dès le 4^e jour, en revanche dans le sol M1S, même après deux mois d'incubation, ce dérivé était seulement présent à l'état de traces. La présence d'AB en petite quantité à la fin des expérimentations permet de supposer qu'un processus chimique pouvait ne pas être totalement exclu, comme l'ont évoqué Mougin *et al.* dans une étude portant sur la dégradation du DKN par des souches fongiques [6]. Toutefois, la prépondérance du processus biologique est apparue nettement, et semble se produire comme l'indique la *figure 9* : la fonction CN étant protégée par les deux fonctions cétones (Bayer CropScience France, *pers. comm.*), la formation de l'AB semble être due à une attaque nucléophile sur l'atome de carbone situé en alpha du noyau aromatique, par un mécanisme proche de celui décrit par Pallett *et al.* [7]. Le dérivé nitrile est ensuite certainement rapidement dégradé en un dérivé amide non détectable par la méthode d'analyse développée dans cette étude [8].

Adsorption-désorption de l'IFT, du DKN et de l'AB

Les processus d'adsorption et de désorption conditionnent de manière très forte non seulement l'aptitude d'une molécule xénobiotique à migrer à travers les horizons du sol, mais également, entre autres, sa biodisponibilité dans l'environnement, et par conséquent son aptitude à être plus ou moins dégradée. Dans le but de déterminer quels sont les paramètres physico-chimiques du sol ayant le plus d'influence sur la rétention des trois molécules IFT, DKN et AB, des études d'adsorption-désorption ont été conduites, selon la méthode de *batch equilibrium*.

Protocole expérimental

Cinq parmi les sept sols décrits dans le *tableau II* ont été utilisés pour cette étude : sols O, B, C, M1 et M2. Ils ont tous été séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm puis conservés à + 4 °C jusqu'à la mise en place des expériences. Deux aliquotes du sol M1 séché et tamisé ont été oxydées par du peroxyde d'hydrogène afin d'en réduire la teneur en carbone organique et étudier l'influence de ce paramètre sur les forces de rétention. Ainsi, le sol M1A résulte de l'oxydation de 300 g de sol M1 par 2 fois 600 mL d'H₂O₂ à 22 volumes et le sol M1B résulte de l'oxydation de 300 g de sol M1 par 2

fois 600 mL d'H₂O₂ à 33 volumes. Le *tableau II* donne les propriétés de ces deux sols « artificiels ».

Les solutions aqueuses d'IFT, de DKN et d'AB ont été préparées par dilution des solutions de stockage (1 000 mg/L dans le méthanol), de manière à obtenir des gammes de concentrations régulièrement distribuées (voir paragraphe suivant).

Méthode de batch equilibrium – Cinétique d'adsorption

Préalablement à l'étude d'adsorption-désorption proprement dite, il a fallu déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre. Dans un flacon à centrifuger, 2 g de sol et 5 mL d'IFT à 30 mg/L (ou 50 mg/L pour DKN et AB) ont été agités latéralement, à température ambiante et à l'obscurité, pendant différentes durées ($t = 15, 30, 45$ min., 1, 2, 3, 4, 5 et 8 h), après lesquelles chaque échantillon a été centrifugé à 3 200 rpm pendant 10 min. Chaque surnageant a été récupéré et analysé séparément, directement par HPLC/UV. La quantité de produit adsorbé a ensuite été calculée par différence entre la quantité de produit initialement apportée et la quantité de produit retrouvé dans le surnageant après la rétention.

Méthode de batch equilibrium – Phase d'adsorption (voir *figure 10*)

La procédure utilisée a été identique à la précédente, les concentrations des solutions d'IFT étant égales à 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40 et 50 mg/L (pour DKN et AB) et 1, 2, 5, 10, 20, 30 mg/L pour IFT (au-delà de 30 mg/L, des problèmes d'insolubilité de l'IFT se sont posés). Après agitation pendant 4 h (voir paragraphe « Résultats »), les phases solide et liquide ont été séparées par centrifugation et les surnageants directement analysés par HPLC/UV. La quantité de produit adsorbé a ensuite été calculée par différence entre la quantité de produit initialement apportée et la quantité de produit retrouvé dans le surnageant après la rétention.

Méthode de batch equilibrium - Phase de désorption

Pour chacune des molécules et chacun des sols étudiés, la désorption a été conduite sur l'échantillon de sol récupéré après adsorption de la solution aqueuse la plus concentrée, « débarrassée » de son surnageant. Ce culot de sol a ensuite été remis en suspension dans 5 mL de solution aqueuse de CaCl₂ 0,01 M et agité pendant 4 h, puis centrifugé. Après prélèvement et analyse par HPLC/UV du nouveau surnageant, 5 mL de CaCl₂ 0,01 M ont été ajoutés au culot de sol restant pour l'étape suivante de désorption. Cette procédure a été répétée jusqu'à ce que cinq étapes de désorption soient réalisées. La *figure 10* présente schématiquement le protocole expérimental.

Isothermes d'adsorption et de désorption

A partir des concentrations à l'équilibre dans les surnageants (C_e) et des quantités adsorbées correspondantes (Q_{ads}), les isothermes d'adsorption et de désorption ont pu être tracées. Les formules utilisées sont indiquées dans la *figure 10*.

Résultats

Cinétiques d'adsorption

L'isomérisation de l'IFT n'ayant pas pu être évitée, la principale difficulté a été de prendre en compte la quantité totale (adsorbé ET en solution) de DKN formé dans les équations, sans avoir accès directement à la proportion de

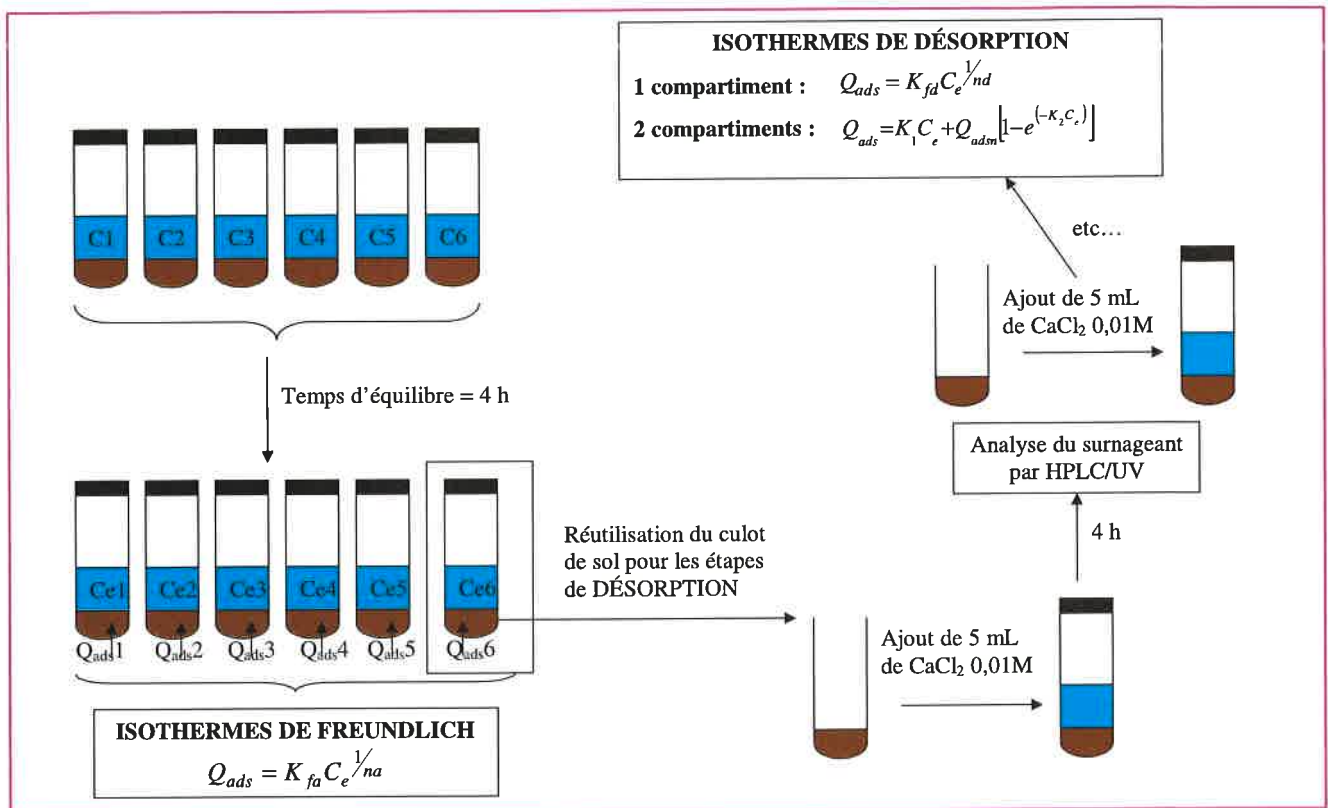


Figure 10 - Méthode de batch equilibrium, isothermes d'adsorption et de désorption.

DKN adsorbé. Pour le DKN et l'AB, l'équilibre a été rapidement atteint, la durée variant légèrement d'un sol à un autre ; les équations des isothermes d'adsorption sur le sol O sont présentées ci-dessous :

Pour le DKN :

$$Q_e = 247,0 e^{-0,2912t}, (r^2 = 0,9645)$$

Pour l'AB :

$$Q_e = 236,77 e^{-0,7216t}, (r^2 = 0,8781)$$

Concernant l'adsorption de l'IFT sur le sol O, un « palier » est apparu après 2 h de contact sur le sol O et nous avons pu décrire l'isotherme d'adsorption comme suit :

$$Q_e(\text{IFT}) = 151,7 e^{-1,7687t}, (r^2 = 0,9273)$$

$$Q_e(\text{DKN}) = Q_0(\text{IFT}) \times (1 - 0,9971 e^{-0,0021t}), (r^2 = 0,9667)$$

$$Q_{ads}(\text{IFT}+\text{DKN}) = 52,95 \ln t + 124,63, (r^2 = 0,9153)$$

A partir des résultats de cinétiques d'adsorption obtenus sur les sols étudiés, un temps d'équilibre égal à 4 h a été choisi pour étudier les phénomènes de rétention des trois molécules sur tous les sols. En effet, cette durée a semblé nécessaire et suffisante à l'atteinte de l'équilibre sol/solution aqueuse et a permis de limiter, dans une certaine mesure, la formation de DKN à partir d'IFT.

Dégradation de l'IFT pendant les études d'adsorption-désorption

Grâce à une étude cinétique complémentaire de la désorption du DKN, il a pu être établi que, dans nos conditions expérimentales, $Q_{DKN}^{eau} \approx 4 \times Q_{DKN}^{sol}$. En faisant l'approximation que la présence d'IFT en solution et dans le sol ne modifiait pas la proportion $Q_{DKN}^{eau}/Q_{DKN}^{sol}$, nous avons pu écrire qu'après l'étape d'adsorption la quantité d'IFT disponible pour la première étape de désorption était :

$$\frac{Q_{dispo}(\text{IFT})}{m} = \frac{Q_0(\text{IFT})}{m} - \frac{v}{m} C_e(\text{IFT}) - \frac{5v}{4m} C_e(\text{DKN})$$

où $Q_{dispo}(\text{IFT})$ est la quantité d'IFT disponible dans le sol (μg), $Q_0(\text{IFT})$ est la quantité d'IFT initiale d'IFT (μg), v le volume du surnageant (mL), m la masse de sol (g), $C_e(\text{IFT})$ la concentration à l'équilibre d'IFT dans le surnageant ($\mu\text{g}/\text{mL}$) et $C_e(\text{DKN})$ la concentration à l'équilibre de DKN dans le surnageant ($\mu\text{g}/\text{mL}$).

Cette équation nous a permis de construire les isothermes d'adsorption de l'IFT sur les sept sols.

Isothermes d'adsorption

La figure 11 présente les isothermes d'adsorption obtenues pour les trois molécules sur les sept sols étudiés. Les valeurs moyennes des K_{oc} ont été de 241 pour l'IFT, 70 pour le DKN et 25 pour l'AB, indiquant que l'adsorption de l'IFT était plus forte que celle de ces deux principaux dérivés, cette adsorption restant relativement faible pour les trois composés. La diminution artificielle de la teneur en matière organique par traitement du sol M1 par le peroxyde d'hydrogène n'a pas permis d'établir avec certitude une relation entre les coefficients d'adsorption et les teneurs en carbone organique. Ceci a pu résulter d'une possible altération de la qualité de la matière organique due au traitement par H_2O_2 , pouvant avoir induit une variation des processus d'adsorption. Le comportement assez particulier de l'IFT sur le sol O pourrait être dû à la qualité particulièrement réactive de la matière organique de ce sol très sableux provenant des Landes.

Désorption

Pour les études de désorption, nous avons utilisé le modèle de Freundlich et le modèle à deux compartiments décrits dans la figure 10. Le modèle à deux compartiments a mieux convenu à la désorption du DKN et de l'AB sur le sol C : comme cela a été abordé dans le chapitre « Dégradation dans le sol », la forte proportion de fer dans le sol C a pu

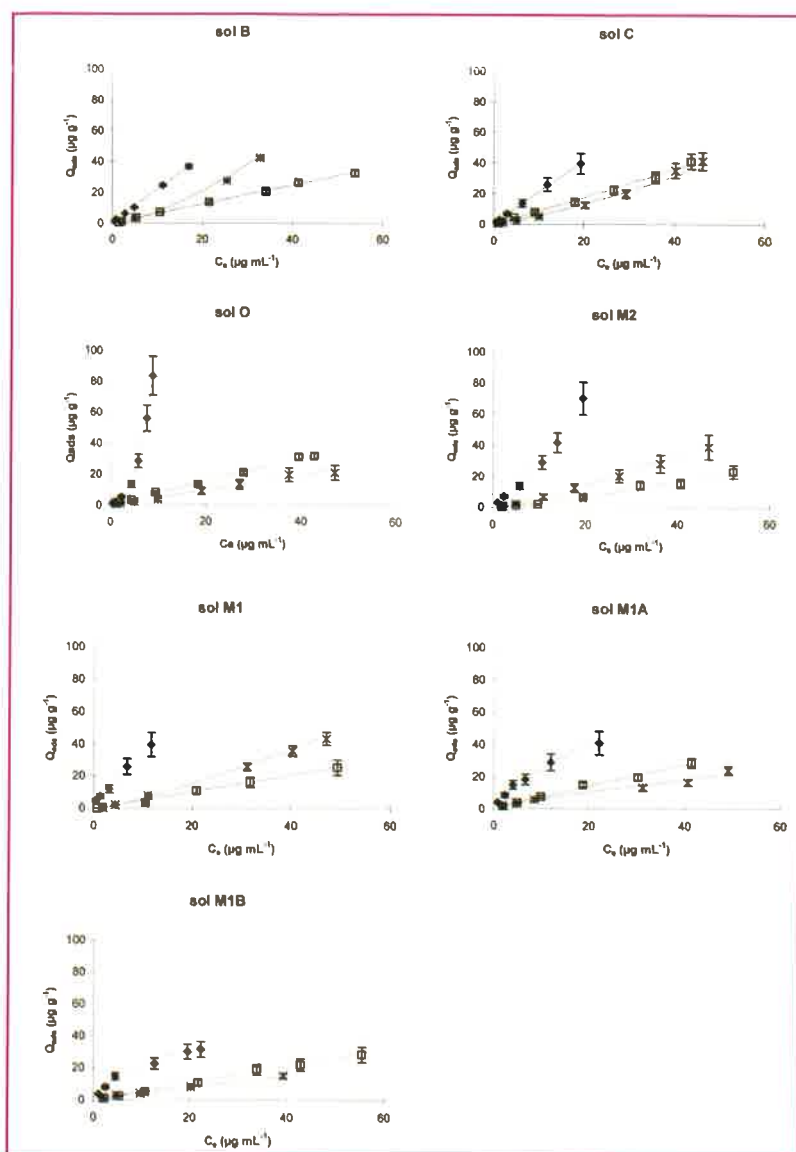


Figure 11 - Isothermes d'adsorption de l'IFT, du DKN et de l'AB sur les sept sols étudiés.

favoriser la complexation du DKN et de l'AB et entraîner des adsorptions plus fortes à la surface de ce sol. Dans tous les autres cas de figure, le modèle de Freundlich a donné de meilleurs résultats [9].

Conclusions et perspectives

Le travail présenté a permis d'élargir le domaine des connaissances relatives au comportement de l'IFT dans l'environnement, et plus particulièrement dans l'eau et dans le sol. En milieu aqueux, l'influence de facteurs tels que le

pH, la température, la nature des solutions tamponnées, la présence de micro-organismes a pu être définie. Dans le sol, l'isomérisation de l'IFT en DKN et la dégradation biologique du DKN en AB ont été confirmées. Enfin, les processus d'adsorption-désorption ont été également étudiés.

Parmi les perspectives qui se dégagent du travail présenté, il pourrait être intéressant d'approfondir l'influence des micro-organismes du sol sur la dégradation de l'IFT et la formation d'autres dérivés tels que le NO par exemple, ou encore de pousser plus avant la modélisation du comportement de cet herbicide à travers tous les compartiments de l'environnement.

Références

- [1] Pallett K.E., Little J.P., Veerasekaran P., Viviani F., Inhibition of 4-HPPD : the mode of action of the herbicide RPA 201772 (isoxaflutole), *Pestic. Sci.*, **1997**, *50*, p. 83.
- [2] Viviani E., Little J.P., Pallett K.E., The mode of action of isoxaflutole. II. Characterization of the inhibition of carrot 4-HPPD by the diketonitrile derivative of isoxaflutole, *Pestic. Biochem. Physiol.*, **1998**, *62*(2), p. 125.
- [3] Logan S., *Fundamentals of chemical kinetics*, Longman Group Ltd, Dunod, Paris, **1996**.
- [4] Beltràn E., Fenet H., Cooper J.F., Coste C.M., Kinetics of chemical degradation of Isoxaflutole : influence of the nature of aqueous buffers (alkanoic acid/sodium salt vs phosphate), *Pest Manag Sci.*, **2001**, *57*, p. 366.
- [5] Beltràn E., Fenet H., Cooper J.F., Coste C.M., Kinetics of abiotic hydrolysis of Isoxaflutole. Influence of pH and temperature in aqueous mineral buffered solutions, *J. Agric. Food Chem.*, **2000**, *48*(9), p. 4399.
- [6] Mougin C., Boyer F.D., Caminade E., Rama R., Cleavage of the diketonitrile derivative of the herbicide isoxaflutole by extracellular fungal oxidases, *J. Agric. Food Chem.*, **2000**, *48*, p. 4529.
- [7] Pallett K.E., Cramp S.M., Little J.P., Veerasekaran P., Crudace A.J., Slater A.E., Isoxaflutole : the background to its discovery and the basis of its herbicidal properties, *Pest Manag Sci.*, **2001**, *57*, p. 133.
- [8] Beltràn E., Fenet H., Cooper J.F., Coste C.M., Fate of Isoxaflutole in soil under controlled conditions, *J. Agric. Food Chem.*, **2003**, *51*, p. 146.
- [9] Beltràn E., Fenet H., Cooper J.F., Coste C.M. (WR), Influence of the physical and chemical properties of soil on the retention process of Isoxaflutole and its two main derivatives (*sous presse*).



Estelle Beltràn

est consultante en environnement et en écotoxicologie au sein de CEHTRA* (Consultancy for Environmental and Human Toxicology and Risk Assessment).

* CEHTRA, Le Space C, 208-212 route de Grenoble, 06200 Nice.
Tél. : 04 67 66 33 82 ou 04 93 72 00 88.
Fax : 04 93 72 10 90.
E-mail : estelle.beltran@cehtra.fr

Minnesota Mining Manufacturing (3M)

Un centenaire qui se porte bien

Gilbert Schorsch

L'année 2002 a été riche en commémorations diverses : Victor Hugo, Alexandre Dumas en France, Antonio Gaudí en Espagne... En 2003, l'Allemagne célèbre le bicentenaire de la naissance de Justus Liebig et la France le centenaire de la remise du prix Nobel de chimie à Marie Curie.

Mais les nations n'ont pas seules le privilège de telles cérémonies. Les sociétés industrielles aussi sont fières de fêter leur anniversaire. N'est-il pas utile, pour une société, de se souvenir de ses racines, d'identifier les raisons de sa longévité afin d'en tirer les leçons pour le futur ?

Comme Air Liquide (*L'Act. Chim.*, nov.-déc. 2002, p. 93), 3M France a fêté en 2002 le centenaire de la fondation du groupe. La lecture des deux ouvrages, édités spécialement à cette occasion, est intéressante [1-2]. Pour les jeunes qui hésitent, de plus en plus, à s'orienter vers une carrière scientifique ou technique, l'histoire des deux sociétés est instructive : elle nous montre que si l'environnement économique se transforme rapidement, les cultures d'entreprise, qui déterminent les réussites industrielles, restent immuables.

C'est avec plaisir que nous avons accepté de discuter et de creuser l'évolution de l'histoire du groupe de Saint-Paul. Proposée par Stig Erikson, finlandais d'origine, PDG de la filiale française de la multinationale américaine, la rencontre avec son directeur de recherche, Jan Pinkster, ingénieur chimiste hollandais, a eu lieu sur leur site de Beauchamp dans le Val d'Oise. Illustration concrète de la mondialisation actuelle !

Présentation du groupe

L'histoire résumée de 3M

Des abrasifs... aux rubans adhésifs

C'est en 1902 que cinq hommes d'affaires achètent les droits d'exploitation d'une mine de « corindon » située à Crystal Bay dans le Minnesota, au nord du Lac Supérieur. Le minerai était destiné à la fabrication de meules pour le ponçage des meubles en bois de la région. Mais l'exploitation a du mal à démarrer. Et pour cause ! La concession était une mine d'anorthosite, trop tendre pour l'application envisagée. Qu'à cela ne tienne, l'entreprise change de cap et décide de fabriquer du **papier abrasif**. Mais les deux seules mines exploitables aux États-Unis – *mines de grenat* –, sont déjà dans le giron de Carborundum et de Norton. 3M traverse donc l'Atlantique et achète en Espagne la mine de grenat nécessaire à la réorientation de son activité. La première fourniture de papier de verre intervient en 1906. L'entreprise doit attendre 1913 pour

afficher ses premiers bénéfices. Onze ans pour s'intégrer et gagner de l'argent !

C'est en 1923, en allant proposer son papier de verre, que Dick Drew prend conscience d'un besoin latent des carrossiers qui proposent alors des voitures bicolores. **Le ruban adhésif de masquage** est commercialisé deux ans plus tard. Il est désigné ironiquement de « Scotch » par ses utilisateurs : ils avaient observé que le ruban n'était enduit de colle que sur ses deux bords. Hâtivement, ils en avaient conclu que 3M voulait faire des économies sur leur dos. Contribution des carrossiers, en guise de boutade, à l'origine d'un nom de marque qui fera rapidement le tour de la Terre. Très vite, 3M déclinera le ruban adhésif sous toutes ses formes et dans toutes ses applications.

Des surfaces réfléchissantes... aux rétroprojecteurs

L'année 1937 révèle une nouvelle illustration de la capacité d'écoute et de la réactivité de 3M : incidemment, un agent de la police routière du Minnesota avait signalé à un représentant de 3M l'avantage qu'apporterait un marquage au sol doté d'un meilleur pouvoir réfléchissant de nuit que la simple peinture jaune ou blanche. Harry Hezler, du Laboratoire central de recherche, à qui cette demande fut transmise, proposa aussitôt, soit d'introduire de la poudre de verre directement dans la peinture, soit de préparer un support de toile incrusté de billes de verre. Malheureusement, aucune des deux solutions envisagées ne résista aux rigueurs de l'hiver de la région des grands lacs. Ces deux échecs sont pourtant à l'origine du développement de 3M dans les **surfaces réfléchissantes verticales** pour panneaux de signalisation et plaques d'immatriculation, les « Scotchlite », développées à partir de 1939. 3M en deviendra rapidement le leader mondial.

Cette intrusion inopinée dans le panneau réfléchissant conduit les chercheurs de 3M à s'intéresser, de façon plus approfondie, à la physique de la réflexion et de la diffusion de la lumière (*schéma 1*). Celle-ci permet aussitôt une **diversification vers d'autres applications optiques** :

- les films transparents pour rétroprojecteurs d'abord ;
- le développement ensuite de **lentilles de Fresnel** – *fabriquées avec un film plastique structuré, selon une technologie sophistiquée, désignée en interne sous le nom de « microréplication »* ;
- la **production et la vente de photocopieurs et de rétroprojecteurs**, bien connus des enseignants et conférenciers ;
- enfin, plus récemment, vers la commercialisation de **films** pour améliorer la visibilité et la brillance des **écrans d'ordinateurs et de téléphones mobiles**.

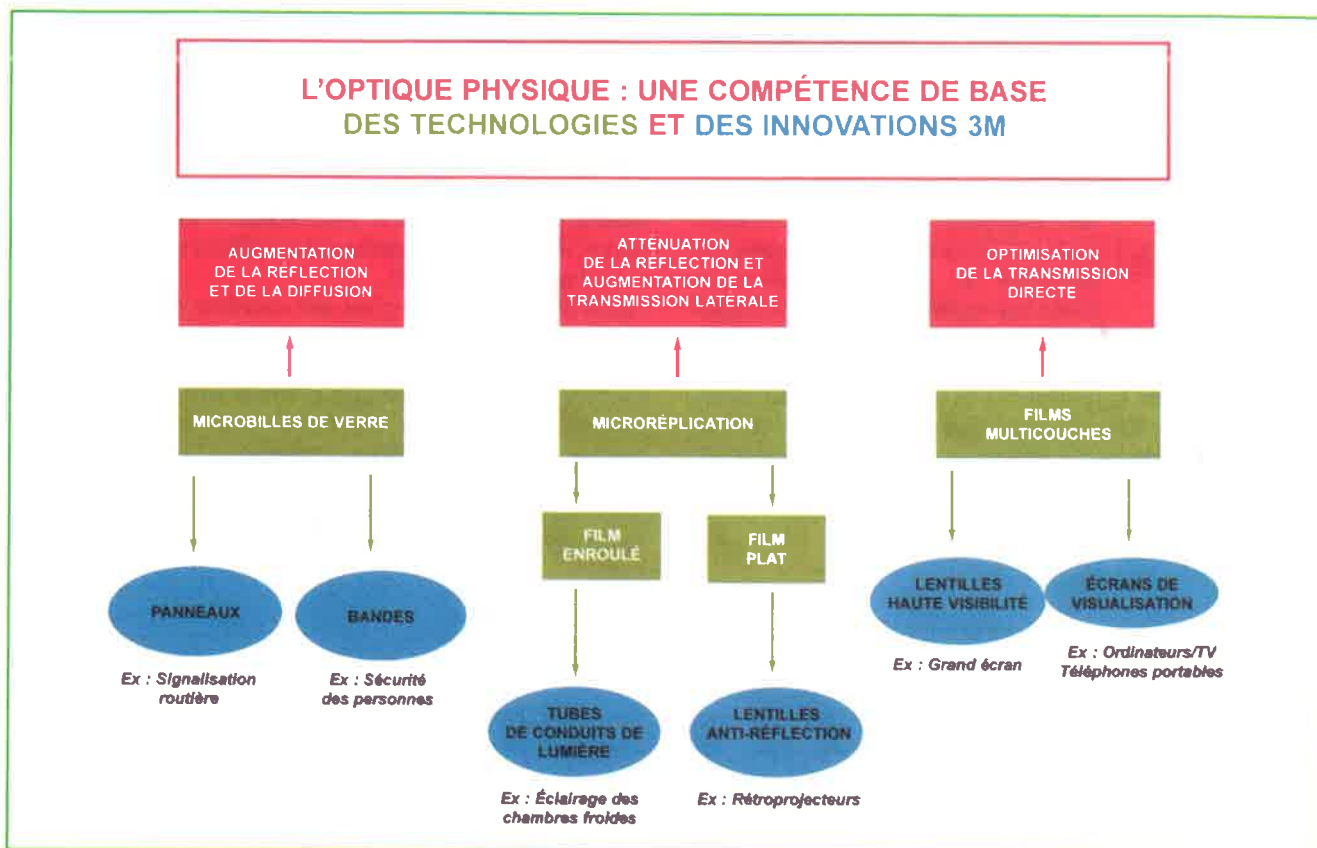


Schéma 1.

Remarquons d'ailleurs que cette « microréplication » vient d'être transposée à la production des papiers abrasifs Trizact (*photo 1*), commercialisés depuis 1995 pour une application très actuelle et très technique : celle du polissage des wafers de silicium pour la microélectronique. En effet, ces abrasifs nouveaux autorisent des vitesses de polissage constantes et une meilleure longévité : les « microrépliquations » servent de réservoirs pour la poudre abrasive. Preuve que la distinction entre « high- » et « low-tech » n'est faite que par les « technocrates de la recherche », qu'ils soient en entreprise ou dans une administration.

Des pansements... aux médicaments

Au premier abord, la diversification de 3M vers la santé paraît plus logique que celle vers les applications optiques décrites plus haut. C'est l'obstination d'un jeune chercheur, Lew Lehr, qui en est directement à l'origine. C'est lui qui proposa, dès 1948, le développement des **drapages opératoires à usage unique**. Ils deviendront rapidement un produit phare de 3M Santé. Comme pour les sparadraps microporeux anallergéniques, patches et pansements déclinés ensuite sous toutes leurs formes, les drapages opératoires font appel au même métier de base de 3M : un support textile enduit d'adhésif, destiné à maintenir la peau de l'opéré et à immobiliser le champ opératoire.

Les conditions du développement de 3M dans les médicaments sont plus inattendues. Encouragé par sa présence dans le drapage opératoire, 3M tente une diversification vers les médicaments. A partir de 1968, Bill Coyne, jeune chercheur d'origine canadienne, se lance dans la synthèse de molécules actives... sans recevoir la moindre instruction de sa hiérarchie. En 1985, soit 17 ans plus tard, 3M reçoit de la

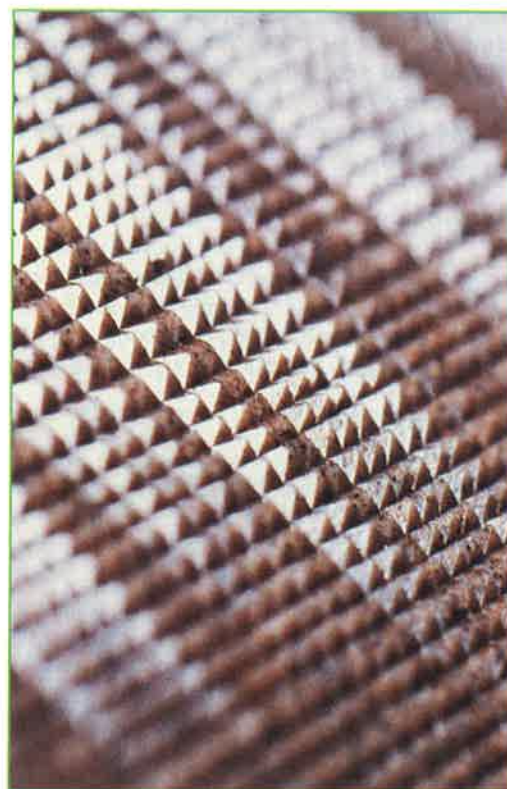


Photo 1 - La technologie de répllication illustrée (jusqu'à 300 pyramides/cm²) est avec le multicouches une technologie majeure de 3M. Elle est utilisée pour l'élaboration du Trizact pour le polissage des semi-conducteurs.

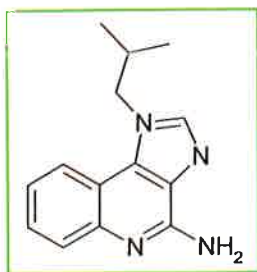


Figure 1.

2 500 personnes aux États-Unis, d'abord filiale du groupe, puis intégrés dans la division Santé de 3M à partir de 1990. Récemment, une nouvelle impulsion vient d'être donnée : le développement de modificateurs de la réponse immunologique. La structure d'une molécule, actuellement en cours de développement, est montrée dans la figure 1.

Les marchés actuels de 3M

Cette brève rétrospective donne une idée assez précise des activités actuelles de 3M.

Au fil des ans, la multinationale de Saint-Paul connaît une évolution continue de ses activités. A l'origine, elle commercialisait essentiellement ses produits chez les professionnels. Depuis 1980, une diversification vers le grand public a été tentée et réussie : ce dernier profite ainsi de produits rodés chez des professionnels.

Les résultats chiffrés pour 2001 sont résumés dans le tableau I. Le chiffre d'affaires se situe à la moitié de celui d'un BASF ou d'un Bayer, avant la cession de leurs activités pharmaceutiques, respectivement faite ou à venir.

3M se concentre sur six marchés principaux (tableau I). La santé constitue un marché important. Une surprise ? Non, car les responsables ont diversifié leur activité au bon moment pour être présents dans les médicaments sans le clamer sur tous les toits !

3M en France

La France constitue le 5^e marché de 3M dans le monde. Le groupe y est représenté par trois sociétés : 3M France dont le siège est à Cergy-Pontoise, les Laboratoires 3M Santé à Pithiviers et Pouyet 3M Communications, acquis récemment

dans le cadre de sa diversification vers la connectique et les télécommunications.

Le chiffre d'affaires est de 1 145 milliards d'euros (7 % du CA mondial) pour près de 3 000 salariés (4 % de l'effectif total), ce qui démontre plutôt une activité dans les produits à haut contenu technique.

Six sites de production, deux centres de distribution et quatre centres de R & D sont installés en France. Nous avons résumé dans le tableau II les activités des principales implantations françaises.

Cette présence de 3M n'est pas négligeable. Compte tenu aussi de son expérience professionnelle, il serait souhaitable que 3M France participe davantage au débat multiple – de la formation professionnelle à la politique salariale, en passant par les problèmes de sécurité et d'environnement – qui touche l'industrie chimique française. N'a-t-il pas mis en place le Programme « 3P » (Pollution Prevention Pays) pour lutter contre la pollution dès 1975, soit 15 ans avant les actions de « Responsible Care » du CEFIC et de l'UIC ?

Commentaires

Le label 3M : des innovations au service des besoins des clients

Les exemples que nous avons retenus donnent une bonne idée de la **stratégie de 3M**. Elle n'a pas évolué : se déployer à partir des compétences propres et des besoins des clients, souvent non exprimés explicitement. Elle repose toujours sur une **association judicieuse d'une technologie parfaitement maîtrisée en interne – pour fabriquer le produit – et d'une bonne connaissance du mode d'action du produit – pour l'adapter au besoin réel du client**.

Exemple ? A l'origine, **l'enduction est la technologie-clef** pour fabriquer un abrasif ou un ruban adhésif. Progressivement, elle sera déclinée sous toutes ses formes :
- des revêtements de toiture aux bandes magnétiques – dans lesquels il suffit de remplacer les poudres abrasives respectivement par des pigments colorés et des poudres magnétiques ;
- des bandes isolantes – pour l'isolation de câbles et pour la connectique – aux adhésifs double-face – utilisés pour l'assemblage des matériaux dans les voitures, les avions ou la construction navale.

Dans tous ces exemples, **l'adhérence, ou pouvoir liant**, constitue la propriété d'usage à maîtriser chez le client. Selon les besoins de l'application, seront utilisés des résines (époxy ou alkydes), des latex (acryliques ou polyuréthanes) et des supports de nature variable (textiles ou films plastiques transparents). Si nécessaire, 3M met au point un nouveau support. Pour le lancement des bandes adhésives décoratives, un support de faible coût était impératif ! Ce sera le non-tissé par fusion, dont le groupe met au point la technologie. Cette association technologie/produit est illustrée dans le schéma 2. Progressivement, des métiers de la mécanique, 3M s'est diversifié, selon la même démarche, vers les métiers de l'électrotechnique, de la microélectronique et de la santé.

Tableau I - 3M en bref.

Les chiffres	
CA 2001	16 milliards \$ (dont 53 % hors États-Unis)
Personnel	71 000 collaborateurs (dont 18 000 en Europe)
R & D	6,9 % du CA 7 000 chercheurs 500 brevets déposés par an 34 laboratoires dans le monde
Les marchés	
Santé	23 %
Sécurité, signalisation et protection	20 %
Électronique et communication	19 %
Grand public et bureaux	17 %
Industrie	16 %
Spécialités techniques	14 %

Tableau II - Les principaux sites de 3M en France.

Localisation	Activités	Effectifs
Beauchamp (Val d'Oise)	<ul style="list-style-type: none"> Centre de production : Produits grand public (Post-it, Scotch, Scotch-Brite...) Produits pour l'industrie (abrasifs, rubans adhésifs et connecteurs) Laboratoire : Centre technique européen pour les non-tissés 	750 personnes
Pithiviers (site de 3M Santé)	<ul style="list-style-type: none"> Centre de production : Plâtre-résines, principes actifs, comprimés, timbres dermiques, aérosols pour le traitement de l'asthme Centre de R & D : Synthèse chimique, développement de modificateurs de réponse immunitaire, tests de microbiologie pour l'agroalimentaire 	320 personnes
Saint-Ouen l'Aumône	<ul style="list-style-type: none"> Plate-forme européenne de distribution : 42 000 produits expédiés chaque jour 	250 personnes
Tilloy-lez-Cambrai	<ul style="list-style-type: none"> Centre de production : Microsphères de verres creuses Produits pour la signalisation du trafic Colles mastics et revêtements 	200 personnes
Ponchâteau (site de Pouyet 3M Télécommunications)	<ul style="list-style-type: none"> Conception et fabrication de solutions pour la connexion dans les réseaux de télécommunication : Contenants étanches, boîtes pour réseaux, fibres optiques... 	200 personnes

LA TRAME DES INNOVATIONS 3M :

DES PRODUITS CHIMIQUES ET DES TECHNOLOGIES

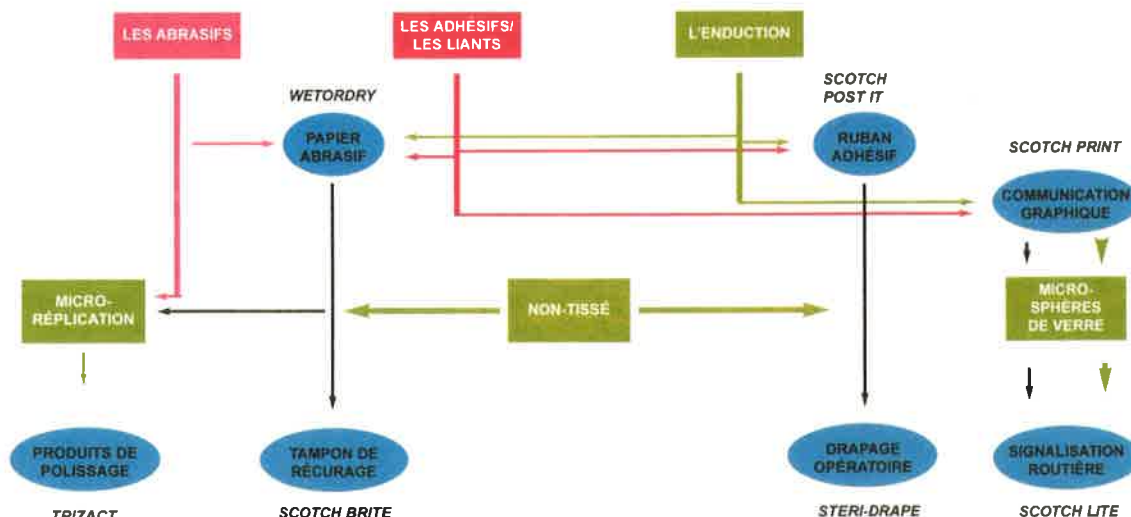


Schéma 2.

Les « 3P » de la réussite de 3M

Dans ses principaux métiers et au cours de ses 100 ans d'existence, 3M est devenu une « machine à innover » particulièrement bien huilée (tableau III). Une maîtrise industrielle et économique de technologies très pointues, mises au service des besoins réels des clients, et une capacité à tisser une toile de technologies aussi solidement enchevêtrée que

la toile de support de ses papiers abrasifs, expliquent sans doute la pérennité de l'entreprise. Mais cela ne suffit pas, il faut y ajouter 3P : **Persévérance** et **Proximité** dans l'action d'abord, le **Personnel** ensuite qui incarne ces deux attitudes. Ces 3P agissent de manière concomitante. Bien sûr, mis à part le domaine de la santé, il ne s'agit jamais d'innovations vitales, mais essentiellement de produits qui ont pour seule ambition de faciliter la vie des consommateurs que nous sommes. Mais les recettes 3M

Tableau III - 100 ans d'innovation en bref.

Industrie	
1921	Papier de verre Wetordy
1947	Bande magnétique d'enregistrement audio Scotch
1990	Systèmes Carmex de suppression de particules polluantes émises par les moteurs diesel
1995	Abrasif Trizact à pouvoir de coupe constant
Grand public et bureaux	
1925	Rubans adhésifs Scotch
1958	Tampons à récurer Scotch-Brite
1980	Notes repositionnables Post-It
Sécurité, signalisation, protection	
1939	Film rétroréfléchissant Scotchlite
Santé	
1980	Résine de contention Scotchcast
1984	Adhésif repositionnable pour change complet bébé
1990	Autohaler , bronchodilatateur autodéclenché pour le traitement de la crise d'asthme

sont certainement généralisables et transposables à des productions industrielles plus exigeantes et plus révolutionnaires que celles assurées actuellement par 3M.

Le livre de 3M fourmille d'exemples concrets de persévérance [2]. Il en faut, collectivement, pour attendre 11 ans ou 17 ans avant de gagner enfin de l'argent en fabriquant et en vendant respectivement du papier abrasif et un

Témoignage d'un ancien chercheur « 3 M^{ien} »

En ayant passé plusieurs années dans le centre de recherche de 3M à Saint-Paul dans le Minnesota, et grâce à des contacts maintenus avec ses chercheurs, je peux témoigner de la créativité de 3M. Elle résulte d'une culture et d'une organisation focalisées sur la maîtrise de l'innovation. En étant dans le groupe, j'ai pu observer quelques éléments intéressants de cette organisation.

Il y a une collaboration étroite et un contact permanent entre la recherche et le « business », alliant un besoin du marché parfois simplement embryonnaire et une faisabilité technique. Le chercheur et l'homme du marketing travaillent ensemble, les avis sont confrontés. Ceci permet une mise au point plus rapide, le chercheur connaissant le marché à cibler, le « businessman » connaissant le produit à développer. Les innovateurs sont responsabilisés et managés. Les jeunes chercheurs doivent orienter leurs travaux vers un besoin du marché identifié. L'homme qui a créé un produit, une technologie, a la possibilité de suivre le développement de son invention. Sa carrière peut évoluer avec le développement du produit en passant de « scientist » à « project leader », puis « manager » du « business » développé. Ceci maintient un fort niveau de motivation. Les responsabilités sont partagées. Le droit à l'erreur est reconnu et affiché dans toute la société. **Il vaut mieux laisser un collaborateur faire une erreur plutôt que de vouloir le guider constamment.** La prise de risque acceptée conduit à des ambitions plus élevées. Chaque employé peut consacrer 15 % de son temps pour développer ses propres idées. Si les résultats sont intéressants, les phases de développement suivantes sont prises en charge par le financement normal. De nombreux produits innovants ont démarré de cette manière. J'ai noté aussi un fort esprit d'équipe. Allié à la culture internationale des groupes de chercheurs, il permet une libre circulation et un enrichissement des idées nouvelles. Le climat de partage et d'ouverture est particulièrement développé. Les « business » de 3M profitent de la cohésion et des synergies du groupe où les idées progressent par une fertilisation croisée.

Jean-Marc Pujol
Rhodia-Silicones

cardio-vasculaire. Les dirigeants de 3M ont d'ailleurs donné un nom à ce type de comportement. C'est le « patient money », c'est-à-dire l'investissement préalable que vous devez faire, en recherche d'abord – *ne serait-ce que pour trouver la mine qui vous fournit votre poudre abrasive, mais plus sérieusement pour étudier les bases physiques de l'optique et produire les lentilles de Fresnel* – et en production ensuite, pour maîtriser par exemple la microréplication. De la persévérance, Spencer Silver en a montré à titre personnel : pendant plus de deux ans, il a traîné dans sa poche son échantillon de latex acrylique, d'un pouvoir liant limité – *un comble quand vous êtes employé dans une entreprise spécialisée dans les*

adhésifs ! Il a fallu que son collègue et ami, Art Fry, réalise au cours d'une répétition de chant avec la chorale de la Cathédrale de Saint-Paul, que cette colle pourrait servir à immobiliser les signets de son livre de chant. Ainsi, le courant d'air ne les emporterait plus ! Cette persévérance peut aller jusqu'à la désobéissance et à l'insubordination, le chercheur refusant tout simplement d'arrêter le projet qui lui est confié. Il n'a pas à se mettre « à la botte des petits chefs » – *comme c'est trop souvent le cas dans les systèmes d'organisation actuels* – s'il est convaincu de l'intérêt de son idée d'abord, de son projet ensuite.

Nous avons déjà mentionné **des exemples de proximité** du personnel de 3M auprès du client. Mais il faut signaler aussi la **proximité quasi obsessionnelle du chercheur avec le produit** qu'il est en train de développer. C'est Francis Okie qui met au point chez lui le papier abrasif Wetordry, fonctionnant à l'humide, dans le bac de sa douche. C'est Harry Heltzer qui prépare ses premières billes de verre en déversant du 5^e étage du verre en fusion. Auparavant, un pot de fleurs avait été utilisé pour calciner les pigments destinés aux tuiles synthétiques. Autant d'exemples de montages « à la Dubout » destinés à démontrer simplement la faisabilité et l'intérêt du produit, avant que les investissements de production ne soient engagés à bon escient et à fond.

Il faut dire que les chercheurs de 3M bénéficient d'un régime que leur envient les chercheurs des autres sociétés industrielles. Les 15 % qui leur sont proposés, depuis 1925, ne représentent pas un quelconque ratio financier très à la mode ou le montant de leur prime. C'est le temps libre dont ils disposent pour leurs recherches personnelles. Il faut dire que le management de 3M fait preuve de beaucoup de confiance vis-à-vis de ses chercheurs. « **In industry research pays** » est un slogan très à la mode chez 3M. Contrairement à beaucoup d'autres sociétés, dirigées de plus en plus par des purs financiers, un nombre non négligeable de chercheurs ont fini « Chief Executive Officer » (CEO) ou « Chairman of the Board » (COB) de 3M. Les exemples récents les plus emblématiques sont Harry Heltzer (1970-1975), le préconiseur des billes de verre, et Lewis Lehr (1979-1986), l'initiateur des drapages opératoires dont nous avons évoqué les premiers pas chez 3M. Bref, les chercheurs de 3M bénéficient de la confiance des dirigeants

et évoluent dans un environnement particulièrement motivant. Il faut reconnaître qu'ils ont le mérite de mettre en place des « **innovations utiles** » qui se succèdent et se vendent bien. C'est en définitif la raison de la pérennité du groupe.

Conclusion

Une stratégie à contre-courant ?

L'histoire de 3M, telle qu'elle nous est racontée – *sans que nous soyons pleinement assurés qu'elle soit vécue ainsi en interne par le personnel* – nous interpelle à un double titre.

3M nous fournit d'abord l'exemple d'une société affichant une stratégie à contre-courant des pratiques actuelles ou plutôt des pressions imposées par les marchés financiers. Une bonne part de son activité se situe dans la santé. Mais 3M conserve simultanément son activité initiale dans les produits professionnels et les produits de consommation courante. Il serait intéressant de savoir si 3M subit aussi des contraintes et pressions de la part des marchés financiers pour devenir plus lisible. Si cela n'était pas le cas, ce seraient la pratique et la gestion efficace des affaires par les autres sociétés encore diversifiées qui seraient en cause, et non pas la nature ou le type des activités.

Ensuite, à l'image des grands lessiviers et des multinationales de l'agroalimentaire, 3M est au départ une société vendant des produits professionnels et de consommation courante. A l'origine, 3M n'est pas chimiste. Mais au cours des entretiens, nous avons appris que 3M embauchait régulièrement des chimistes pour fabriquer elle-même de plus en plus la majorité de ses produits stratégiques (*latex, résines époxydes, formo-phénoliques, silicones et polymères fluorés de sa gamme*), car elle ne trouve pas, chez les chimistes de spécialités, les produits ou les formulations dont elle a besoin. 3M ne vient-elle pas racheter les parts que Hoechst détenait dans Dynéon pour devenir propriétaire à part entière de la production de ses polymères fluorés ? En contact direct avec le marché, 3M connaît exactement les besoins de ses clients. Si cette tendance se confirmait et se généralisait, cela signifierait qu'au lieu de sous-traiter la synthèse de ses produits chimiques stratégiques, l'industrie aval risque de se substituer progressivement à l'industrie chimique

traditionnelle de spécialités. Celle-ci ne risque-t-elle donc pas, à terme, de se trouver éliminée par ses clients les plus exigeants ? Préjudiciable à l'industrie chimique, une telle évolution ne le serait pas nécessairement pour les chimistes : ils trouveraient du travail directement dans l'industrie aval.

Mais l'histoire de 3M illustre aussi la contribution et le besoin de produits chimiques, de plus en plus élaborés, pour alimenter l'innovation en nouveaux produits qui simplifient notre vie quotidienne.

La célébration d'anniversaires fournit bien l'occasion de faire appel à la mémoire d'un groupe et d'en tirer les enseignements pour le pérenniser.

Pour conclure, en guise de boutade, remarquons qu'au contraire de nombre de sociétés modernes, le groupe n'a pas éprouvé le besoin de « relooker » son sigle à l'occasion de son centenaire. Dans le Périgord, où j'écris cet article, 3M fait penser davantage aux trois célébrités bordelaises – Montaigne, Montesquieu et Mauriac – qu'à du papier abrasif. Si d'aventure 3M songeait néanmoins à procéder ultérieurement à une adaptation pour se conformer à la réalité – *il n'exploite plus de mines depuis longtemps mais fait maintenant de la chimie* – ne devrait-il pas transformer 3M en MCM – **M**innesota **C**hemical **M**anufacturing – ? Mais notre suggestion n'a que peu de chance d'être retenue. 3M est trop fière de son histoire...

Références

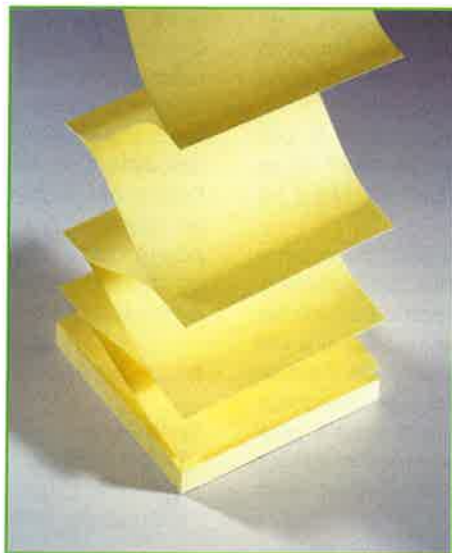
- [1] 100 ans de conquêtes: l'aventure d'Air Liquide, Textuel, 2002.
[2] A century of innovation: the 3M story, 3M Company, 2002.



Gilbert Schorsch

est conseiller Recherche-Innovation à l'UIC Ile-de-France.

- * Contact : *L'Actualité Chimique*,
250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris.
Tél. : 01 40 46 71 64. Fax : 01 40 46 71 61.
E-mail : ac@sfc.fr



Synthèse et formulation d'un vernis polyuréthane bactéricide

Nadège Destais-Orvoën

Summary

Synthesis and formulation of a bactericide polyurethane varnish

Environmentally friendly paints are up to date due to the increase of toxicological regulations. This practical work will enable us to synthesize a polyurethane varnish (more simple than a paint) but with the advantage of being bactericide by contact with leaving organisms and not by release of toxic compounds as it is often carried out. The bactericide function is a quaternary ammonium salt which will be introduced into the oligomer by a synthesis in two steps (formation of a polyol). The last work consists in a formulation of this product as well as to obtain a polyurethane varnish with physical properties compatible with microbiological tests.

Mots-clés

Polyuréthane, bactéricide, époxyde, sel d'ammonium quaternaire.

Key-words

Polyurethane, bactericide, epoxide, quaternary ammonium salt.

Le but de ce travail est de permettre aux étudiants de réaliser, au cours d'un même projet, à la fois des synthèses organiques, de la synthèse macromoléculaire (par le biais d'une réticulation) et de la formulation, tout en développant différentes méthodes de caractérisation. Ce TP peut se dérouler, de façon variable, entre deux journées et demi et trois journées. Il s'adresse à des étudiants de second cycle d'université ou à des élèves ingénieurs. Les étapes de synthèses devront être guidées de façon précise afin d'obtenir les meilleurs rendements. Par contre, une certaine latitude pourra être laissée aux étudiants pour ce qui concerne la partie formulation.

Pourquoi s'intéresser aux peintures et vernis bactéricides ?

La nécessité d'obtenir des peintures « respectueuses de l'environnement » a conduit au développement d'une nouvelle famille de revêtements qualifiés d'« actifs par contact ». Ce concept est basé sur une activité biocide, par simple contact entre le revêtement et les micro-organismes et ceci sans relargage de produits toxiques. Dans ces conditions, si l'agent biocide n'est pas modifié au cours de son action, il y a conservation du principe actif et donc pérennité de l'efficacité.

Deux grandes familles de composés répondent à ces critères : les sels de phosphonium quaternaire ($R_4P^+ X^-$) et les sels d'ammonium quaternaire (AQ) ($R_4N^+ X^-$). Nous ne nous intéresserons ici qu'au second cas.

Les sels d'AQ sont connus depuis longtemps comme tensioactifs cationiques ayant des propriétés antiseptiques. Ils sont utilisés dans des applications diverses comme les détergents, les applications pharmaceutiques, etc. Il a été montré que l'un au moins des substituants de l'atome d'azote doit être une chaîne alkyle comportant au moins huit atomes de carbone [1], avec un maximum d'activité pour $C_{14}H_{29}$. Il a également été démontré qu'une fois introduit sur un polymère insoluble dans l'eau, ils conservaient leurs propriétés bactéricides [2-3].

Mode opératoire

Nous allons donc utiliser ce concept pour réaliser un vernis bactéricide. Pour cela, nous allons greffer un groupe ammonium quaternaire (avec une chaîne de 8 atomes de carbone) sur un oligomère, puis nous réticulerons cet oligomère afin d'obtenir un film, capable de subir ultérieurement des tests bactéricides et fongicides (tests que nous n'envisagerons pas dans ce TP).

Ce TP se déroule donc en deux grandes parties. Dans un premier temps, il faut synthétiser l'oligomère bactéricide par une modification chimique en deux étapes. Le composé de départ est le diglycidyléther de bisphénol-A que nous nommerons dans la suite de cet article DGEBA (*schéma 1*). C'est une résine époxyde commerciale, de degré de polymérisation proche de zéro (0,08 à 0,15), caractérisée par la présence d'une fonction époxyde à chaque bout de la molécule. La première étape de synthèse sera alors l'ouverture de ces fonctions époxyde par une amine secondaire suivie de la quaternisation, via un dérivé halogéné, de la fonction amine tertiaire ainsi formée. Après traitement et caractérisation précise, nous obtiendrons alors notre oligomère bactéricide (autrement appelé polyol quaternisé) (*schéma 1*). Dans un deuxième temps, il faut réticuler ce polyol afin d'obtenir un vernis. L'introduction des fonctions amine par ouverture des époxydes génère des fonctions hydroxyle que nous allons pouvoir utiliser pour la réticulation de notre vernis. Pour cela, nous ferons réagir l'oligomère quaternisé avec un polyisocyanate afin de former un réseau tridimensionnel de polyuréthane [4]. Une étude pourra être développée sur la formation du réseau tridimensionnel en faisant varier différents paramètres de formulation comme nous le verrons plus tard.

Matériel utilisé

Synthèses

- Tricol de 50 mL
- Réfrigérant surmonté d'une poche de gaz pour réaction en atmosphère inerte

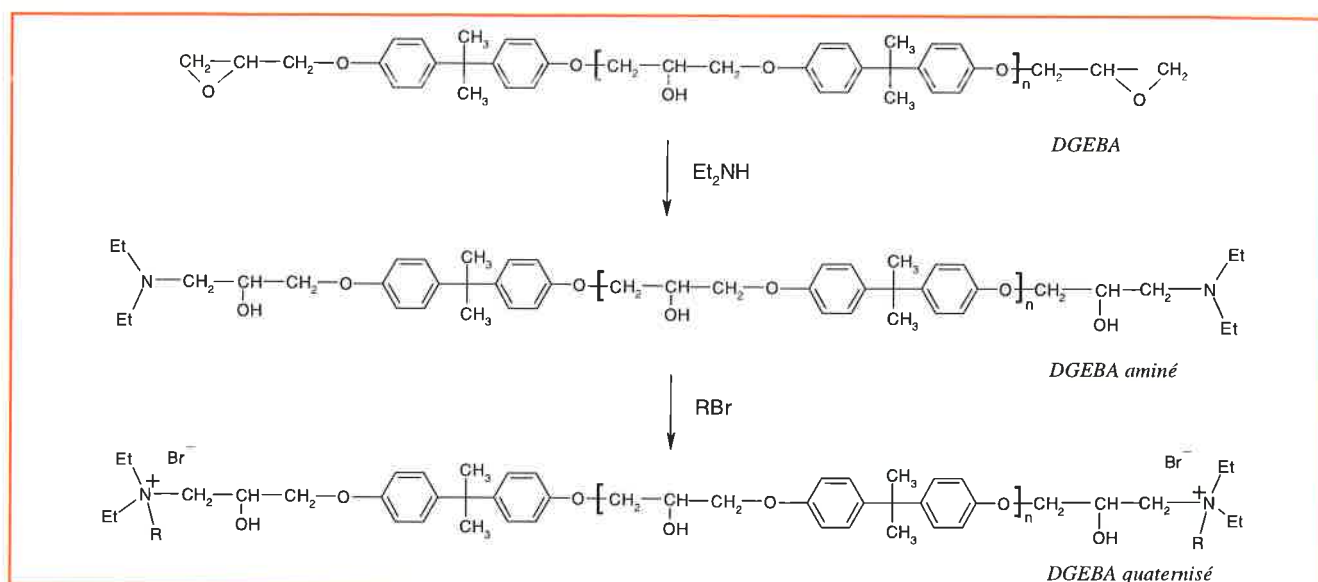


Schéma 1 - Synthèse d'un polyol quaternisé.

- Arrivée d'azote rodée munie d'un robinet
- Barreau aimanté
- Ampoule à décanter (100 mL)
- 2 erlenmeyers de 250 mL
- Ballon de rotavapor Büchi de 100 mL
- Évaporateur rotatif
- Bouteille de diazote

Formulation

- Pilluliers
- Pipettes pasteurs et poires
- Lames de verre (à microscope)
- Tire-film (applicateur à fente fixe)
- Balance précise au milligramme
- Étuve (éventuellement)

Produits utilisés

Synthèses

- Poly(bisphenol A-co-epichlorhydrin), glycidyl end-capped ($M = 374 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) (dénomination du DGEBA chez Aldrich)
- Diéthylamine (Et_2NH)
- Perchlorate de lithium (LiClO_4)
- Iodure de n-octyle ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{I}$)
- Hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3)
- Sulfate de magnésium anhydre
- Dichlorométhane

Dosages

- Pyridine
- Acide chlorhydrique ($1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$)
- Soude en pastille
- Méthanol
- Bleu de bromothymol (BBT)

Formulation

- Tolonate HDB[®] (Rhodia)
- Dichlorométhane

Méthodes de caractérisation

- Spectroscopie RMN ¹H (Bruker ACE 200, fréquences : 200 MHz pour le proton et 50 MHz pour le carbone)

- Spectroscopie IRTF (Perkin Elmer, Spectrum One) pour les produits liquides et, de préférence, muni d'un accessoire ATR (« attenuated total reflectance ») pour l'analyse des vernis
- Dosage d'époxyde
- Dosage d'indice d'hydroxyle

Synthèse de l'oligomère quaternisé

1^{ère} étape : ouverture des fonctions époxyde par une amine secondaire

Dans un ballon rodé tricol de 50 mL, muni d'un réfrigérant surmonté d'une poche de gaz remplie de diazote, 5 g de DGEBA (soit $2,9 \cdot 10^{-2}$ mol d'époxyde), 15 mL de diéthylamine (soit 0,145 mol d'amine, 5 éq./époxyde) et 30 mg de perchlorate de lithium (soit $2,9 \cdot 10^{-4}$ mol, 1 %/époxyde) sont introduits simultanément. Le mélange est ensuite porté à reflux de la diéthylamine (55 °C), sous agitation magnétique et sous atmosphère inerte (diazote) (photo 1).



Photo 1 - Montage de synthèse du DGEBA aminé et du DGEBA quaternisé.



Photo 2 - Évaporateur rotatif utilisé pour l'évaporation de la diéthylamine.

Après 30 minutes de réaction, un prélèvement est réalisé et analysé en **spectroscopie IRTF** afin de vérifier la disparition du signal caractéristique des fonctions époxyde, à savoir un pic vers 915 cm^{-1} . Si tel est bien le cas, la réaction est stoppée, la diéthylamine en excès est éliminée par évaporation à l'évaporateur rotatif (photo 2).

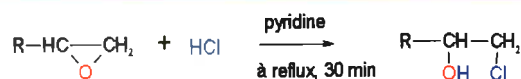


Schéma 2 - Réaction de dosage des groupes époxyde.

Le produit aminé peut ensuite être analysé par **spectroscopie RMN du proton** (figure 1). On peut, là encore, observer nettement la disparition des signaux des protons provenant des fonctions époxyde (2,7 ; 2,84 et 3,3 ppm) et voir l'apparition du signal du CH_3 de l'amine à 1,6 ppm. Le rendement pourra être calculé de façon précise grâce à la RMN ^1H (en prenant comme référence la hauteur d'intégration du signal des protons aromatiques (8H)).

Le rendement de la réaction peut également être déterminé par **dosage chimique des fonctions époxyde** selon le protocole suivant :

Dosage chimique des fonctions époxyde

- Préparation d'une solution de chlorure de pyridinium ($0,2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) (environ 50 mL d'HCl ($1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) dans 200 mL de pyridine),

- Préparation d'une solution d'hydroxyde de sodium dans le méthanol ($0,3\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) (environ 2,5 g de NaOH dans 200 mL de méthanol), à titrer avant de faire le dosage.

Dans un ballon rodé monocol de 50 mL muni d'un réfrigérant, environ 250 mg de DGEBA aminé sont dissous dans 20 mL de la solution de chlorure de pyridinium. Le mélange est porté au reflux de la pyridine ($110\text{ }^\circ\text{C}$) pendant 30 min (schéma 2). Le ballon est ensuite refroidi et le réfrigérant est rincé avec quelques millilitres d'eau distillée. La solution est ensuite titrée avec la solution d'hydroxyde de sodium dans le méthanol, soit à l'aide d'un indicateur coloré (BBT), soit par pH-métrie à l'aide d'une électrode de verre combinée (photo 3). De la même façon, un blanc, à savoir la solution de chlorure de pyridinium seule, est dosé.

Calcul du rendement

La quantité de matière exprimée en moles d'époxyde ($n_{\text{époxy}}$) dans la masse m de l'échantillon est calculée par la différence entre la quantité de matière exprimée en moles de H^+ titrées dans le blanc et la quantité de matière exprimée en moles de H^+ titrées dans le dérivé aminé :

$$n_{\text{époxy}} = n_{\text{H}^+, \text{ blanc}} - n_{\text{H}^+, \text{ produit}}$$

La concentration massique en époxyde dans l'échantillon est donc $C = n_{\text{époxy}}/m$ (mol/g).

Connaissant les concentrations massiques en époxyde des composés avant et après réaction (respectivement C_0 et C), le rendement de l'ouverture des

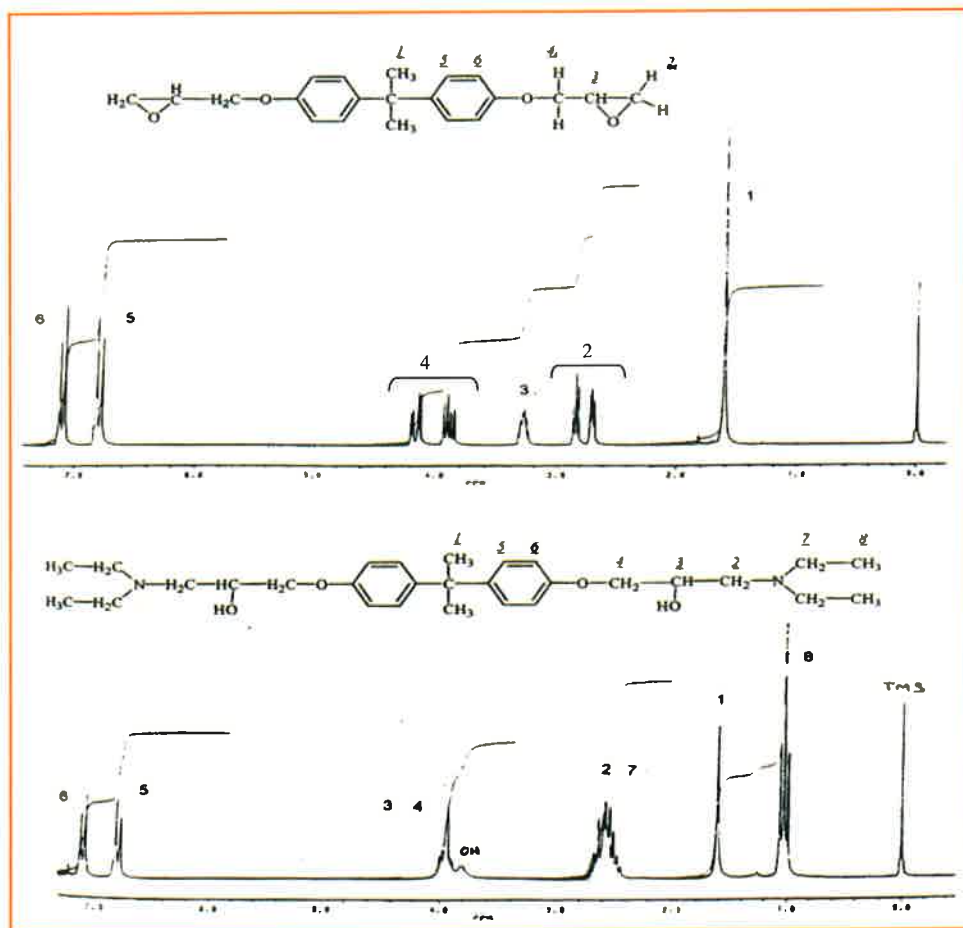


Figure 1 - Spectres RMN ^1H (200 MHz) du DGEBA (en haut) et du DGEBA aminé (en bas).

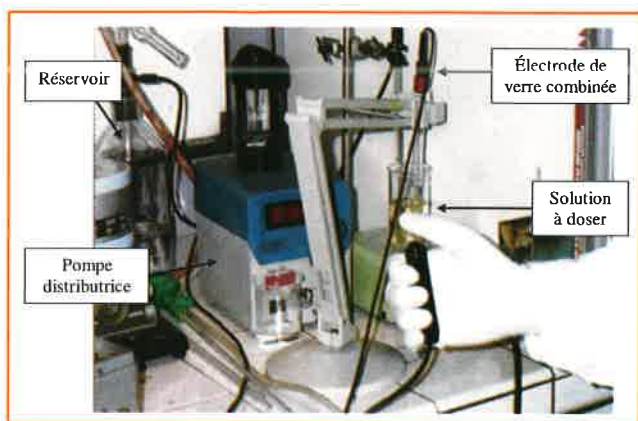


Photo 3 - Montage utilisé pour le dosage des groupes époxyde et de l'indice d'hydroxyle.

époxydes est calculé en introduisant les masses molaires (M_0 et M) :

- M_0 est la masse molaire de l'oligomère époxydé initial,
- M est la masse molaire de l'oligomère aminé final,
- n et n_0 sont les nombres de groupes époxyde par molécule ($n = MC = [M_0 + (n_0 - n) \times 73]C$ et $n_0 = M_0 C_0$).

La masse molaire du produit final (M) est exprimé en fonction des concentrations C_0 et C :

$$M = M_0 \times \frac{[1 + 73C_0]}{[1 + 73C]}$$

Il est alors possible de calculer n_0 et n , et le rendement de la réaction est donné par :

$$\text{Rendement} = \frac{[n_0 - n]}{n_0} \times 100$$

On obtient, en général, des rendements compris entre 90 et 100 %. Le produit est alors prêt à subir l'étape suivante.

2^e étape : quaternisation des fonctions amine tertiaire

Dans un ballon rodé tricol de 50 mL muni d'un réfrigérant surmonté d'une poche de gaz remplie de diazote, 5 g de DGEBA aminé (soit environ 2.10^{-2} mol d'amine), 4 mL

d'iodooctane (soit $2.2.10^{-2}$ mol de $C_8H_{17}I$, 1,1 éq./amine) sont introduits. Le mélange est ensuite porté à $120^\circ C$ sous agitation magnétique et sous atmosphère inerte (diazote) (photo 1). Après 4 heures de réaction, le produit final est dissout dans environ 25 mL de dichlorométhane, puis traité avec une solution saturée d'hydrogencarbonate de sodium. En effet, au cours de la réaction de quaternisation, une réaction secondaire se produit généralement, à savoir la formation d'un sel d'ammonium tertiaire ($^+NHEt_2$) (schéma 3). Ce traitement basique permet donc de retransformer ce sel en l'amine de départ et de remonter ainsi au rendement réel en sel d'ammonium quaternaire. Après ce traitement basique, la phase organique obtenue est extraite à l'eau, puis séchée sur sulfate de magnésium anhydre avant l'évaporation du dichlorométhane à l'évaporateur rotatif.

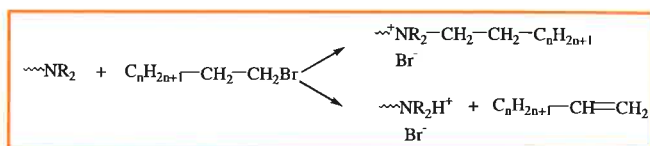


Schéma 3 - Substitution nucléophile et élimination concurrentes.

Remarque : on utilise dans ce TP l'iodooctane (plus coûteux) plutôt que le bromooctane pour une question de vitesse de réaction. Dans le second cas, il faudrait disposer d'un temps de réaction de 15 h pour aboutir au même rendement.

La réaction peut très difficilement être suivie par spectroscopie IRTF car il n'y a pas de pic significatif des groupes ammonium quaternaire et il est très difficile de voir celui des fonctions amine tertiaire. Le meilleur moyen de calculer le rendement est encore la **spectroscopie RMN 1H** (figure 2). En effet, on peut utiliser les signaux des protons en α de l'amine restante (2,6 ppm) ou les CH_3 de l'octyle (0,85 ppm) pour remonter au rendement, si on est sûr que le produit ne contient plus d'iodure d'octyle libre.

En absence de RMN, on pourrait également effectuer un dosage acido-basique des amines en milieu non aqueux (ex : solution dans le toluène, titrage par HCl méthanolique suivi par potentiométrie ou indicateur coloré).

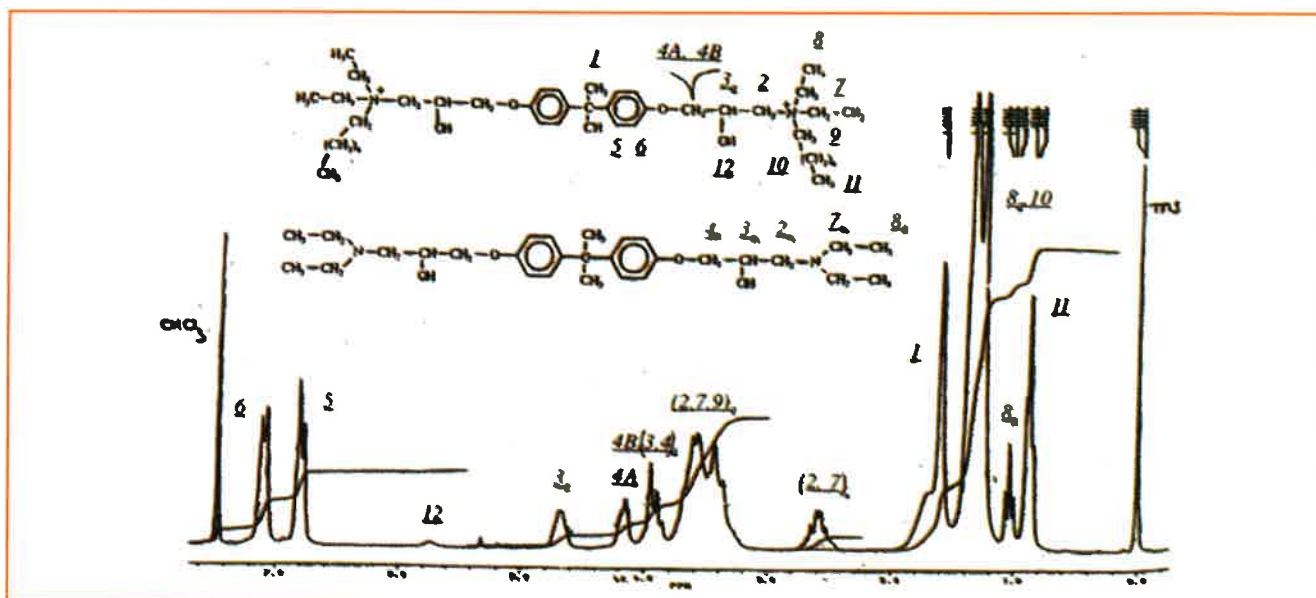


Figure 2 - Spectre RMN 1H (200 MHz) du DGEBA partiellement quaternisé.

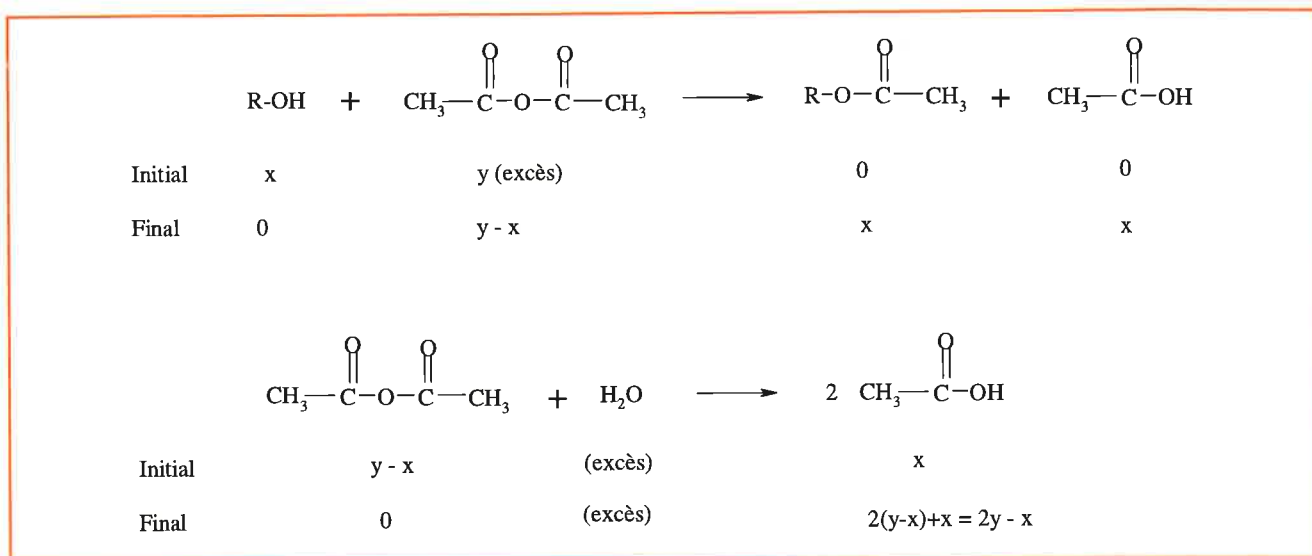


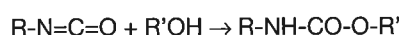
Schéma 4 - Réactions chimiques intervenant lors du dosage d'hydroxyles.

Nous disposons maintenant du polyol bactéricide qui va pouvoir être formulé afin d'obtenir un vernis.

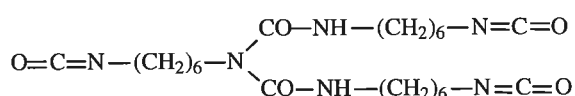
Formulation d'un vernis polyuréthane bactéricide

Les revêtements de polyuréthane (PU) sont utilisés dans de nombreuses applications pour la variété de leurs performances (résistance à l'abrasion, flexibilité ou dureté, résistance chimique, stabilité à la lumière et aux intempéries... [5]. Les vernis et peintures de polyuréthane, application qui nous intéresse tout particulièrement, sont utilisés essentiellement là où les contraintes d'environnement sont élevées (avions, bateaux, automobiles...).

D'une façon générale, un réseau de PU est obtenu par réaction entre un polyol et un polyisocyanate selon la réaction suivante :



Dans notre cas, nous utiliserons comme polyol le DGEBA quaternisé, ayant une fonctionnalité proche de 2. Par voie de conséquence, si on désire obtenir un réseau tridimensionnel de polyuréthane, il nous faudra utiliser un polyisocyanate de fonctionnalité supérieure à 2. De plus, pour une application en tant que vernis utilisable en milieu humide, il est recommandé de travailler avec des isocyanates aliphatiques, moins réactifs certes que les aromatiques, mais plus résistants à la température, à la lumière et surtout à l'humidité. Notre choix s'est donc porté sur le Tolonate HDB® (biuret de hexaméthylène diisocyanate) (Rhodia) de formule :



Protocole expérimental

L'oligomère quaternisé obtenu précédemment se présente sous la forme d'un « liquide » très visqueux. Afin de le

mélanger à l'isocyanate, nous n'aurons d'autre choix que l'utilisation d'un solvant. Le protocole envisagé pour la réticulation est une formulation bi-composant. Le polyol (DGEBA quaternisé) et le polyisocyanate (Tolonate) sont séparément dissous dans un solvant tel que le dichlorométhane (il faut bien entendu éviter tout solvant porteur de fonctions alcool qui réagirait avec l'isocyanate), puis les deux fractions sont rassemblées et mélangées le plus homogènement possible avant d'être déposées sur la plaque à vernir et étirées à l'aide du tire-film.

Calcul des proportions en réactifs

Les isocyanates sont habituellement caractérisés par leur pourcentage massique en fonction isocyanate (% NCO). Par exemple, dans le cas du Tolonate, Rhodia nous indique un % NCO de 21,9. **Les polyols** eux, sont généralement caractérisés par un indice d'hydroxyle (I_{OH}). Le protocole de ce dosage d'hydroxyle est le suivant :

Indice d'hydroxyle

Environ 200 à 300 mg de polyol sont dissous dans 10 mL d'une solution d'anhydride acétique dans la pyridine (5 % en volume d'anhydride acétique). Le mélange est porté à reflux de la pyridine pendant 3 h, puis hydrolysé avec environ 100 mL d'eau distillée. La solution hydrolysée est ensuite dosée en retour par une solution de soude à 1 mol.L^{-1} . Un « blanc », sans polyol, est également dosé par la même solution de soude (schéma 4).

On note :

- V_b : volume à l'équivalence du dosage de 10 mL de la solution d'anhydride acétique, après hydrolyse et sans ajout de polyol (dosage à blanc) par une solution de soude 1 mol.L^{-1} .

- V_e : volume à l'équivalence du dosage du polyol dans 10 mL de la solution d'anhydride acétique, après hydrolyse par une solution de soude 1 mol.L^{-1} .

Au vu de l'équation donnée dans le schéma 4, on obtient :

$$x = C_{\text{NaOH}} (V_b - V_e)$$

L'indice d'hydroxyle est défini comme la quantité de potasse (exprimée en mg) nécessaire pour saponifier l'ester obtenu

par estérification de 1 g du produit. L'indice d'hydroxyle expérimental est donc calculé selon la formule suivante :

$$I_{OH_{exp}} = \frac{C_{NaOH} \cdot 56,11 \cdot (V_b - V_e)}{m} \text{ en mg KOH/g}$$

avec m, (masse de l'échantillon) en g ; 56,11 représente la masse molaire de la potasse.

Dans le cas de notre polyol quaternisé, on obtient un I_{OH} environ 227.

L'industrie des polyuréthanes [6] définit des **pooids équivalents** NCO ou OH comme étant la masse de réactif correspondant à une mole de la fonction considérée, soit par conséquent :

$PE = M/F_n$, avec M, la masse molaire et F_n , la fonctionnalité moyenne.

Il en découle donc :

- $PE_{NCO} = (42 \cdot 10^3) / \% NCO = 191,8 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour le Tolonate. C'est une grandeur intrinsèque à chaque isocyanate, liée au % NCO.

- $PE_{OH} = (56,1 \cdot 10^3) / I_{OH} = 247 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ pour le polyol.

C'est une grandeur intrinsèque à chaque polyol, car ne dépendant que de I_{OH} .

On définit également un **index d'isocyanate** correspondant à l'excès (ou le défaut) d'isocyanate utilisé par rapport à la stœchiométrie, i.e. le rapport $[NCO]/[OH]$.

Ex. : index = 110 signifie $[NCO]_0/[OH]_0 = 1,1$, soit un excès de 10 % d'isocyanate.

Dans notre cas, pour un index de 110, il faudrait donc faire réagir 247 g de polyol et $1,1 \times 191,8 = 211 \text{ g}$ de Tolonate.

Les paramètres de formulation qu'il est possible de faire varier pour cette étude sont :

- La présence d'un catalyseur (ex : triéthylamine),
- La présence d'un allongeur de chaîne (ex : 1,4-butanediol), qui a pour but « d'assouplir » le réseau. En trop grande quantité, il donnera un vernis collant,
- L'index d'isocyanate (rapport optimal de 1,1 d'après la littérature). Si on le diminue de trop (ex : 0,5), on aura là encore un vernis collant ; à l'inverse, pour un rapport supérieur à 2, on aura un vernis très dur,
- La température de réticulation qui n'a d'effet que sur la cinétique de réaction mais pas sur les caractéristiques du film.

Un suivi cinétique de la réaction de réticulation peut être réalisé à l'aide de la spectroscopie IRTF en mode ATR. Pour cela, il suffit de suivre la décroissance du signal caractéristique des fonctions NCO vers 2260 cm^{-1} .

Conclusion

Ce TP a permis de travailler dans différents domaines de la chimie (synthèse, caractérisation et formulation) afin d'aboutir à un produit concret, un vernis, ayant des propriétés bactéricides. Pour un projet plus complet, il serait bien évidemment possible de quantifier les propriétés bactéricides de ces produits par des tests bien précis, mais cela nous entraîne dans des techniques très différentes et surtout des équipements bien particuliers [4].

Références

- [1] Domagk G., *Deut. Med. Wochschr.*, **1935**, *61*, p. 829.
- [2] Daudet E., Synthèse, caractérisation et propriétés biocides de polysiloxanes porteurs de fonctions ammonium quaternaire latérales, thèse de l'Université Paris XIII, **1997**.
- [3] Guyot J., Daudet E., Sauvet G., *French Pat.*, 97-0363, **1997**.
- [4] Destais N., Synthèse et caractérisation de nouveaux polymères à propriétés biocides permanentes et leur utilisation pour des peintures marines anti-salissures, thèse de l'Université Paris XIII, **1999**.
- [5] Orsini L., Peinture et vernis polyuréthanes, *EREC*, **1980**.
- [6] Woods G., *The ICI polyurethanes book*, Wiley, **1987**.



Nadège Destais-Orvoën

est ATER au Laboratoire de chimie et génie des procédés de l'École Centrale Paris*.

* École Centrale Paris, Laboratoire de chimie et génie des procédés, Grande voie des vignes, 92295 Châtenay-Malabry Cedex.

Tél. : 01 41 13 11 35. Fax : 01 41 13 15 97.

E-mail : orvoen@cgp.ecp.fr

« Ingénieur-chimiste »... ou « ingénieur chimiste » ?

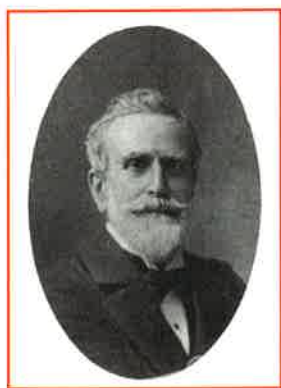
François Cœuret

Summary

« Ingénieur-chimiste »... or « chemical engineer »?

This paper reviews the origin (1878) of the French expression « ingénieur-chimiste » and its use during the development of the teaching of chemistry in France. Attention is drawn to the fact that this compound word is different from the expression « ingénieur chimiste » whose current English equivalent is « chemical engineer ».

Le **diplôme d'ingénieur-chimiste** semble avoir été mentionné en France pour la première fois à l'occasion de l'Exposition universelle de 1878 (Paris, Trocadéro). Charles Lauth, chimiste-manufacturier, membre du Conseil Municipal de Paris, était l'un des membres français du Jury international pour la Classe 47 (produits chimiques et pharmaceutiques), et aussi le secrétaire-rapporteur de ce jury. Au moment de l'exposition, C. Lauth écrivit à M. Teisserene de Bort, ministre de l'Agriculture et du Commerce, une lettre motivée par ses inquiétudes au sujet du manque de développement des études chimiques en France à l'époque, comparativement à ce qui avait été fait en Allemagne et en Suisse. Le texte de cette lettre avait été reproduit par Lauth à la fin de l'introduction de son rapport qui fut édité en 1881 par l'Imprimerie nationale [1]. Le lecteur trouvera ci-après la transcription du texte de cette lettre (les mots mis en gras sont ceux qui apparaissent en italique dans le texte édité).



Charles Lauth (1836-1913)
(archives ESPCI), DR.

« Monsieur le Ministre, vous avez bien voulu m'autoriser à vous adresser une note reproduisant les observations que j'ai eu l'honneur de vous présenter verbalement, au sujet de l'utilité qu'il y aurait, selon moi, à constituer une **école de chimie** à Paris.

Je saisis avec empressement cette occasion d'exposer des idées dont la réalisation me paraît depuis longtemps désirable ; elle n'est pas indigne d'attirer l'attention d'un Ministre ami du progrès.

L'Exposition de 1878 a montré que, sur certains points considérés naguère comme invulnérables, nos

industries nationales sont sérieusement battues en brèche par la concurrence étrangère.

En ce qui concerne les arts chimiques, nous considérons le danger comme très grave ; il est d'autant plus redoutable, que le mal n'est pas superficiel ; il tient à une cause profonde et radicale.

Il doit être hors de doute pour tous ceux qui ont examiné les produits de la classe 47 que si la France y est représentée d'une façon digne d'elle, les autres pays ont fait, depuis ces

dernières années, des progrès considérables ; que, dans certaines branches de nos industries chimiques, nous sommes dépassés, et que l'ensemble des expositions étrangères dénote une vitalité, une ardeur de recherches, une série de travaux suivis de succès, qu'on ne trouve pas chez nous au même degré. Et lorsque, après avoir admiré les découvertes des chimistes et des savants anglais, autrichiens, suisses, on se rappelle que l'Allemagne n'était point représentée dans cette lutte internationale, où elle aurait incontestablement tenu un des premiers rangs, on a lieu d'être préoccupé de l'avenir qui nous est réservé, et de se demander, par suite, si la France fait tout ce qu'elle devrait pour conserver sa supériorité.

Les exemples ne manquent pas pour prouver jusqu'à l'évidence que nous sommes sérieusement menacés : le procédé dit à l'**ammoniaque**, pour la fabrication de la soude, est devenu pratique entre des mains étrangères ; la régénération du bioxyde de manganèse est due à un chimiste anglais, et ces deux découvertes capitales bouleversent notre grande industrie chimique.

La fabrication de l'alizarine artificielle, réalisée en Allemagne, a ruiné les producteurs français de garance ; les progrès incessants que font nos concurrents étrangers dans la préparation des couleurs dérivées de l'aniline sont une menace de tous les jours pour les quelques maisons françaises qui exploitent cette industrie.

On ne saurait assez insister sur cette situation, parce que le patriotisme consiste, non à méconnaître les fautes, mais à les corriger ; elle provient, à notre avis, d'une seule cause : le manque de chimistes.

Cette affirmation peut paraître surprenante à ceux qui savent qu'il existe au moins vingt-cinq laboratoires de chimie à Paris ; elle peut paraître téméraire aux maîtres qui dirigent ces laboratoires.

Nous ne désespérons pas cependant de montrer qu'elle est exacte. Il ne peut entrer dans notre pensée de diminuer la valeur des savants illustres qui professent à l'École de médecine ou à la Sorbonne, au Collège de France, au Muséum ou à l'École normale ; il ne faudrait pas croire, non plus, que le nombre de nos jeunes chimistes ou leur bonne volonté soit insuffisante. Ce qui manque, ce n'est ni le maître ni l'élève : c'est l'école !

Les laboratoires de Paris ne sont pas des **laboratoires d'enseignement** ; les professeurs y réalisent leurs découvertes, y poursuivent leurs recherches ; leurs

préparateurs les assistent dans leurs expériences, s'occupent des cours publics et consacrent le reste de leur temps à des travaux personnels.

Quant aux élèves, ils travaillent sans direction suivie : dans certains laboratoire, quelques conférences, quelques conseils donnés par le professeur ou le chef de laboratoire, voilà toute l'éducation reçue par l'élève. Il a la faculté de travailler ; le laboratoire est bien aménagé, mais personne ne lui apprend à se servir de ce qu'il a sous la main.

Ce sont des laboratoires excellents pour ceux qui savent, et insuffisants pour ceux qui veulent apprendre.

La critique que nous faisons passe par-dessus la tête des professeurs et des élèves, elle ne vise ni les uns ni les autres : c'est le système qui est mauvais. Aussi sommes-nous fort à l'aise pour insister sur un vice qui ne tient à autre chose qu'à une manière spéciale d'envisager le but à atteindre. Les professeurs de chimie sont chargés de faire un cours déterminé, de mettre, par leurs leçons, les élèves en mesure de passer leurs examens de licenciés ès sciences, de pharmaciens ou de docteurs en médecine ; en dehors de cette obligation, ils ne sont point tenus de faire l'éducation chimique de leurs auditeurs ; leur mission est de faire progresser la science, et non de consacrer leur temps et leur intelligence à l'instruction de jeunes gens inexpérimentés.

Il n'est pas de professeurs qui soient chargés d'enseigner les applications de la chimie, de faire rechercher les transformations d'un fait scientifique en un résultat pratique, de susciter la création d'une industrie nouvelle. Dans l'organisation de notre enseignement, il n'est pas même d'école où pourrait prendre place un professeur qui voudrait réaliser ce programme. Ni le Conservatoire des arts et métiers, ni l'École centrale, ni les Écoles des arts et métiers, ne répondent à ce **desideratum**.

Nos industries chimiques prennent de plus en plus un caractère scientifique ; l'usine n'est plus qu'un grand laboratoire, dans lequel la victoire restera au plus savant : de là, la nécessité impérieuse d'une **école nationale de chimie**. Nous ne pensons pas qu'il y ait lieu de songer à transformer nos établissements scientifiques, qui ont tous un but déterminé ; on se rappelle qu'on a essayé en vain d'introduire l'enseignement de l'agriculture dans le programme des cours du Muséum : les résultats ont été nuls, et l'enseignement n'a pu être réalisé que par la création d'une école spéciale, **l'Institut agronomique**.

Nous ne nous adressons donc pas au Ministère de l'instruction publique, et nous estimons que c'est au Ministère de l'agriculture et du commerce qu'il appartient, au nom des intérêts de notre industrie, de créer ce nouveau système d'enseignement, c'est à lui que nous demandons de créer une **école nationale de chimie**.

Sans avoir la prétention de formuler dès maintenant un programme définitif, nous pensons qu'on pourrait lui donner les bases suivantes :

L'enseignement se composerait de trois années d'études consécutives, comprenant à la fois un enseignement théorique sous forme de cours ou de conférences, et un enseignement pratique, c'est-à-dire le travail de laboratoire. La première année serait consacrée à l'analyse minérale qualitative et quantitative, et à quelques préparations élémentaires ; les conférences porteraient sur la chimie générale inorganique et organique.

La seconde année serait consacrée à l'analyse organique, aux analyses industrielles et aux préparations délicates ou complexes ; le sujet des conférences serait l'exposé des principales industries chimiques.

Enfin, dans la troisième année, on habituerait les élèves à la solution des problèmes industriels, par des travaux méthodiques, portant sur les **desiderata** des problèmes de nos diverses industries ; les conférences mettraient les élèves au courant des faits les plus récents de la science et de l'industrie.

Un examen d'entrée à l'école permettrait de n'y admettre que ceux qui montreraient des aptitudes réelles pour la chimie.

Un examen de fin d'année serait obligatoire pour le passage d'une classe dans l'autre.

Enfin à l'expiration des trois années, un examen ou un concours pourrait conférer aux élèves méritants un **diplôme d'ingénieur-chimiste**.

Ainsi se trouverait comblée la lacune que nous signalions : professeurs et élèves seraient, par ces examens, contraints de suivre un programme déterminé, une méthode régulière ; la marche progressive des études et les difficultés qui accompagneraient le passage d'une année à l'autre stimulerait l'ardeur des travailleurs, exciteraient leur émulation ; enfin la sanction donnée aux études chimiques, cette sanction qui existe partout ailleurs et dont l'absence est si déplorable, ce diplôme d'ingénieur-chimiste développerait chez tous les jeunes candidats une ambition généreuse dont les résultats ne peuvent être qu'avantageux.

Ce titre acquerrait rapidement une valeur considérable, tant aux yeux des élèves, dont il faciliterait la carrière industrielle, qu'aux yeux des manufacturiers, pour lesquels il serait la garantie du mérite et de la science.

Telles sont les bases générales sur lesquelles nous pensons qu'il serait bon de créer l'**école nationale de chimie**.

Il conviendrait sans doute de profiter, pour arrêter un programme définitif, de l'expérience de nos voisins de Suisse ou d'Allemagne, si experts en ces choses ; cette étude préliminaire permettrait en outre d'arrêter un projet sérieux de budget ; ce dernier point ne paraît pas devoir soulever de grandes difficultés ; le local pourrait être trouvé notamment dans les vastes constructions du Champ de Mars.

Les frais de premier établissement, d'agencement, ne sauraient être très élevés ; reste donc la question des dépenses annuelles, qui comprendraient, à côté des acquisitions de produits, des achats de verreries, de la consommation du gaz et de l'eau, les traitements du personnel.

Pour une étude de 60 élèves (20 élèves par année), il faudrait : un directeur, 3 professeurs, 3 préparateurs, etc.

Une partie des dépenses serait couverte par la rétribution exigée des élèves.

Le sacrifice pécuniaire à faire par l'État ne paraît pas hors de proportion avec le but qu'il s'agit de poursuivre.

Veillez agréer, Monsieur le Ministre, l'expression de ma haute considération ».

Charles Lauth manifesta donc là l'idée de voir se créer une École Nationale de Chimie pour remédier au manque de chimistes qui, à son avis, était responsable de la faiblesse de certaines branches des industries chimiques françaises par rapport à celles des autres pays. Si les laboratoires de recherche existaient, l'enseignement de la chimie n'était pas organisé et les applications de la chimie à l'industrie n'étaient pas enseignées. Lauth proposa un schéma d'enseignement sur trois années, avec examen d'entrée à l'École Nationale de Chimie, examen de passage d'une année à la suivante, et examen (ou concours) final attribuant, aux élèves méritants, le **diplôme d'ingénieur-chimiste**. Dans l'esprit de Lauth, il

s'agissait d'enseigner la chimie pratique, c'est-à-dire la chimie de l'industrie. Le professionnel que Lauth pensait faire préparer était donc un chimiste industriel.

La position de la chimie française à la fin du XIX^e siècle a été bien présentée par D. Fauque et G. Bram dans un article qui rappelle aussi l'idée de C. Lauth [2]. Les origines de la locution « ingénieur-chimiste » ont également été rappelées par F. Cœuret [3] qui souhaitait mettre en exergue l'importance du sens à donner à la locution pour ce qui est de l'ingénierie chimique (notre « génie chimique ») et l'ingénierie des procédés (notre « génie des procédés »). Plus récemment, l'auteur attirait l'attention sur le mot « génie » et sur les conséquences de son usage, lui préférant finalement le mot « ingénierie », plus adapté, parfaitement traduisible en ses correspondants des autres langues, plus compréhensible, et recommandant son usage [4].

Le présent article a pour objet de présenter au lecteur les détails des conditions dans lesquelles apparut la locution « ingénieur-chimiste », et aussi d'attirer l'attention sur le changement qu'il y eut au cours du temps sur l'écriture de la locution, et finalement sur le sens à lui donner.

Premières mises en place du diplôme d'ingénieur-chimiste

Si le diplôme d'ingénieur-chimiste naquit avec les écoles de chimie, ce fut seulement en 1882 lorsque, à l'initiative du Conseil Municipal de Paris, l'idée de Lauth (qui avait été membre de ce Conseil) fut reprise pour conduire à la création de l'École de Physique et Chimie de la Ville de Paris. L'histoire et les péripéties de ce diplôme, jusqu'en 1928, sont données dans l'ouvrage de René Sordes [5] duquel a été extraite la synthèse proposée ci-après au lecteur, en y ajoutant quelques commentaires.

L'École de Physique et Chimie créée à Paris était une École Municipale. La première École Municipale avait été créée à Mulhouse en 1871 (École Municipale de Chimie Industrielle de Mulhouse); celle-ci fut d'ailleurs la première École de Chimie de France. L'École créée à Paris fut rattachée à l'Enseignement professionnel en 1891, mais ce n'est que beaucoup plus tard (1927) qu'elle fut rattachée à la Faculté des sciences de Paris, c'est-à-dire à l'enseignement supérieur. Dès l'origine, l'École délivra le **diplôme d'ingénieur-chimiste**. L'enseignement dispensé associait les mathématiques et la mécanique à la physique de l'ingénieur (électricité appliquée, machines thermiques, physique générale, etc.) et à la chimie, mais il n'était apparemment pas question de chimie industrielle.

En 1876, la Faculté des sciences de Lyon avait innové en créant une chaire de chimie industrielle et agricole, laquelle fut le point de départ de l'Institut de Chimie Industrielle de Lyon. Ce fut l'éminent savant Grignard qui, alors qu'il en était le directeur (à partir de 1923), attira l'attention sur le problème posé par le « caractère rudimentaire des connaissances des jeunes ingénieurs en matière d'art de l'ingénieur et sur les difficultés très sérieuses qu'ils rencontraient au début de leur carrière dans l'industrie ». Pour Grignard, « la chimie consistait en peu de choses à côté de ce qu'on leur demandait parfois (marche des moteurs thermiques ou électriques, installation des appareils, construction de bâtiments industriels, etc.) ». Il semble que l'Institut de Chimie Industrielle de Lyon ait tenu l'une des premières places parmi les instituts créés au sein des Facultés.

A la différence des autres Instituts de Chimie, l'Institut Chimique de Nancy aurait été, quant à lui, pratiquement créé de

toutes pièces en 1889 et, toujours d'après Sordes [5], il lui aurait été associé en 1900 un Institut d'Électrochimie. Son diplôme, tenu en estime depuis l'origine, aurait d'abord été celui de chimiste, puis d'ingénieur-chimiste (1901).

On vit apparaître de nombreuses institutions orientées vers la chimie, et qui délivrèrent le diplôme de chimiste, puis d'ingénieur-chimiste. On peut citer l'Institut de Chimie Appliquée (Paris), l'Institut de Chimie de Lille, l'Institut de Chimie de Bordeaux, etc.

La Loi du 10 juillet 1896 fut à l'origine de nombreuses créations. Cette loi regroupa les Facultés (jusqu'alors sous le contrôle de l'État, mais sans liens entre elles) au sein des Universités qui eurent toute liberté pour instituer des titres d'ordre exclusivement scientifique, en dehors des grades établis par l'État et déjà conférés par les Facultés. Ces titres correspondaient à des diplômes essentiellement délivrés au nom des Universités et par celles-ci. On pensait alors que ceci allait entraîner une émulation entre les Universités. Évoquant l'idée pour parvenir à une telle émulation, Raymond Poincaré disait, le 18 juin 1898, qu'il s'agissait « d'assurer aux Universités, outre les subventions inscrites au budget, des ressources variant avec leur population scolaire ». Il ajoutait : « De la sorte, elles rivaliseront entre elles pour attirer et retenir les étudiants et cette émulation tournera au bien de hautes études, de la science et du pays ». A ce sujet, René Sordes faisait les commentaires suivants (dans ces commentaires, le texte mis en gras ci-dessous était en italique) :

« Dès lors, les Facultés disposant de ressources modestes avaient intérêt, pour vivre largement, à attirer le plus grand nombre possible d'élèves et même celles dont l'existence semblait être d'une nécessité douteuse, trouvèrent dans cette nouvelle législation un salut jusqu'alors compromis. L'État se trouvait débarrassé du fardeau financier et la liberté de l'enseignement devait, d'après le législateur « amener au plus haut degré le développement scientifique ». En réalité, seul le premier résultat fut acquis.

Les anciennes licences attestant des connaissances générales sérieuses et nécessitant une discipline d'études sévère, furent trop facilement concurrencées par la licence d'Université, accordée aux possesseurs de trois certificats choisis arbitrairement. Même succès pour le doctorat d'Université qui n'exige la possession d'aucun diplôme antérieurement acquis. Les étudiants vinrent nombreux, surtout à partir de l'époque de la loi militaire dite « de trois ans », chercher un parchemin leur donnant un titre facilement accessible et l'exemption de deux années de service militaire. Ils sont plus nombreux encore aujourd'hui !

Ce fut aussi l'époque où les Universités autres que celles dont nous avons parlé précédemment, créèrent des diplômes d'allure industrielle. Ceux-ci, en effet, pouvaient attirer un grand nombre d'étudiants, espérant trouver une situation dans le vaste débouché qu'offre l'industrie. Beaucoup de ces Instituts végétèrent et certains, ne pouvant se résoudre à conserver une situation précaire, montrèrent une complaisance excessive pour le nombre et la qualité des diplômes délivrés.

D'une façon générale, le diplôme de chimiste fit place à celui d'ingénieur-chimiste, toujours pour les mêmes raisons. L'enseignement ne correspondait certes pas à celui qu'aurait dû recevoir un élève ingénieur, devant connaître, outre la chimie, les choses essentielles de la mécanique, de la construction, de l'électricité. Ces Instituts annexés aux

Facultés continuèrent à former parfois d'excellents chimistes, mais restèrent, malgré certaines indications de programmes généralement peu suivis, très loin des conditions minima de formation des ingénieurs-chimistes.

La guerre et l'engouement pour la chimie qui l'a suivie n'ont fait qu'exagérer cette tendance regrettable. Actuellement, en dehors des Écoles dont il a déjà été parlé, le diplôme d'ingénieur-chimiste est délivré par les Facultés suivantes : Besançon, Caen, Clermont-Ferrand, Marseille, Montpellier, Poitiers, Rennes, Toulouse, et par l'Institut Industriel du Nord et l'École de Chimie Industrielle de Rouen, rattachée à la Faculté de Caen, soit en tout dix-huit Écoles ou Instituts ; c'est un chiffre imposant ! ».

On retiendra que c'est, semble-t-il, la liberté donnée aux Universités de délivrer des diplômes d'Université qui fut à l'origine de la prolifération des diplômes d'ingénieur-chimiste. Le caractère industriel que le mot « ingénieur » du diplôme venait matérialiser dans le mot composé « ingénieur-chimiste », aurait laissé espérer aux étudiants chimistes des débouchés dans le monde industriel.

Si la guerre de 1914-1918 semble avoir été à l'origine d'une longue période de discussion au sujet du diplôme lui-même [5], ce fut à cause du fait que la chimie industrielle française n'était pas organisée, ce qui rejoignait l'opinion qu'avait manifestée C. Lauth à l'issue de l'Exposition universelle de 1878.

Comme l'Allemagne avait pris un monopole de fait dans beaucoup de domaines de l'industrie chimique, la guerre de 1914-1918 déclencha automatiquement un sursaut de l'industrie chimique française, puisque les composés chimiques ne nous parvenaient plus. Aux chimistes et ingénieurs-chimistes d'alors, il fallut, quittant les tranchées, mettre en place les fabrications qui manquaient à notre pays. Mais, comme ces professionnels ne se sentaient pas bien considérés, ils trouvèrent le besoin de se regrouper pour défendre leur profession. Leur rappel en 1915 sous les drapeaux les assimilait aux ouvriers mobilisés, sans statut légal du type de celui dont bénéficiaient les médecins et les pharmaciens. Ils souffraient de n'être pas compris dans le nombre de spécialistes que le pays avait intérêt à préserver, quand l'industrie chimique avait besoin de leur présence dans les usines. Cette reconnaissance fut finalement admise en principe, et une proposition de loi (Loi Pathé-Breton) fut déposée à la Chambre en 1917. A l'article 3 de cette proposition de loi, une hiérarchie était prévue pour les grades à attribuer :

Commandant à un ingénieur-chimiste en chef,
Capitaine à un ingénieur-chimiste principal,
Lieutenant à un ingénieur-chimiste de 1^{ère} classe,
Adjudant à un ingénieur-chimiste auxiliaire.

« hiérarchie qui aurait alors été constituée par :

1 - les Professeurs, Maîtres de Conférence, Chefs de Travaux de Chimie des Facultés et des Grandes Écoles de l'État,

2 - les Directeurs des Laboratoires de l'État ou des Services publics,

3 - les Docteurs-ès-Sciences,

4 - les Préparateurs de Chimie des Facultés des Sciences,

5 - les anciens élèves diplômés des Écoles de Chimie des Facultés et de l'École de Physique et Chimie,

6 - les Chimistes des Laboratoires de l'État ou des Services publics ».

« Ce projet n'eut pas de suite et, malgré d'énergiques protestations, ne fut pas repris, le classement de la 5^e

catégorie manquant, malgré les affirmations des rapporteurs, de la précision nécessaire » [5].

Si le projet de loi fut abandonné, ce fut en raison de la difficulté d'appréciation pour qualifier d'un grade donné un ingénieur-chimiste militaire, étant donné la différence d'origine et de valeur de tous ceux qui pouvaient alors s'intituler « ingénieur-chimiste », car l'enseignement dispensé aux ingénieurs-chimistes variait beaucoup trop d'un établissement à l'autre.

A l'issue de la guerre, au cours de laquelle la chimie française avait joué un rôle capital, notre industrie chimique s'était affranchie de l'Allemagne et allait faire l'objet d'une ruée de candidats à la carrière chimique. Le problème qui se posait alors fut de remédier au manque d'organisation des enseignements, ceci afin d'assurer aux chimistes de l'industrie une situation matérielle et morale, car ils étaient toujours considérés comme des parents pauvres vis-à-vis d'autres cadres professionnels de l'industrie. Pour défendre leur situation, les chimistes de l'industrie se regroupèrent d'abord dans une éphémère « Association des Ingénieurs-Chimistes et Chimistes Français », puis dans le « Syndicat des Ingénieurs-Chimistes Français ». Pour assurer le recrutement de ce groupement, il apparut essentiel de définir ce qu'était au juste un ingénieur-chimiste, et aussi de ne pas ouvrir la porte à tous ceux qui étaient concernés par la chimie. Il apparaissait en effet que le mot « chimiste » pouvait désigner aussi bien le spécialiste en chimie que le technicien et l'aide de laboratoire; tous ne pouvaient pas être qualifiés d'ingénieurs-chimistes. Il y avait aussi l'Union Nationale des Écoles de Chimie qui indiquait les réformes indispensables à apporter à l'enseignement.

C'est ainsi que plusieurs problèmes se seraient posés à l'époque.

- Tout d'abord, au sujet du contenu de l'enseignement : à côté de la chimie pure, on sentait la nécessité de donner aux futurs ingénieurs-chimistes des notions de physique, de mécanique, de dessin industriel, et des cours de technologie générale associée aux méthodes et aux procédés généraux de l'industrie chimique. Bien que ces vœux aient été émis en 1920, il ne semble pas que le concept d'opérations unitaires de l'ingénierie chimique [notre « génie chimique »] ait été vu, alors qu'il apparaissait aux États-Unis en 1915, sous l'impulsion de A.D. Little.

- La sélection à l'entrée par les mathématiques était considérée comme funeste ; on pensait qu'elle pouvait détourner des Écoles de Chimie de médiocres mathématiciens qui auraient pu se révéler être d'excellents chimistes.

- Il apparaissait nécessaire d'éviter la spécialisation à outrance que pratiquaient certains instituts de province.

C'est ainsi que l'idée fut un instant émise de délivrer un diplôme d'état d'ingénieur-chimiste sur la base d'un enseignement général scientifique élargi vers les connaissances de l'ingénieur. Ce diplôme aurait pu être délivré par un jury unique pour toute la France, voire découler d'un enseignement général unique donné à Paris, les Instituts de province n'assurant alors que les spécialisations (c'était de nouveau l'idée de créer une École Supérieure de Chimie). A ce sujet, on relève dans [5] les commentaires suivants :

- « M. Le Chatelier voit aussi le remède dans la création d'une École Supérieure. L'opinion qu'il a des Instituts de Chimie est telle qu'il ne peut espérer, ni dans le présent, ni dans l'avenir, une amélioration de leur enseignement, du moins telle qu'il la souhaite.

« Les laboratoires des Instituts de Chimie, dit-il, ne répondent pas davantage aux conditions nécessaires. Les élèves de ces Instituts n'ont pas de connaissances scientifiques générales suffisantes, et surtout le travail du laboratoire y est trop spécialisé. Un chimiste qui n'est rien que chimiste, ne peut pas rendre, la plupart du temps, les services qui lui sont demandés dans l'industrie »,

et l'éminent professeur conclut à la nécessité d'une École Supérieure de Chimie ».

- « Par ailleurs, des appréciations sévères étaient formulées sur les Instituts de Chimie. M. Moureu, dans un article paru en 1920 dans la Revue Hebdomadaire, disait, à propos du régime des Facultés des Sciences :

« On entre d'ordinaire dans les Instituts de Chimie à la suite d'un concours spécial, qui généralement comporte, entre autres, des épreuves élémentaires de mathématiques, de physique et chimie ; s'il n'est pas douteux qu'on recrute ainsi de bons et même d'excellents élèves, on ne saurait nier que le niveau du concours, trop peu élevé, ouvre trop souvent la porte à des esprits médiocres qui, fréquemment, se sont vu interdire l'accès à d'autres carrières par l'échec au baccalauréat. On nous assure que, le nombre de candidats augmentant, la sélection s'améliore ; nous le souhaitons vivement ».

Dans une magistrale étude sur l'enseignement supérieur, parue à la même époque dans l'Action Nationale, le Professeur Urbain, particulièrement qualifié pour juger de cette question, déplorait la situation lamentable de la recherche, en France, faute d'un enseignement approprié. Il s'exprimait ainsi au sujet des Instituts de Chimie : « Ceux-ci délivrent des diplômes d'ingénieurs-chimistes, bien qu'ils ne forment que des manipulateurs destinés à l'industrie. Celle-ci en avait besoin et il convient d'applaudir ».

Il semble clair que la corporation des ingénieurs-chimistes souffrait de ne pas avoir le rang de grand corps de l'État. Les ingénieurs-chimistes d'alors sentaient, en effet, qu'en raison du manque d'organisation nationale de leur préparation, ils ne pouvaient pas concurrencer les anciens élèves des Grandes Écoles pour occuper les postes les plus élevés de l'industrie. Il importait donc, pour cette corporation, que le mérite intellectuel et professionnel de ses adhérents ne puisse pas être mis en doute. Si la question de l'enseignement se posait ainsi à nouveau, il fallait, pour y répondre, définir tout d'abord l'ingénieur-chimiste, ce à quoi s'attacha, en 1922, le Syndicat des Ingénieurs-Chimistes, comme déjà indiqué précédemment. Parmi les remarques extraites de l'article écrit par ce syndicat, et reproduit partiellement par Sordes, on peut noter (les parties mises ci-dessous en italique sont transcrites à partir de cet article) :

- que le chimiste sent son « rôle ignoré par les services de l'État », et se sent « cantonné aux analyses » par ceux qui utilisent ses services ;

- les professionnels placés aux postes élevés sont « sélectionnés sur des aptitudes mathématiques », alors que l'aptitude d'observation indispensable au chimiste n'est pas prise en compte. Le prestige, la prépondérance dans les questions techniques, sont refusées aux chimistes qui sont « relégués aux situations les plus modestes » ;

- la sélection à l'entrée des Grandes Écoles (X, Centrale, Mines, Ponts) se fait sur les mathématiques, de telle sorte que l'échec en mathématiques apparaît comme déterminant l'orientation vers la profession de chimiste, et donc aussi vers le diplôme d'ingénieur-chimiste ;

- on considérait que beaucoup de chimistes n'avaient pas les connaissances mathématiques suffisantes pour ne pas se trouver, dans l'industrie, « en état d'infériorité devant l'ingénieur ayant fait en général de modestes études chimiques ». En d'autres termes, les travaux de ce dernier étaient inaccessibles au chimiste, et inversement ;

- cela aurait été « pour donner un peu de lustre au qualificatif de chimiste, resté dans l'ombre », que les Universités y « joignirent le qualificatif d'ingénieur, celui-ci précédant le premier. Elles n'adoptèrent d'ailleurs pas la moindre parcelle de l'enseignement mathématique donné par les Grandes Écoles et qui définit en quelque sorte l'ingénieur » ;

- on reconnaissait que cela avait été « un non-sens de vouloir faire une distinction entre l'ingénieur-chimiste et le chimiste », car cela était revenu à confirmer le prestige des élèves des Grandes Écoles. On considérait qu'il aurait « été préférable, et tout aussi facile, de défendre d'abord le titre de chimiste, et d'éviter son usurpation par les laveurs de vaisselle. Le chimiste aurait pu, ensuite, tout à son aise, ajouter, pour confirmer ses études techniques et son emploi dans l'industrie, le titre d'ingénieur, sans que ce dernier ait eu le regrettable privilège d'anoblir en quelque sorte le premier ».

Il semblait donc clairement exister, à l'époque, une grande amertume chez les professionnels de la chimie de l'industrie. Dans beaucoup de cas, il semble que ce fut parce qu'ils souhaitaient chez eux une certaine hiérarchisation, que l'appellation « chimiste » ne permettait pas, et parce qu'ils se sentaient sous-classés auprès des ingénieurs diplômés des Grandes Écoles, que le qualificatif « ingénieur » fut associé à « chimiste » dans ingénieur-chimiste. Il est vrai que jadis, où les ingénieurs étaient peu nombreux dans une entreprise donnée, l'ingénieur était une autorité, un notable même, alors qu'aujourd'hui être ingénieur par diplôme est devenu quelque chose de banal. On pourrait aussi comprendre, par ailleurs, que l'appellation de chimiste ne permettait pas de distinguer entre un technicien-chimiste de laboratoire, voire un aide de laboratoire, et un chimiste au sens de spécialiste de la chimie, et qu'une clarification fut nécessaire. Beaucoup plus tard, dans les années 50, on trouvait d'ailleurs encore, dans la présentation publicitaire d'un institut de chimie d'université qui préparait, en province, d'une part des ingénieurs-chimistes, d'autre part des chimistes, le texte suivant : « Le but de l'Institut de chimie est de former des Ingénieurs-Chimistes qualifiés ou des Chimistes instruits aptes à occuper des postes... ». Le qualificatif « instruits » associé ici au mot « chimistes » laisserait entendre que d'autres chimistes auraient pu avoir des connaissances limitées en chimie, ou plutôt ne pas devoir être assimilés à des spécialistes de la chimie, et témoignerait en faveur de la survivance du problème évoqué précédemment. Il est donc évident qu'un malaise existait depuis la Loi du 10 juillet 1896, et donc depuis trop longtemps, et qu'une organisation était nécessaire.

En 1925, un rapport du Syndicat avait servi à préparer un projet de loi. Ce rapport se penchait sur les connaissances que l'on était en droit d'exiger de l'ingénieur-chimiste. À côté de fortes connaissances de chimie, il apparaissait l'absolue nécessité de la formation au laboratoire, ainsi que :

- de sérieuses connaissances de physique générale,
- le besoin d'« être familiarisé avec les principes essentiels de la mécanique appliquée, de la construction, du dessin industriel », etc., et connaître à fond la technologie chimique... « Sans avoir à se substituer aux ingénieurs spécialistes mécaniciens, électriciens ou constructeurs,

l'ingénieur-chimiste doit parler leur langue, fixer et diriger leurs travaux ».

Le projet de loi présenté par le Syndicat envisageait la création d'un diplôme d'ingénieur-chimiste DPLG. Ce projet prétendait « répondre à une nécessité immédiate et préparer l'avenir ». Dans la présentation qui était faite de ce projet, le Syndicat écrivait :

« L'État ne peut rester indifférent devant le prodigieux développement de l'industrie chimique et se devait d'apporter à l'organisation de l'enseignement qui formerait les chefs, la même méthode, le même souci de l'effort coordonné qui avait présidé à la création des Grandes Écoles dont l'enseignement est à base mathématique ».

Une Commission officielle avait été constituée le 8 février 1928 pour étudier le projet de loi en question. Elle comprenait des personnalités scientifiques comme Victor Grignard (alors directeur de l'École de Chimie de Lyon) et Paul Sabatier (alors directeur de l'École de Chimie de Toulouse), tous deux anciens prix Nobel, à côté de représentants de l'enseignement supérieur, de l'enseignement technique, de l'Union Nationale des Ingénieurs-Chimistes, du Syndicat des Ingénieurs-Chimistes, de la Société de Chimie Industrielle, et de l'industrie. Ses travaux étaient seulement en cours au moment de l'édition de l'ouvrage de Sordes [5].

Remarques sur les origines de l'appellation « ingénieur-chimiste »

Bien que concerné initialement par la chimie pratique, et pour remédier à un manque de chimistes, le titre d'ingénieur-chimiste imaginé par Lauth aurait peut-être pu recouvrir, au fil des années, des compétences analogues à celles du « *chemical engineer* » anglo-américain de Davis (Manchester, Royaume-Uni, 1887) et de Lewis M. Norton (Massachusetts Institute of Technology, États-Unis, 1888). En effet, il est évident que les premières Écoles ou Instituts (Paris, Lyon, Nancy) avaient vraiment saisi l'importance de l'enseignement de l'art de l'ingénieur pour l'industrie chimique. Mais la préparation de l'ingénieur-chimiste s'était cristallisée autour de l'enseignement de la chimie, et ceci à cause de la loi du 10 juillet 1896. L'ouvrage de Sordes [5], bien que datant de 1928, ne fait d'ailleurs aucune allusion au « *chemical engineer* » anglo-américain, ce qui peut donc bien laisser penser qu'il n'y eut probablement aucun lien d'origine entre les deux appellations « ingénieur-chimiste » et « *chemical engineer* ».

On pourrait aussi penser que la situation eut pu être différente si Lauth avait proposé le titre de *chimiste industriel* dont on vit apparaître l'équivalent dans d'autres langues, comme par exemple en langue anglaise (« *industrial chemist* ») et en langue espagnole (« *químico orientación industrial* »). Et pourtant, si un titre tel que « chimiste industriel » aurait probablement reflété à l'époque la réalité, il n'aurait pas résolu le problème posé jadis par l'ambiguïté des compétences existant derrière le mot « chimiste » (spécialiste de la chimie, aide de laboratoire de chimie ?).

Finalement, il semble que l'idée de Lauth de préparer des ingénieurs-chimistes se trouva assez vite détournée pour servir alors plusieurs types d'intérêts :

- d'une part, en associant le mot « ingénieur » à « chimiste », donner du statut aux chimistes de l'industrie par rapport aux ingénieurs diplômés des Grandes Écoles ;
- d'autre part, permettre de faire une distinction de niveau entre les professionnels alors qualifiés de « chimistes » ;

- enfin, permettre à des institutions universitaires se consacrant à la chimie, d'attirer des élèves désireux de se placer dans l'industrie grâce à l'attrait d'un diplôme d'allure industrielle.

Après 1928

Le livre de Sordes, qui analyse donc la période antérieure à 1928, montre qu'il avait été pris conscience de l'urgence qu'il y avait à résoudre les difficultés qui se présentaient depuis trop d'années déjà. Malgré tout, la loi au projet de laquelle travaillait une Commission officielle à partir du 8 février 1928, ne vit pas le jour. Ce fut la Loi du 10 juillet 1934 qui apparut, loi plus générale que celle envisagée en 1928, puisque réglementant les conditions de délivrance et l'usage du titre d'*ingénieur diplômé* et instituant une *Commission des Titres d'Ingénieur*, laquelle existe encore aujourd'hui. Depuis le vote de cette Loi de 1934 et les décrets qui l'ont suivie, le titre d'ingénieur diplômé, le seul reconnu en France, doit, pour être valable, être suivi du nom de l'École qui a délivré le diplôme, ou être suivi d'un des titres d'ingénieur créés ou reconnus par l'État.

Le redémarrage industriel qui suivit la Seconde Guerre mondiale réactiva cette question de la préparation des ingénieurs. C'est d'ailleurs (seulement, si l'on peut dire) à la fin des années 40 que put s'introduire en France le concept d'ingénierie chimique (notre « génie chimique »), concept correspondant au « *chemical engineering* » anglo-américain qui était apparu à la fin du XIX^e siècle. A son retour du Canada, en 1936, Joseph Cathala, qui avait succédé à Paul Sabatier dont il avait été l'élève, avait déjà cherché à convaincre de faire cette introduction en France, mais cela avait alors été sans succès. Ce fut une dizaine d'années plus tard, la nécessité de la reconstruction industrielle d'après-guerre aidant, que Joseph Cathala créa, à Toulouse, le premier établissement français consacré à la préparation d'ingénieurs pour le « *chemical engineering* », branche des sciences de l'ingénieur qui avait déjà reçu au Canada le nom de « génie chimique », par analogie à d'autres formes de génie. Le professionnel reçut la désignation pléonastique « ingénieur du génie chimique », alors qu'il aurait dû être désigné par « ingénieur chimiste » (sans trait d'union entre les deux mots), par équivalence avec les autres langues (« *chemical engineer* » pour l'anglais, « *ingeniero químico* » pour l'espagnol, « *engenheiro químico* » pour le portugais, etc.) [4]. Cette désignation pléonastique a pu être une conséquence de l'emploi du mot « génie » dans la dénomination de la discipline, comme elle aurait aussi pu s'imposer du fait de l'existence et de l'usage du mot composé « ingénieur-chimiste » pour désigner un autre type de professionnel.

Après la Loi du 10 juillet 1896, les instituts de chimie des facultés ou des universités délivrèrent donc des diplômes du type « diplôme d'ingénieur-chimiste de l'Institut de la Faculté de... » (ou de l'Université de...), et ceci jusqu'à leur transformation en Écoles Nationales Supérieures d'Ingénieurs (ENSI) qui avaient été instituées par le décret du 16 janvier 1947 ; leurs diplômes étaient déjà reconnus par la Commission des Titres d'Ingénieur, avec des critères de sélection bien établis. Le diplôme délivré par les ENSI de chimie prit l'intitulé « diplôme d'ingénieur de l'École Nationale Supérieure de Chimie de (nom de la ville) », sans qu'il soit fait mention d'une quelconque locution. Le passage, qui s'échelonna dans le temps, des Instituts de Chimie aux ENSI de chimie, se traduisit ainsi par la disparition du diplôme

d'ingénieur-chimiste, même si l'usage courant de la locution a survécu, comme en témoignent beaucoup de brochures publicitaires actuelles. D'autre part, commencé dans les années 80, le regroupement de 17 écoles d'ingénieurs de chimie et de « génie chimique » au sein du Club puis de la Fédération Gay-Lussac, totalise aujourd'hui 1 300 ingénieurs diplômés par an, avec des critères de sélection bien précis, et des laboratoires de recherche en chimie nombreux et aux renommées internationales. Dans ce regroupement, quelques écoles relèvent plus spécifiquement du « génie chimique » ou du « génie des procédés ». Les difficultés qui étaient apparues à la suite de la Loi du 10 juillet 1896, et en particulier dans les années qui ont suivi la Première Guerre mondiale, font ainsi partie du passé lointain et ne sont donc plus qu'historiques.

Après son introduction en France grâce à J. Cathala, le « *chemical engineering* » apparut progressivement dans l'enseignement supérieur, notamment dans les écoles de chimie. A côté d'une dominante chimie de la formation globale et de la recherche, les écoles de chimie traditionnelles dispensaient généralement, comme il fut souligné en 1983 par Jacques Villermaux et quelques-uns de ses collaborateurs, « *des notions de base de génie chimique, souvent limitées aux Opérations Unitaires les plus courantes* » [6].

Ce qu'il est notable de constater, dans une ligne historique en quelque sorte, c'est la différence dans la signification donnée en France au « génie chimique », c'est-à-dire à ce que nous aurions dû appeler « ingénierie chimique » (notons que cette dernière locution fut considérée comme désignant « *la fraction du Génie Chimique qui s'occupe de transposer les résultats de la recherche de laboratoire jusqu'à l'échelle industrielle* » [7]) :

- pour certains, branche spéciale de la chimie, dont elle serait le prolongement. Ce serait ainsi la continuation de l'idée de Charles Lauth ;

- pour d'autres, discipline physique, comme il était apparu concrètement dans la mise en œuvre faite par Joseph Cathala par l'Institut du Génie Chimique qu'il créa à Toulouse, même si la définition qu'il donna de la discipline au début [8] la faisait aussi apparaître comme « *...branche spéciale de la chimie qui a pour objet de concevoir, calculer, dessiner, faire construire et faire fonctionner l'appareillage dans lequel on réalisera une réaction chimique quelconque à l'échelle industrielle* », définition qui fut rectifiée en 1970, le mot « chimie » étant remplacé par « sciences physiques ».

Cette différence de vue ne doit pas être indépendante du fait qu'il est possible de donner plusieurs sens au mot « génie » qui, proposé par Vauban pour rassembler les ingénieurs civils et les ingénieurs militaires chargés des fortifications et/ou des travaux de siège, fut pendant très longtemps (et plus exactement jusqu'en 1964) le seul mot français existant, et donc utilisable, pour traduire l'anglicisme « *engineering* ». En raison d'un contexte de bilinguisme, le mot « génie » s'introduisit souvent au Canada pour désigner en français les nouveaux « *engineerings* » avant que ceux-ci passent, déjà nommés, dans les pays francophones européens. Le problème fut (et est resté) que, dans les nombreux sens du mot « génie », il y a celui qui ramène à « génial » que beaucoup de personnes non averties retiennent préférentiellement, voyant ainsi un génie X comme recouvrant en quelque sorte les aspects géniaux relatifs à la discipline de base X, ou plus modestement à l'ensemble des connaissances nécessaires pour les applications de cette discipline de base. L'usage, plus justifié, du mot

« ingénierie » à la place de « génie » aurait permis d'éviter cela [4].

C'est ainsi que la présence ou l'absence d'un trait d'union dans la locution à utiliser dans le langage courant pour désigner le professionnel nous semble avoir son importance, comme le laisse entendre le titre choisi pour le présent article.

En effet, la désignation proposée par Lauth [1], et employée longuement par la suite, était « ingénieur-chimiste », avec le trait d'union qui, dans ce mot composé, signifie que le professionnel est à la fois ingénieur et chimiste. Quant à l'équivalent de « *chemical engineer* », il n'aurait pas dû être « ingénieur du génie chimique » mais bien « ingénieur chimiste » (sans trait d'union), comme professionnel de cette discipline physique et mécanique qu'est le « *chemical engineering* », discipline orientée vers la conception et la réalisation des appareils (les « *engins* »), qu'après Vauban, il faudrait voir derrière le mot « génie », destinés à produire des composés chimiques, donc : un ingénieur des procédés de l'industrie chimique. Comme dans cette mise en œuvre industrielle de procédés chimiques, les aspects dynamiques et thermiques sont généralement ceux qui sont déterminants, on est amené à penser qu'il y a bien une distinction à faire entre ingénieur-chimiste et ingénieur chimiste, distinction qui se ramène d'ailleurs à celle faite, en 1990, par Henri Angelino et Claude Laguérie, entre « *industrial chemists* » et « *chemical engineers* » [9]. Ainsi, à cause de la présence ou non d'un simple trait d'union qui a traversé notre histoire et qui a pu s'y égarer, des quiproquos ont pu et pourraient apparaître, notamment lors de présentation de compétences dans des pays étrangers.

Références

- [1] Lauth C., Rapport sur les produits chimiques et pharmaceutiques, Exposition universelle internationale de 1878 à Paris, Groupe V, Classe 47, Ministère de l'Agriculture et du Commerce, **Imprimerie Nationale**, Paris, **1881**.
- [2] Fauque D., Bram G., La chimie française à l'orée du XX^e siècle, *Pour la Science*, juillet **1993**, **189**, p. 44.
- [3] Cœuret F., L'ingénieur chimiste et les bases de l'ingénierie des procédés, *Ovest-Éditions*, Nantes, **1994**.
- [4] Cœuret F., Ingénieur de génie... ou ingénieur... ? « Génie ou « ingénierie ? », *ACCN, L'Actualité Chimique Canadienne/Canadian Chemical News*, avril **2001**, **53** (4), p. 30.
- [5] Sordes R., *Histoire de l'enseignement de la chimie en France*, ouvrage édité par Chimie et Industrie dans le cadre des enquêtes de la Société de Chimie Industrielle, **1928**.
- [6] Villermaux J., David R., Houzelot J.-L., Schweich D., Vous avez dit génie des procédés ?, *L'Act. Chim.*, mai **1983**, p. 19.
- [7] Villermaux J., Le Goff P., Quelles recherches fondamentales en génie chimique ?, *L'Act. Chim.*, janvier **1978**, p. 24.
- [8] Cathala J., Le génie chimique (historique de son développement, son objet et ses méthodes, programme de notre revue), *Chemical Engineering Science*, **1951**, **1**(1), p. 1.
- [9] Angelino H., Laguérie C., Chemical Engineering in France, *The Chemical Engineer*, avril **1990**, p. 34.



François Cœuret

est directeur de recherche au CNRS dans le Laboratoire de thermocinétique à l'École polytechnique de l'Université de Nantes*, et membre du club Histoire de la chimie de la SFC.

* UMR CNRS 6607, Laboratoire de thermocinétique, École polytechnique de l'Université de Nantes, BP 50609, 44606 Nantes Cedex 3.
E-mail: francois.coeuret@polytech.univ-nantes.fr

La construction du concept d'équilibre chimique

Kostas Ganaras et Alain Dumon

Summary

The building of chemical equilibrium concept

Berthollet presented his chemical theory in his main work entitled *Essai de statique chimique*, which was published in 1803. He introduced the notion of chemical equilibrium and incomplete reaction and he exposed the factors that have an influence on this equilibrium. Berthollet's chemical theory was at odds with the other conceptions of the chemical phenomena and their interpretation of the time. The concept of chemical equilibrium that he introduced is also at odds with the one shared by chemists today. The historical course we are presenting attends to study the different steps that helped building the concept of chemical equilibrium.

Mots-clés

Histoire de la chimie, équilibre chimique.

Key-words

History of chemistry, chemical equilibrium.

La théorie des affinités et le sens naturel des transformations

En simplifiant beaucoup, on peut dire qu'avant le XVIII^e siècle, l'explication des réactions chimiques (union des corps entre eux, décomposition, précipitation, volatilisation) fait appel à la notion d'affinité. Le principe de « la règle des affinités » qui affirme l'attraction du semblable pour le semblable, est sous-jacente à toute description et explication de l'action chimique. Selon Daumas [1], à cette époque « *L'acte chimique élémentaire se présentait à l'esprit comme un combat brutal, une sorte de lutte, d'étreinte dans laquelle succombait l'un des antagonistes ; ou bien comme une union célébrée avec éclat* ». Cette affinité a un statut qualitatif, c'est une propriété intrinsèque des corps, une qualité, une prédisposition qui fait que deux corps mis en présence s'unissent. Cette notion vague et intuitive de l'affinité est rejetée par les cartésiens qui la considèrent comme une cause occulte. Adoptant une représentation corpusculaire de la matière, ils expliquent les transformations dont elle est l'objet par la figure des particules, et leur mouvement provoqué par celui d'une matière subtile qui les environne. Voici comment Lémery [2] décrit les alcalis : « *Pour ce qui est des alcalis, on les reconnaît quant on verse de l'acide dessus, car aussitôt, ou peu de temps après, il se fait une effervescence violente, qui dure jusqu'à ce que l'acide ne trouve plus de corps à raréfier. Cet effet peut faire raisonnablement conjecturer que l'alcali est une matière composée de parties raides et cassantes dont les pores sont figurés de telle façon que les pointes acides y étant entrées, elles brisent et écartent tout ce qui s'oppose à leur mouvement* ».

Au XVIII^e siècle, l'affinité va devenir clairement un concept relationnel. Newton introduit l'idée d'une force d'attraction à faibles distances entre les particules de la matière [3] : « *Les attractions de la gravité, du magnétisme et de l'électricité s'étendent jusqu'à des distances fort sensibles ; aussi tombent-elles sous le sens et la perception même du vulgaire. Mais il peut y avoir d'autres attractions qui s'arrêtent à de si petites distances qu'elles ont échappé jusqu'ici à toute observation, et peut être que l'attraction électrique peut agir à ces sortes de petites distances, même sans être*

excitée par le frottement ». L'affinité est alors due aux forces réciproques qui sont la cause des phénomènes chimiques : « *Puisque les métaux dissous dans les acides n'attirent à eux qu'une petite partie de l'acide, il est clair que leur force attractive ne s'étend qu'à de petites distances. Et comme, en algèbre, les quantités négatives commencent là où s'évanouissent et finissent les positives ; de même en mécanique, la force répulsive doit commencer à se manifester là où la force attractive vient à cesser* ». L'affinité devient chez les chimistes newtoniens une attraction interparticulaire exprimable par une force. C'est ainsi que Bergman interprète le fait que les particules dissoutes demeurent en suspension dans le solvant par une force qui s'exerce entre les particules des différents corps [4] : « *Cette propriété fait que les éléments de l'un sont attirés par ceux de l'autre et séparés par là de la masse qu'ils composent. Après cette séparation ils se joignent ensemble et forment une infinité de nouvelles espèces de corps* ».

Bien que le courant des chimistes antinewtoniens (Rouelle, Venel) s'oppose à cette notion d'affinité pensée comme attraction interparticulaire, la théorie des affinités (version newtonienne) devient un paradigme chimique largement employé pour la conception et l'analyse de l'expérimentation chimique au XVIII^e siècle. Après les travaux de Geoffroy (1718-1719), une quantité considérable de données sur les affinités va être accumulée dans des tables d'affinités. Ces tableaux descriptifs, comparatifs et classificatoires des faits observés sont destinés à permettre de prévoir le résultat d'une réaction envisagée mettant en présence quelques corps connus, par exemple le déplacement réciproque des métaux dans leurs sels. Avec Bergman, dans la deuxième partie du XVIII^e siècle, la théorie des affinités atteint son point culminant. La réaction chimique devient objet d'étude de manière méthodique et exhaustive sur le plan expérimental. Le champ empirique le plus largement étudié est celui des réactions que l'on appelle « de déplacement » entre acides, bases et sels (le sel étant considéré comme combinaison d'un acide et d'une base) : un acide *déplace totalement* au cours d'un échange l'autre acide dans la combinaison du sel si son affinité pour la base du sel est plus forte ; il en est de même pour la réaction entre une base et un sel ainsi que

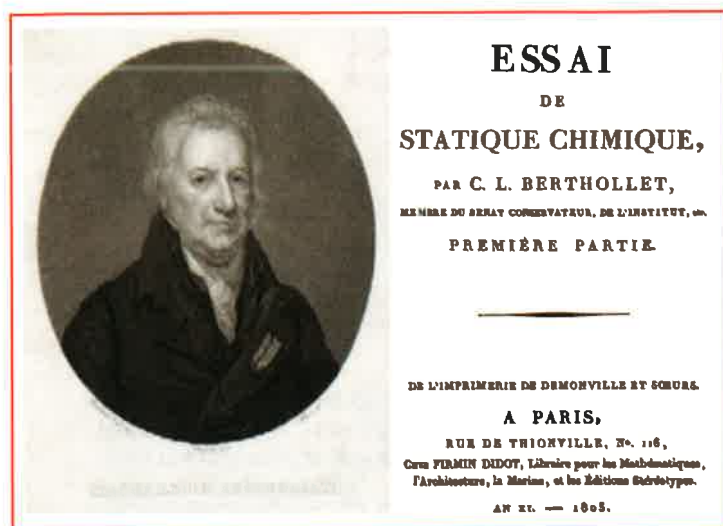


Figure 1 - Berthollet (1748-1822) et la page titre de son *Essai* [10].

pour les réactions entre deux sels considérées comme des réactions de double déplacement. Les réactions sont expliquées comme le résultat de forces d'attraction, appelées *attractions électives* ou *affinités électives*, entre les substances : l'affinité entre deux substances est une constante. Les réactions chimiques sont donc considérées comme des réactions complètes, toujours dans le même sens : une direction naturelle, spontanée, dépendante de la nature des réactifs, indépendante des conditions expérimentales dans lesquelles elles ont lieu. L'affinité ou attraction élective traduit la tendance de deux substances à s'unir selon une logique de tout ou rien, le plus fort gagne. Guyton de Morveau (1772), Wenzel (1777), Kirwan (1791), et Fourcroy (1793) chercheront, parmi d'autres, à donner des valeurs numériques aux forces des affinités.

Bergman considère, dans un premier temps, qu'aucun autre facteur que la chaleur ne peut influencer l'ordre des affinités. Baumé [5] ayant remarqué que les substances se comportent les unes vis-à-vis des autres différemment dans des conditions différentes et que les affinités des corps sont différentes suivant qu'ils réagissent à la température ordinaire ou à une température plus élevée, distingue l'affinité par voie humide de l'affinité par voie sèche pour résoudre le problème. Bergman adopte également ce point de vue et note que parfois la quantité des substances en présence peut influencer la direction de la réaction. Ces exceptions sont regardées comme des irrégularités dont on déterminera la cause dans la suite des recherches, l'ordre des affinités pouvant être corrigé.

Avec Berthollet : un changement de paradigme

Mais les contradictions et les irrégularités prolifèrent et les limites de la conception des affinités constantes commencent à apparaître plus clairement vers la fin du XVIII^e siècle. Dans un ouvrage d'enseignement [6], Fourcroy, qui adhère aux idées de Bergman, justifie ces contradictions par des circonstances spécifiques (état physique de la substance, réchauffement, refroidissement, présence d'autres substances, inattention de la part du chimiste). D'autres chimistes font intervenir l'influence de forces autres que l'affinité ; ainsi dans ses mémoires [7], Guyton de Morveau oppose dans quelques cas la force de cohésion à

l'affinité. Lavoisier établit une table d'affinité de l'oxygène pour les métaux, mais il montre une certaine réticence par rapport à la validité du principe d'affinité constante [8]. Il identifie différents facteurs qui influencent l'affinité : la température, la pression de l'atmosphère, l'état physique des corps, les effets de l'attraction de l'eau et peut-être de sa décomposition dans le cas de solutions, les différents degrés de saturation. De plus, il met en cause le principe, jusque-là admis implicitement, d'une réaction chimique totale : « *On se formerait une fausse idée des affinités, si on se persuadait que, dans tous les cas, un corps enlève à un autre la totalité du principe pour lequel il a le plus d'affinité [...]. Il faut donc considérer l'oxygène dans ces forces de décomposition comme obéissant à deux forces inégales : d'une part il est attiré par le métal qui tend à le réduire en chaux, autrement dit en oxyde ; de l'autre, il est retenu par le soufre (de l'acide sulfurique), & se répartit entre les deux, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre* » [9].

Les exceptions, les contradictions, les limites, l'identification de facteurs modifiant les affinités vont conduire Berthollet, qui se situe dans le courant de pensée dit des *idéologues* qui croient que le monde est intelligible et qu'on peut en découvrir les lois naturelles, à rechercher les lois auxquelles obéissent les réactions chimiques [10] (figure 1). Deux séries d'observations vont l'amener à remettre en cause la validité scientifique de la théorie des affinités constantes. Il s'intéresse au problème industriel d'amélioration du rendement d'extraction du salpêtre, utilisé pour la fabrication de la poudre à canon, par lavage avec de l'eau des calcaires salpêtrés tirés de carrières et de déblais. Il remarque que la tendance à réagir ne dépend pas uniquement de la nature des réactifs, mais également des quantités des substances mises en présence ; elle est fonction de la concentration dans le langage d'aujourd'hui. La deuxième série d'observations concerne la formation du natron (carbonate de sodium) dans les lacs en Égypte [11] dont Volney donne la description suivante : « *Des objets plus intéressants sont les deux lacs de Natron... ils sont situés dans le désert de Chaïat ou de Saint-Macaire, à l'ouest du Delta. Leur lit est une espèce de fosse naturelle, de trois à quatre lieues de long, sur un quart de large ; le fond en est solide et pierreux. Il est sec pendant neuf mois de l'année ; mais en hiver il transsude de la terre une eau rouge-violet, qui remplit le lac à cinq ou six pieds de hauteur ; le retour des chaleurs la faisant évaporer, il reste une couche de sel épaisse de deux pieds et très dure, que l'on détache à coups de barre de fer* » [12] (figure 2).

Selon la théorie des affinités électives constantes, lorsqu'on mélange des solutions de chlorure de calcium et de



Figure 2 - Lac Magadi (Kenya), contenant du natron.

carbonate de sodium, on devrait obtenir un précipité de carbonate de calcium et le chlorure de sodium en solution ; en effet, le carbonate a plus d'affinité avec le calcium et le chlorure avec le sodium. Mais dans les lacs d'Égypte, c'est la réaction inverse qui se produit. Les conditions opératoires sont en fait particulières : les deux réactifs, le chlorure de sodium et le carbonate de calcium, sont abondants ; les deux produits formés, le chlorure de calcium et le carbonate de sodium, s'éliminent, le premier au travers du sol, l'autre sur les rives du lac ; enfin, la température est plus élevée qu'au laboratoire. Berthollet en conclut que la direction d'une réaction n'est pas absolue, c'est-à-dire déterminée par les seules attractions électives des substances en présence : « *L'action chimique des différentes substances s'exerce non seulement en raison de leur affinité, mais encore en raison de leur quantité : une conséquence immédiate, c'est que l'action chimique diminue à mesure que la saturation s'opère* ». Reprenant le champ empirique des réactions entre acides, bases et sels, il montre alors expérimentalement que plusieurs réactions peuvent être inversées par rapport à une prévision dans le cadre de la théorie des attractions électives et que le sens de la réaction dépend des conditions opératoires : quantités des substances et température.

Selon Bensaude-Vincent et Stengers [13, p. 96], le changement de conception et de représentation concernant l'action chimique qu'effectue Berthollet constitue un changement de paradigme au sens du terme utilisé par Kuhn. Berthollet transforme en règles les contradictions et les exceptions de la théorie des affinités électives.

L'équilibre chimique comme équilibre de forces par analogie mécanique

Notons que l'équilibre chimique de Berthollet est, comme l'indique le titre de son ouvrage *Essai de statique chimique*, un équilibre statique. Alors que Lavoisier considérerait la combinaison chimique comme le résultat d'un équilibre entre la force attractive des affinités et la force répulsive du calorique, pour Berthollet une combinaison se forme quand il y a un équilibre entre toutes les forces antagonistes susceptibles d'agir dans le milieu réactionnel : « *La loi générale à laquelle est assujettie l'action chimique que les substances exercent en raison de l'énergie de leur affinité et de leur quantité n'est pas seulement modifiée dans les effets qui en dépendent par la force de cohésion ; elle l'est encore par l'action expansive du calorique ou de la cause de la chaleur, ce qui est le principe de l'expansibilité* ». Berthollet considère que la force chimique est proportionnelle à la « **masse chimique** » définie comme étant le produit de l'affinité propre de la substance par la quantité de substance en présence.

On peut admettre que le terme « masse » est susceptible d'induire en erreur, mais cette notion de masse chimique introduit une ouverture des prévisions : si deux substances peuvent se combiner avec une troisième pour laquelle elles n'ont pas la même affinité, une quantité relativement grande de la substance disposant d'une faible affinité peut exercer une force d'attraction égale ou même plus grande que la force exercée par la petite quantité de l'autre substance disposant pourtant d'une plus grande affinité. La théorie de Berthollet permet de distinguer l'affinité propre d'une substance et son action attractive.

Réactions complètes comme cas particulier de réactions incomplètes

Nous avons vu que, selon la théorie des affinités électives, tout phénomène chimique se produit complètement dans un sens imposé par la nature des corps en présence. D'après Ostwald [14], cette théorie s'inscrivait dans les préoccupations de l'époque : « *Cela tenait à la prédominance des besoins techniques, car on cherchait toujours à trouver des procédés donnant les produits sous la forme la plus homogène et la plus pure. On ne connaissait guère que des procédés pratiquement parfaits, et l'attention n'avait pas été attirée sur la présence normale des réactions incomplètes* ». Pour Berthollet, au contraire, un processus complet n'existe que dans des circonstances spécifiques. Lorsqu'on mélange deux substances, l'action incomplète produit un système en équilibre. Par exemple, quand on mélange un acide A avec un sel BC, la base C se partage entre les deux acides A et B ; les proportions dans lesquelles se fait le partage dépendent des affinités relatives et des quantités des acides, c'est-à-dire selon leurs « masses chimiques ». Mais cette propriété générale des réactions chimiques peut être modulée par de nombreux facteurs (insolubilité, volatilité, action des dissolvants, pression, température, temps et autres facteurs inconnus) susceptibles de modifier une des forces d'attraction en présence ; le résultat de la réaction est alors différent. Si l'un des corps possibles est solide ou gazeux, il quitte le milieu réactionnel et la réaction devient complète ; la force de cohésion du produit insoluble ou la force d'élasticité du produit volatil interviennent comme forces chimiques pour détruire l'équilibre des forces en présence et déterminer le résultat final. Les réactions complètes deviennent des exceptions. Notons que quand Berthollet parle de réactions incomplètes, ce n'est pas dans le sens actuel de réactions limitées et renversables, mais en considérant un principe de partage qui définit l'état final d'une réaction comme un système en équilibre de toutes les substances possibles. Les idées développées par Berthollet, en rupture avec la chimie de son temps, posent les bases pour l'expression d'une des lois les plus importantes de la physico-chimie, la loi d'action de masse qui sera établie soixante ans plus tard.

La discussion des idées de Berthollet : réactions complètes ou incomplètes ?

Le débat – controverse sur les proportions définies

C'est dans cette conception de l'action chimique et de la formation de la combinaison chimique que Berthollet énonce sa loi des proportions continues. Sans nier que dans certains cas (saturation, insolubilité) il se produit un corps à composition constante, Berthollet considère qu'en général les réactifs peuvent se combiner en proportions variables et que la composition élémentaire des produits obtenus est aussi variable suivant les conditions de la réaction. Berthollet pensait que dans la combinaison chimique les lois étaient les mêmes que dans l'action chimique qui produit la dissolution, c'est-à-dire qu'il y a influence des conditions sur la composition du produit obtenu. Il met donc en cause la notion même d'identité des corps chimiques et refuse ainsi la loi des proportions définies résultant des travaux de Proust sur les minerais métalliques : les substances pures ont une composition élémentaire constante [15]. La loi des

proportions définies, bien que refusée par Berthollet, allait cependant l'emporter et être adoptée par les chimistes en trouvant son interprétation par la théorie atomique de Dalton. La loi des proportions définies est alors le critère qui permet de distinguer la combinaison chimique du mélange physique.

C'est seulement beaucoup plus tard, en 1914, que les chimistes vont appeler « berthollides » les alliages et composés non-stœchiométriques, pour les distinguer des « daltonides », composés chimiques « normaux » [13, p. 100].

Acceptation, opposition et oubli des idées sur l'équilibre chimique

Certaines idées de Berthollet sont adoptées : les règles de l'insolubilité et de la volatilité qui donnent la spécificité des réactions complètes sont confirmées et appliquées à la chimie analytique. Les autres vont être oubliées avant de susciter quelques discussions dans les décennies suivantes. Bensaude-Vincent et Stengers [13, p. 101] notent que certains historiens expliquent cet oubli par le fait que la chimie n'était pas encore mûre. Une autre raison, évoquée par Dumas [16], est que la langue du livre *Essai de statique chimique* de Berthollet était assez obscure. Ostwald [14, p. 211] donne encore d'autres raisons : l'opposition de Berthollet à la loi des proportions définies, le caractère restrictif du champ empirique sur lequel il avait bâti sa conception, et surtout l'intérêt des chimistes contemporains de Berthollet pour d'autres sujets de la chimie tels que les nouvelles théories chimiques (théorie atomique, électrochimie) ou le développement de la chimie organique. Presque personne n'avait intérêt à faire des recherches systématiques et à étudier les questions que posaient les réactions incomplètes qui ne donnaient pas de produits purs. Cette indifférence générale se maintiendra jusqu'à la seconde moitié du XIX^e siècle, moment où le problème du rendement d'une réaction est reposé par la chimie de synthèse.

Au cours de cette première moitié du siècle, quelques chimistes ont cependant travaillé sur les idées avancées par Berthollet. Pfaff, en 1810, montre que la réaction entre l'acide sulfurique et un sel insoluble, le tartrate de calcium, est complète puisqu'il a trouvé que tout le calcium se transforme en sulfate de calcium. La loi des proportions définies étant acceptée à la suite de son interprétation par la théorie atomique de Dalton, certains chimistes, comme Davy

et Thomas Thomson, critiquent et s'opposent à la théorie générale de l'action chimique de Berthollet, principalement parce qu'elle énonce une loi de proportions variables. Pour éviter d'aborder le grand problème de la non-conformité à la loi des proportions définies, d'autres chimistes traitent les conceptions de Berthollet indépendamment les unes des autres. Phillips en 1817, qui étudie les conditions causant la réversibilité de la réaction du sulfate de barium et du carbonate de potassium [17], trouve que le résultat final de la réaction est un mélange de quatre combinaisons possibles. Il obtient ce même résultat en partant du sulfate de potassium et du carbonate de barium, ce qui confirme le principe du partage, mais l'effet de l'action des masses n'est pas pris en compte. Cette idée fondamentale de Berthollet est cependant reprise lorsque les chimistes étudient des réactions qu'elle permet d'expliquer. Par exemple, Gay-Lussac, élève de Berthollet, découvre que la vapeur d'eau oxyde le fer à la même température que le dihydrogène réduit l'oxyde de fer en fer. Il explique cette inversion de sens de la réaction par la différence entre les quantités de substances mises en présence dans les deux situations [18]. Berzelius [19] considère, comme Berthollet, que lorsqu'on mélange un acide et un sel, la base du sel se partage entre les deux acides et que dans le cas où on mélange deux sels, il y a une réaction partielle qui produit les quatre combinaisons possibles. Mais il affirme en revanche que les sels qui se forment sont des sels neutres contenant l'acide et la base en proportions définies. Cette interprétation, adoptée par certains chimistes, réconcilie les conceptions de Berthollet avec la loi des proportions définies et la théorie atomique.

Confirmation expérimentale et discussion

Cette interprétation demande cependant confirmation expérimentale. En 1825, Soubeiran fait une analyse pour déterminer quelles sont les substances du mélange résultant de la réaction d'un acide (acide sulfurique) avec un sel (chlorure de sodium) [20]. Il effectue une séparation à l'alcool et recueille le sulfate de sodium, insoluble dans l'alcool, l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique et le chlorure de sodium restant en solution. A partir de la masse de précipité, il calcule les masses des quatre substances et confirme l'hypothèse de Berzelius, à savoir qu'il y a partage de la base entre les acides pour former deux sels neutres et deux acides et que les proportions des substances dans le mélange sont en fonction des proportions initiales d'acide sulfurique et de chlorure de sodium. Mais la technique utilisée laissait des doutes : il n'y avait pas de preuve que cet équilibre préexistait à l'addition de l'alcool. N'importe quelle technique d'analyse perturbant le système, les avis des chimistes sont partagés.

Dans les années 1830, la réaction entre l'acide sulfurique et le borate de potassium va conduire à des divergences d'opinions. Pour Gay-Lussac [21], qui est le premier à l'avoir étudiée, la base devait, conformément aux idées de Berthollet, se partager entre les deux acides et conduire à un mélange contenant les quatre sels (sulfate de potassium, borate de potassium, acide sulfurique, acide borique), avec toutefois un partage en deux parts « tellement inégales que celle de l'acide sulfurique est incomparablement plus grande que celle de l'acide borique ». Pour Thenard [22], au contraire, compte tenu de la grande affinité de l'acide sulfurique pour les bases, la décomposition devait être totale et conduire uniquement au sulfate de potassium et à l'acide



Figure 3 - A gauche : Berzelius (1779-1848) ; à droite : Gay-Lussac (1778-1850).

borique. Point de vue qu'il généralise en disant que « *si deux acides sont en présence d'une même base, et qu'ils aient une grande différence dans leur énergie, la base se combinera tout entière avec le plus fort, quoique tout reste dissous* ». Dumas, qui considère comme importantes les idées de Berthollet, en ajoutant à la réaction ci-dessus d'autres situations expérimentales impliquant des acides forts et des acides faibles [16, p. 328], semble concilier les deux points de vue en disant : « *Le partage... s'effectue de telle sorte que l'acide énergétique s'empare de la presque totalité de la base, et qu'il n'en laisse qu'une quantité inappréciable à l'acide faible* ». En ce qui concerne l'action de deux sels dissous qui, mis en présence, ne peuvent donner que des produits solubles, Dumas, en accord avec Thenard, propose d'ajouter aux lois de Berthollet la proposition : « *Dans une dissolution, tout demeurant dissous, les affinités fortes se satisfont (sans partage), laissant les affinités faibles s'arranger entre elles* ».

Alors, réactions équilibrées ou réactions complètes ? Ni Thenard, ni Dumas ne tranchent la question. Tout en admettant les idées de Berthollet, que Thenard synthétise ainsi : « *Dans un mélange quelconque toutes les combinaisons possibles se produisent d'abord ; ce qui fait naître un équilibre stable quand tout est soluble ou fixe, et un équilibre instable, qui entraîne peu à peu une décomposition complète, quand l'un des produits formés est insoluble ou volatil* », ils ajoutent leur proposition sur les affinités fortes. Comme le souligne Bachelard [23], « *La pensée du chimiste nous paraît en effet osciller entre le pluralisme d'une part et la réduction de la pluralité d'autre part* ». En effet, la conception d'un système cohérent qui coordonnerait le savoir empirique et l'élaboration théorique pose des problèmes. L'impasse est due aux difficultés à résoudre le problème expérimental de détermination des substances présentes dans la solution après réaction. Les chimistes restent alors divisés dans leurs élaborations théoriques selon qu'ils considèrent les faits expérimentaux comme des exemples ou comme des exceptions du cas général. De plus, le champ empirique étudié, celui des acides, bases et sels, est restrictif. Toutefois, au milieu du XIX^e siècle, Malaguti (1852-1853), Rose (1855) et Marguerite (1854), qui étudient les réactions des sels ordinaires en solution, et Gladstone (1855) qui s'intéresse aux sels dont les solutions sont colorées (sels de thiocyanatofer), obtiennent une vérification expérimentale des conceptions relatives à l'influence de la quantité de substance sur la réaction chimique et à la présence en fin de réaction de toutes les combinaisons possibles en équilibre, autrement dit le caractère partiel de la réaction.

On peut signaler, avec Stengers [24], que les chimistes de cette époque donnent une interprétation de l'équilibre chimique selon Berthollet qui respecte la loi des proportions définies. En effet, ils considèrent que toute réaction produit des corps correspondant à la loi des proportions définies, mais que toute réaction, qu'elle soit complète ou non, a un résultat qui est fonction des conditions de réaction.

Nouveau contexte - nouveaux regards

Les idées généralisatrices de Berthollet seront reprises plus tard, dans un autre contexte, celui de l'amélioration des rendements de réactions et de nouvelles découvertes. Pour qu'il y ait changement dans la pensée, il ne suffit pas que surgisse une synthèse intuitive, mais il faut « *qu'elle soit entendue, reçue, acceptée, intégrée de façon à modifier le paysage intellectuel* » [25].

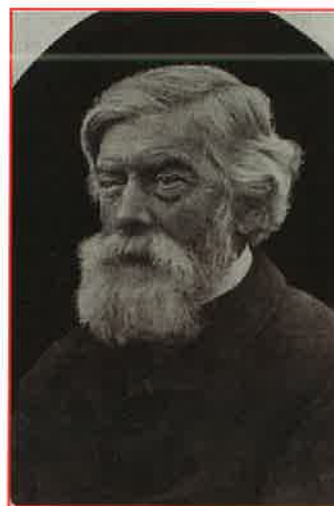


Figure 4 - Williamson (1824-1904).

C'est l'intérêt porté aux réactions de synthèse des composés organiques, réactions lentes et souvent limitées, qui va attirer à nouveau l'intérêt des chimistes sur la notion d'équilibre chimique. Ils étudient alors la possibilité de jouer sur les concentrations, sur les conditions physiques de la réaction pour influencer la composition du mélange résultant et modifier la proportion des produits de réaction, autrement dit déplacer l'équilibre pour améliorer les rendements. Un autre domaine d'investigation sera exploré par Sainte-Claire Deville, celui des réactions de dissociation.

Équilibre chimique - Aspect dynamique

Dans les années 1851-1854, Williamson (figure 4), lors d'études sur la réaction d'«*éthérification*» de l'alcool par l'acide sulfurique [26], introduit l'aspect dynamique de la transformation chimique. Williamson, contrairement à Berthelot, se place au niveau microscopique. Il n'accepte pas la théorie atomique avec des atomes et des molécules statiques, ce qui était la conception courante de son époque, et il considère les atomes et les molécules en mouvement : « *La dynamique de la chimie commencera par le rejet de cette supposition (que les atomes sont dans un état de repos) et étudiera l'intensité et la nature du mouvement que possèdent les atomes, et réduira à ce seul fait les différents phénomènes de transformation, qui sont actuellement attribués à des forces occultes* ». Pour expliquer la coexistence, lors d'une réaction de double décomposition entre deux sels, des quatre substances chimiques dans le mélange, il émet l'idée qu'il y a deux réactions qui ont lieu en sens inverse en même temps : « *... la quantité des produits de cet échange reste constante, parce qu'une double décomposition similaire, et égale en nombre absolu d'atomes par unité de temps, se produit constamment entre les produits pour redonner les composés initiaux* ». Williamson conçoit le mécanisme d'«*éthérification*» comme un processus où s'échangent continuellement des atomes ou des radicaux, identiques ou différents, et ce d'autant plus facilement que les atomes ou radicaux sont les plus semblables. Il s'agit d'une innovation essentielle qui influencera plus tard des physiciens et des chimistes comme Clausius, Van't Hoff, Arrhenius et Kekulé. Cette **réversibilité de l'acte chimique**, conduisant à la limitation des réactions, sera également prise en

considération par Malaguti [27] pour interpréter l'action réciproque des sels solubles et des sels insolubles. Après avoir déterminé la « quantité atomique » des deux sels qui se décomposent (le **coefficient de décomposition**) de diverses séries de couples salins, il conclut : « *On peut donc admettre que dans l'action réciproque des sels solubles et des sels insolubles, il arrive un moment où il y a égalité entre les quantités atomiques des sels qui se décomposent et les quantités atomiques des sels qui se forment, et que c'est cette pondération et non la cohésion qui paraît arrêter l'action* ».

Le rôle du temps

Dans une époque plus ancienne, un changement rapide signifiait un changement facile. Le rôle du temps était lié à celui de l'affinité. Par exemple, Wenzel, en 1777, avait cherché une évaluation des forces chimiques en attribuant une affinité plus grande à la substance qui produit plus rapidement une réaction chimique. Mais le champ empirique de la chimie inorganique se prêtait mal à une étude quantitative de l'influence de ce facteur. Par contre, le caractère lent des réactions entre substances organiques, qui seront beaucoup étudiées vers le milieu du XIX^e siècle, va rendre possible l'étude du rôle du temps, d'autant plus que le caractère limité de ces réactions permet la détermination des quantités de substances présentes en fin de réaction. C'est en 1850 que Wilhelmy [28], qui faisait des recherches sur l'hydrolyse du sucre de canne avec les acides, donna une expression générale de la vitesse de réaction. Sans toucher aux corps mis en jeu mais en observant le pouvoir rotatoire d'une solution additionnée d'acide, il découvre que la vitesse de la réaction est proportionnelle à la concentration du sucre non encore transformé. Il formule sa conclusion par une relation mathématique telle que dZ/dt est proportionnelle à Z , Z étant le taux en sucre de la solution au temps t . Mais son travail est resté méconnu.

Ce sont les travaux de Berthelot (figure 5) et Péan de Saint-Gilles [29], en 1862-63, qui vont attirer l'attention des chimistes sur la vitesse de la réaction. Ils étudient, eux aussi, la réaction d'« étherification » entre un alcool et un acide organique qui donne un ester et de l'eau. Cette réaction est lente et s'arrête avant que la totalité des réactifs employés

soit combinée en produits. Le même phénomène est observé pour la réaction entre l'ester et l'eau, c'est-à-dire dans le sens inverse, avec les mêmes résultats. Pour expliquer l'existence de cette limite, ils envisagent que l'eau, qui se forme par la réaction de l'acide sur l'alcool, exerce sur l'ester produit une action décomposante qui régénère l'alcool et l'acide. Pour Berthelot, la limite atteinte est un état d'équilibre résultant d'un antagonisme, d'une compétition entre deux réactions. C'est un état de stabilité où les proportions des quatre corps présents sont définies et où on n'observe plus de changement. La limite est indépendante de la température et de la pression, elle peut être atteinte après un temps plus ou moins long selon la température et elle est influencée par les quantités initiales d'acide et d'alcool : on peut obtenir un meilleur rendement par excès de l'une ou l'autre des substances initiales. Berthelot et Péan de Saint-Gilles ont de plus montré que la réaction peut être rendue totale lorsque que l'eau est éliminée du milieu réactionnel. Une loi, énoncée sous forme mathématique, lie la vitesse de la réaction aux quantités de substances présentes. Elle fait intervenir une constante K dépendant de la température et de la nature des substances liquides ; elle exprime que la vitesse est proportionnelle au produit des deux concentrations, celle de l'alcool et celle de l'acide. Cette loi peut être considérée comme une approche vers la loi d'action de masse énoncée quelques années plus tard par Guldberg et Waage.

Notons que Berthelot et Péan de Saint-Gilles, ignorant les travaux de Wilhelmy, ne parlent pas de vitesse de réaction mais « d'évolution » ou de « marche » de la réaction. Bien qu'ils aient expliqué que la limite de la réaction d'estérification est due à la réaction inverse, ils n'ont pas réussi, comme le souligne Ostwald, à « *exprimer convenablement que deux réactions opposées sont simultanément possibles, et, vraisemblablement, se produisent ensemble* » [14, p. 266].

Unification des équilibres physique et chimique

Lorsque, au milieu du XIX^e siècle, la théorie mécanique de la chaleur (équivalence chaleur travail) progresse et que les hypothèses de la théorie atomique s'imposent, la théorie cinétique des gaz se développe grâce à Clausius, Maxwell et plus tard Boltzmann. En 1857, Clausius considère que, dans le cas de la vaporisation, lorsqu'un liquide est surmonté de sa vapeur, un échange continu de molécules se produit à travers la surface de contact ; au bout d'un certain temps, un état d'équilibre s'instaure. C'est un état d'équilibre dynamique où, pendant l'unité de temps, il y a en moyenne autant de molécules qui choquent la surface et se condensent qu'il y en a qui sont émises en se vaporisant.

En 1864, Sainte-Claire Deville (figure 6) expose les résultats de ses travaux sur la dissociation des corps gazeux soumis à haute température [30]. La décomposition de la vapeur d'eau, à haute température, était déjà connue : Lavoisier l'avait réalisée par le fer, Regnault, au rouge, par l'argent (1836) et Grove par le platine (1852). Les chimistes savaient que la combinaison de deux corps susceptibles de s'unir directement ne s'effectue qu'à partir d'une certaine température et que cette combinaison peut se détruire à une température plus élevée.

Sainte-Claire Deville, aidé par son assistant Debray, reprend l'expérience de Grove. L'eau se décompose à la température du platine incandescent. Mais cette température (le platine fond à moins de 1 900 °C) est bien inférieure à celle du

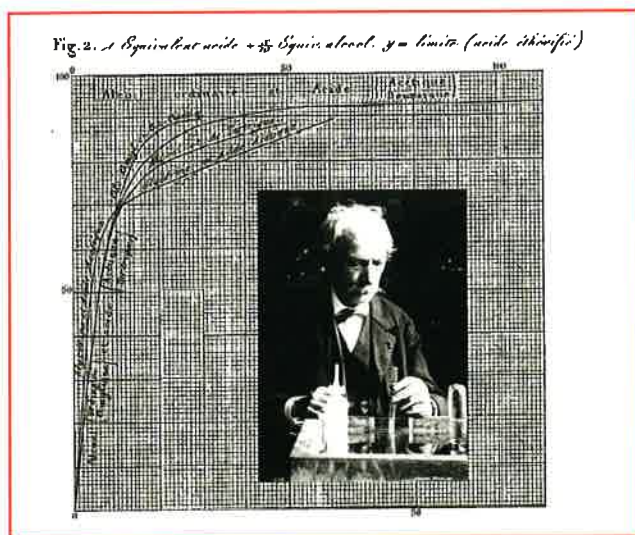


Figure 5 - Berthelot dans son laboratoire et ses courbes mettant en évidence la limite de la réaction d'estérification.



Figure 6 - Sainte-Claire Deville (1818-1881).

chalumeau oxydrique (2 500 °C) qui utilise la réaction de combinaison du dihydrogène et du dioxygène pour former de l'eau. Si la décomposition de l'eau peut se produire à la température du platine incandescent, elle doit aussi se produire à celle de chalumeau oxydrique. L'eau ne se forme donc que partiellement à cette température puisqu'en même temps peut avoir lieu sa décomposition partielle. Le comportement d'autres corps, stables à la température ordinaire, comme les deux oxydes de carbone, le chlorure d'hydrogène, l'ammoniac et le dioxyde de soufre, est identique lorsqu'on les soumet à de hautes températures : toutes ces

substances se décomposent partiellement à température élevée et se recombinaient par abaissement de la température. Ce que montrent ces travaux expérimentaux, c'est que la réaction est limitée et que le sens d'une réaction peut s'inverser suivant les circonstances. Il s'agit de réactions qui conduisent toujours à des états où les proportions des différents corps présents dans le milieu ne varient plus au cours du temps ; ces proportions changent si les conditions de température et de pression sont modifiées. Pour interpréter ces décompositions, Sainte-Claire Deville fait une analogie étroite entre les équilibres chimiques et les changements d'état et il rejette l'affinité et les forces chimiques de toutes sortes : « *La condensation des vapeurs et la combinaison sont des phénomènes en tout semblables quant à leurs effets caloriques ; ce sont des changements d'état caractérisés de la même manière. En réalité, on peut dire que la cause première de pareils effets est la même : elle n'a besoin de recevoir aucun nom, car elle nous échappe entièrement et ce que nous désignons par affinité et cohésion ne représente rien de réel à l'esprit en tant que force ou cause première* ».

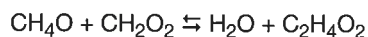
Une telle analogie entre les deux classes de phénomènes permet aux chimistes d'étendre la notion d'équilibre dynamique à la chimie. Pfaundler, inspiré par l'étude de la vaporisation par Clausius, énonce en 1867 la théorie de la dissociation des vapeurs. Horstmann (1869) travaille sur la réaction de sublimation du chlorure ammoniacal et commence à étudier l'influence de la température sur l'équilibre. D'après Médard [31], il établit expérimentalement le premier que les équilibres chimiques univariants obéissent à l'équation de Clapeyron. En 1871, Moutier, puis Peslin, intégreront le caractère réversible de ces réactions dans le cadre de la thermodynamique en appliquant la formule de Clapeyron-Clausius, régissant l'émission des vapeurs saturées, à la dissociation du carbonate de calcium. Lemoine (1872) étudiera le problème cinétique des réactions de dissociation de l'iodure d'hydrogène et du phosphore blanc.

L'hypothèse d'équilibre dynamique a réussi à grouper autour d'elle un grand nombre de faits épars et à éclairer le processus des réactions chimiques : tout équilibre chimique est un équilibre dynamique, un état de régime permanent où deux réactions, inverses l'une de l'autre, se compensent exactement. Selon Duhem [32], « *L'idée émise tout d'abord par Clausius fut si répandue que l'on n'entendit presque plus parler d'équilibre chimique mais seulement de deux réactions inverses se limitant l'une l'autre* ».

Introduction du symbolisme

Lavoisier introduit pour la première fois le signe égal dans son traité lors de la présentation de la « fermentation vineuse », en écrivant « *moût de raisin = acide carbonique + alcool* », afin d'établir un rapport d'égalité de quantité de matière entre l'état antérieur et l'état postérieur du phénomène chimique. Les équations chimiques utilisant le symbolisme de Berzelius ont été introduites autour de 1830 par Thenard puis Baudrimont, non seulement pour exprimer la conservation de la masse entre l'avant et l'après, mais également la conservation des « atomes chimiques ». Ces équations étaient lues uniquement au niveau macroscopique. Pour pénétrer plus dans l'explication du phénomène chimique et penser le « pendant », c'est à un autre niveau, celui de la dynamique moléculaire, qu'il faut se placer. Cette dynamique moléculaire introduite peut aussi être utilisée pour parler des états antérieurs et postérieurs. Ceci a été suggéré, nous l'avons vu, par Williamson.

Bien que l'aspect dynamique des phénomènes ait été pris en compte, les chimistes ont ensuite continué à utiliser le signe = dans les équations chimiques. En 1884, dans son livre *Études de dynamique chimique*, Van't Hoff, introduit la symbolisation de double flèche pour remplacer le signe =, dans la réaction entre l'acide formique et le méthanol, afin de symboliser les deux réactions qui ont lieu en deux sens opposés et simultanément [33] :



Ce symbolisme nouveau permettait de se dégager ostensiblement de la conception d'une réaction chimique irréversible, se faisant dans un seul sens privilégié, le signe égal étant associé à une lecture d'une réaction dans le sens de l'écriture.

Le symbole de deux flèches à demi-pointe a été proposé par Marshall en 1902. L'IUPAC préconise l'usage de la double flèche pour indiquer que les réactions se font dans les deux sens (à l'état hors équilibre) et les demi-pointes pour représenter que l'équilibre est atteint (à l'état d'équilibre).

Évolution des représentations quantitatives ou comment agir sur les équilibres

De l'influence des quantités à la loi d'action de masse

Guldberg et Waage commencent leurs recherches sur les équilibres chimiques afin de trouver une théorie unificatrice qui puisse rendre compte des processus chimiques. Leur projet est de déterminer les valeurs des affinités chimiques. Le champ empirique est celui des réactions athermiques, qui ne dégagent ni n'absorbent de chaleur – comme l'estérification/hydrolyse, étudiée par Berthelot et Péan de Saint-Gilles et dont ils prennent en compte les résultats – et certaines réactions de double décomposition de sels – comme celle étudiée par Rose, entre le sulfate de sodium et le carbonate de barium insoluble qui produit le carbonate de sodium et le sulfate de barium insoluble.

Loi d'action de masses comme égalité des « forces »

Guldberg et Waage ne s'appuient pas sur les échanges d'énergie dans le cadre de la thermochimie et de la

thermodynamique disponibles à leur époque, mais ils reviennent à la notion de « force chimique ». Ils considèrent qu'une réaction chimique se passe sous l'influence de la force résultante de toutes les attractions s'exerçant entre différentes particules (molécules, atomes, groupements d'atomes) en présence dans le milieu réactionnel. Par analogie avec la mécanique, la méthode la plus adaptée est alors de déterminer ces forces dans l'état d'équilibre. Prenant en compte l'aspect dynamique des réactions limitées, ils considèrent que dans l'état d'équilibre chimique la réaction initiale et la réaction inverse se contrebalancent. Deux lois sont introduites :

- La « **loi d'action de masse** » suivant laquelle « *La force de substitution, les autres conditions étant égales, est directement proportionnelle au produit des masses, chacune étant élevée à un exposant particulier* », c'est-à-dire qu'elle s'exprime sous la forme $\alpha(M^a N^b)$, où α , a et b dépendent uniquement de la nature des substances.

- Et la « **loi d'action du volume** » disant que « *Si les mêmes masses des substances réagissantes se trouvent dans des volumes différents, alors l'action de ces masses est inversement proportionnelle au volume* ». La force de substitution s'écrit alors $\alpha(M/V)^a(N/V)^b$.

Pour une réaction de type A et B donnent A' et B', les quatre corps en présence restent en proportions fixes lorsque la limite est atteinte et, à l'équilibre, les deux forces devenant égales, on peut écrire :

$$\alpha(p-x)^a(q-x)^b = \alpha'(p'+x)^{a'}(q'+x)^{b'}$$

α , α' , a , b , a' et b' étant des coefficients dépendant de la nature de la substance et devant être déterminés par l'expérience, et x , la quantité des substances initiales transformée.

C'est la première approche de la loi d'action de masse, en termes d'égalité de forces à l'équilibre, qu'ils appellent « statique » dans leur mémoire publié en 1867 [34].

Bien que la force chimique telle qu'elle est définie par Guldberg et Waage ait certaines caractéristiques d'une force newtonienne, elle s'en différencie cependant : les masses actives (concentrations) sont variables puisqu'elles évoluent au cours de la réaction pour atteindre des proportions relatives déterminées lorsque l'équilibre est atteint.

Loi d'action de masses comme égalité de vitesses

Cette nouvelle conception apparaît en 1879 [35], dans une deuxième approche appelée « dynamique ». Guldberg et Waage définissent la vitesse de réaction comme la quantité d'un corps formée pendant l'unité de temps. Ils considèrent que la vitesse et l'équilibre chimique sont causés par des forces chimiques et que la vitesse est proportionnelle à la force totale de la réaction T : « $v = \varphi T$ où φ est le coefficient de vitesse ». Sans rentrer dans les détails, ils expriment ainsi une loi de variation de la vitesse de réaction plus générale que celles de Wilhelmy ou de Berthelot, et qui dépend des concentrations des corps en présence, des coefficients stœchiométriques et de facteurs empiriques dépendant de la température et de la proportion de molécules susceptible de donner lieu à une réaction ; la notion de chocs efficaces apparaît donc. A l'équilibre chimique, les vitesses résultant des deux réactions inverses s'annulent, les deux forces correspondant à des réactions opposées deviennent égales et « ... On n'aura plus autre chose à faire pour obtenir les conditions d'équilibre que d'écrire l'égalité des vitesses des deux réactions contraires ». Guldberg et Waage énoncent alors la loi d'action de masse pour décrire quantitativement

l'état d'équilibre chimique telle qu'on la connaît : pour une réaction en solution du type $A + B \rightleftharpoons C + D$, $K = C_C C_D / C_A C_B$, où C représente la concentration (si des composés gazeux interviennent, C est remplacée par la pression partielle). Ils ont supposé que leur loi s'applique aussi pour une réaction presque complète telle que la quantité (concentration) de réactifs présents soit trop petite pour être mesurée. Les réactions complètes sont alors considérées comme un cas limite des réactions partielles et traitées par la même loi.

La loi de Guldberg et Waage est une loi empirique qui sera validée par les travaux de Thomsen relatifs aux mesures calorifiques, ceux de Van't Hoff sur la pression osmotique des corps dissous, et par la théorie des solutions électrolytiques d'Arrhénius dans le cas des solutions homogènes et diluées. En 1907, Lewis remplacera dans cette loi les concentrations par les « activités » pour tenir compte des interactions entre les ions et de l'influence du solvant sur la dissociation des électrolytes, assurant ainsi une plus grande validité à la loi.

La thermodynamique et la prévision de l'évolution d'un système chimique

La réponse à cette question faisait, du XVIII^e à la première moitié du XIX^e siècle, appel au concept d'affinité. Dans les années 1870, les principes de la thermodynamique, initiés par Mayer (1842) et Joule (1843), commencent à être appliqués aux problèmes chimiques. Après l'introduction de la notion d'entropie par Clausius en 1865, et la formulation de la deuxième loi de la thermodynamique, la chimie part à la recherche d'une fonction d'état capable d'exprimer l'évolution d'un système chimique. Parallèlement au rôle que joue l'énergie potentielle en mécanique, l'équilibre correspondrait aux conditions pour lesquelles cette fonction serait minimale. C'est la thermochimie, développée par Thomsen [36] et Berthelot [37], qui va offrir un nouveau système d'interprétation de l'action chimique. La chaleur d'une réaction représente la différence d'énergie contenue dans un système chimique avant et après la réaction. Par analogie avec un système mécanique, une réaction chimique peut être définie par le travail des forces chimiques et la diminution du potentiel de ces forces. La quantité de chaleur dégagée par la réaction chimique mesurant le travail accompli par les forces chimiques, un système chimique est en état d'équilibre quand le potentiel des forces atteint sa valeur minimale : toute réaction qui conduit à cet état sans l'intervention d'une énergie étrangère est celle qui dégage le plus de chaleur. C'est le principe du travail maximum. La distinction entre les réactions exothermiques et endothermiques (termes introduits par Berthelot) se fait sur un critère nouveau : les premières sont les seules qui puissent se produire spontanément et conduire à des composés stables en dégageant de la chaleur, tandis que les secondes absorbent de la chaleur et sont donc impossibles d'elles-mêmes ; elles nécessitent un apport de travail extérieur et conduisent à des composés instables. Le critère de spontanéité d'une réaction chimique est lié au signe de la quantité de chaleur mise en jeu par cette réaction.

Mais la prévision de spontanéité d'évolution d'un système chimique sur le critère de dégagement de la chaleur va être démentie par les réactions qui se produisent d'elles-mêmes tout en absorbant de la chaleur et les réactions de dissociation à haute température (réactions endothermiques spontanées). Les caractéristiques des réactions de dissociation posent en effet un problème : le fait que deux

réactions inverses l'une de l'autre (une endothermique et l'autre exothermique) puissent avoir lieu spontanément et simultanément dans les mêmes conditions est en contradiction avec le principe du travail maximum.

Pour Horstmann, en 1873 [38], la fonction cherchée est l'entropie. Il propose une théorie des réactions qui conduisent à des équilibres en reconnaissant cependant que dans les systèmes hétérogènes, tels que celui correspondant à la dissociation du carbonate de calcium, la théorie ne permet pas d'expliquer le fait que la masse des corps solides n'ait pas d'influence sur le degré de dissociation. Mais cette fonction n'est pas facilement applicable dans le cas des réactions chimiques ; le chimiste a besoin de prévisions sous une forme plus pratique, à partir des propriétés des corps participant aux réactions, comme réactifs ou comme produits.

La difficulté d'application et l'impasse de la thermochimie sont surmontées grâce aux travaux de Gibbs en 1876 [39] et Helmholtz en 1882 [40]. Ces deux chimistes considèrent que l'énergie contenue dans un système ne peut pas être entièrement transformée en travail : une part est libérée sous forme de chaleur. Helmholtz distingue dans les échanges d'énergie se produisant dans les transformations chimiques deux formes d'énergie : l'énergie libre et l'énergie liée. Le terme « libre » est employé pour montrer qu'une partie seulement de l'énergie d'un système peut être convertie en une autre forme d'énergie. Il énonce la définition de l'énergie libre A (aujourd'hui notée F) : $A = U - TS$, où TS est l'énergie liée. Helmholtz montre que si le système est maintenu à température et volume constants, la réaction peut avoir lieu spontanément si l'énergie libre diminue. Gibbs définit une fonction jouant le même rôle à T et P constantes : $G = H - TS$, avec $H = U + PV$. Gibbs appelle H « contenu de chaleur » (c'est en 1909 qu'elle sera nommée enthalpie). Pour Gibbs, la condition pour que la réaction ait lieu spontanément est que la fonction G diminue : à l'équilibre, $dG = 0$. Les fonctions A ou G varient dans le sens opposé à celui de l'entropie qui mesure l'énergie convertible en chaleur et non en travail. Comme la plupart des réactions ont lieu à P constante, la fonction G (enthalpie libre) est la plus utile.

Influence des facteurs pour déplacer l'équilibre chimique

Nous avons déjà vu que plusieurs études ont montré qualitativement que, d'une part, la concentration des substances initiales, et d'autre part, la température et/ou la pression, influencent la composition du mélange obtenu dans le cas des équilibres chimiques. De plus, la loi de Guldberg et Waage ne dit pas comment cet équilibre chimique une fois atteint peut être modifié par des changements de conditions expérimentales, qu'il s'agisse de facteurs physiques ou chimiques.

En 1884, Duhem caractérise les réactions chimiques « réversibles » qui subissent un déplacement d'état d'équilibre en état d'équilibre, sous l'influence de facteurs extérieurs. La même année, Van't Hoff (figure 7) formule la loi de déplacement de l'équilibre par modification de la température à pression constante [33] : « *Tout équilibre chimique entre deux états différents de la matière (systèmes) se déplace par un abaissement de la température vers celui des deux systèmes dont la formation développe de la chaleur* », loi connue actuellement sous la forme :

$$\frac{d(\ln K)}{dT} = \frac{\Delta H}{RT^2}$$



Figure 7 - Van't Hoff (1852-1911).

L'influence des facteurs température, pression et concentration sur l'évolution des équilibres chimiques avait déjà été étudiée par Gibbs mais, comme le remarque Le Chatelier, Gibbs en avait donné une formulation mathématique complexe, sans la traduire en langage courant et compréhensible par les chimistes. En 1884, Le Chatelier formule un énoncé général et qualitatif des lois des équilibres chimiques, nommé « *principe de modération* » [41], qui définit comment un équilibre chimique réagit aux modifications des facteurs extérieurs : « *Tout système en équilibre chimique stable soumis à l'influence d'une cause extérieure qui tend à faire varier soit sa température, soit sa condensation (pression, concentration, nombre de molécules dans l'unité de volume) dans sa totalité ou seulement dans quelques-unes de ses parties, ne peut éprouver que des modifications intérieures, qui, si elles se produisent seules, amèneraient des changements de température ou de condensation de signe contraire à celui résultant de la cause extérieure* ». Ce principe a eu une portée immédiate à cause des relations de Le Chatelier avec le domaine industriel ; par exemple pour la synthèse de l'ammoniac.

Conclusion

Au XVIII^e siècle, en réponse à la question de la nature de l'action qu'un corps peut exercer sur un autre, l'affinité, concept relationnel résultant de forces plus ou moins occultes et conduisant à l'idée de réaction complète se produisant toujours dans le même sens, est introduite.

Avec Berthollet, dans le cadre de la mécanique newtonienne et du champ empirique des réactions entre acides, bases et sels, une première rupture épistémologique va se produire : les réactions ne sont plus totales, elles conduisent à un état **d'équilibre statique** ou coexistent les produits et les réactifs. Mais le caractère restrictif du champ empirique étudié et la difficulté à déterminer de façon certaine la composition de l'état final vont conduire à une absence de consensus. Durant la première moitié du XIX^e siècle, la conception des phénomènes chimiques comme réactions incomplètes, dépendantes des conditions expérimentales, et dont le sens peut être renversé, sera en conflit avec la conception des phénomènes chimiques comme réactions totales.

A partir des années 1850, l'attention des chimistes va se porter sur deux nouveaux domaines expérimentaux : les

réactions de la chimie organique et les réactions de « dissociation » des composés gazeux à haute température. Le caractère limité de ces réactions va de nouveau les interroger. Sainte-Claire Deville et Berthelot utilisant la thermodynamique, science qui étudie les changements physiques mesurables accompagnant la transformation chimique [42, p. 150] en proposent une explication au niveau macroscopique : deux réactions inverses et opposées conduisent à un état final d'équilibre chimique. C'est un état de stabilité où les réactions s'arrêtent. Williamson, adoptant une vision moléculaire, donnera un **aspect dynamique** aux équilibres chimiques. L'état d'équilibre chimique n'est plus considéré comme un état de repos, mais comme un état où les deux réactions inverses et opposées se produisent simultanément : c'est un nouveau changement de paradigme.

Guldberg et Waage, prenant en compte l'aspect dynamique, proposent une loi empirique en introduisant le concept de « masse active » (la concentration dans le langage d'aujourd'hui). Ils établissent que les réactions complètes (totales) sont un cas particulier des réactions limitées. Après les travaux de Van't Hoff et d'Arrhénius, cette loi va être validée et appliquée dans le cas des équilibres gazeux et des équilibres acido-basiques. Cette loi recevra ensuite une interprétation cinétique et thermodynamique. L'influence des facteurs physiques (température, pression) et chimiques (concentration), connue qualitativement et interprétée dans le cadre de la cinétique, sera aussi rationalisée dans le cadre de thermodynamique.

Références

Certaines de ces références sont accessibles en ligne. Elles seront accompagnées des indicateurs : (Gallica) pour le site de la Bibliothèque Nationale de France : <http://gallica.bnf.fr> (mode image) et (Giunta) pour le site du Collège Lemoyne, à Syracuse (États-Unis) : <http://webserver.lemoyne.edu/faculty/giunta/> (mode texte, en anglais).

- [1] Daumas M., *L'acte chimique*, éd. Du Sablon, Bruxelles-Paris, 1946.
- [2] Lémery N., *Cours de Chymie*. Nouvelle édition revue par M. Baron, Paris, 1757 (pour une analyse détaillée de l'ouvrage, voir Metzger H., *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^e à la fin du XVIII^e siècle*, nouveau tirage, A. Blanchard, Paris, 1969).
- [3] Newton I., *Traité d'optique, Question XXXI*, Reproduction en fac-similé de l'édition de 1722, A. Blanchard, Paris, 1955.
- [4] Bergman T.O., *Traité des affinités chimiques ou attractions électives*, Traduction du latin sur la dernière édition de Bergman, Paris, 1788. (in Goupil M., *Du flou au clair ? Histoire de l'affinité chimique*, éd. du CTHS, Paris, 1991).
- [5] Baumé A., *Chimie expérimentale et raisonnée*, T.1, chez F. Didot le jeune, Paris, 1773 (Gallica).
- [6] Fourcroy A.F., *Éléments d'histoire naturelle et de chimie*, 5^e éd., Paris, chez Cuchet, libraire, 1793 (Gallica).
- [7] Guyton de Morveau L.B., *Sur quelques anomalies dans le jeu des affinités, et particulièrement de celles qui ont lieu à raison des changements de température et du déplacement du calorique*, Mémoires de l'Institut National des Sciences et Arts, 1798-1799, T.2, p. 460 (Gallica).
- [8] Lavoisier A.L., *Mémoire sur l'affinité du principe oxygène*, in Œuvres de Lavoisier, 1862, T.2, p. 546 (Gallica).
- [9] in *Essai sur le phlogistique et la constitution des acides*, traduit de l'anglais de M. Kirwan ; avec les notes de MM. De Morveau, Lavoisier, de Laplace, Monge, Berthollet et Fourcroy, Paris, 1788 (cité par Goupil, cf. [4]).
- [10] Berthollet C.L., *Essai de statique chimique*, Firmin Didot, Paris, 1803 (Gallica).
- [11] Berthollet C.L., *Observation sur le natron*, Mémoires sur l'Égypte, An VIII (1799-1800) (cité par Goupil, cf. [4]).
- [12] Volney (1823), cité par Fournier P., Viel C., Fournier J., *L'Act. Chim.*, nov.-déc., 1998, p. 37.
- [13] Bensaude-Vincent B., Stengers I., *Histoire de la chimie*, éd. La Découverte, 1993.
- [14] Ostwald W., *L'évolution d'une science. La chimie*, Flammarion, Paris, 1909.
- [15] Proust J.L., Recherches sur le cuivre, *Annales de chimie*, 1^{ère} série, 1799, 32, p. 26 ; Proust J.L., Sur les mines de cobalt, nickel et autres, *Journal de physique*, 1806, 63, p. 566 (Giunta).

- [16] Dumas J.B., *Leçons sur la philosophie chimique professées au Collège de France en 1836*, Culture et Civilisation, Bruxelles, 1972, p. 322.
- [17] Phillips R., *The Journal of Sciences and the Arts*, 1817, 1, p. 80 (cité par Rose H., *Annalen der physik und chemie*, 1855, 94, p. 481) (Gallica).
- [18] Gay-Lussac L.J., *Observations sur l'oxydation de quelques métaux*, Reproduction de l'édition de Paris, Crochard, 1816, p. 32 (Gallica).
- [19] Berzelius J.J., *Essai sur la théorie des proportions chimiques et sur l'influence de l'électricité*, 1^{ère} édition française, Méquignon-Marvis, Paris, 1819.
- [20] Soubeiran E., cité par Holmes F.L., From elective affinities to chemical equilibria: Berthollet's law of mass action, *Chymia*, 1962, 8, p. 105.
- [21] Gay-Lussac L.J., *Annales de chimie et de physique*, 1832, 2^e série, 49, p. 353.
- [22] Thenard L.J., *Traité de chimie élémentaire, théorie et pratique*, 6^e éd., 1836, T.5, Paris, Crochard & C^{ie}, p. 505.
- [23] Bachelard G., *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*, 2^e éd., Vrin, Paris, 1973, p. 5.
- [24] Stengers I., L'affinité ambiguë : le rêve newtonien de la chimie du XVIII^e siècle, *Éléments d'Histoire des Sciences*, M. Serres (éd.), Bordas, Paris, 1989, p. 297.
- [25] Stengers I., Schlienger J., *Les concepts scientifiques*, Gallimard, Paris, 1991, p. 65.
- [26] Williamson A.W., Suggestions for a dynamics of chemistry derived from the theory of etherification, *Notices of the proceeding at the meeting of the members of the Royal Institution*, Londres, 1851, p. 90 ; voir aussi *Papers on Etherification and on the Constitution of Salts*, Alembic Club Reprints, Edinburgh, 1929, 16, p. 5 et p. 18.
- [27] Malaguti J., *Annales de chimie et de physique*, 1857, 3^e série, 51, p. 328 (Gallica).
- [28] Wilhelmy F., *Annalen der Physik und Chemie*, 1850, 81, p. 413 et p. 499 (Giunta).
- [29] Berthelot M., Péan de Saint-Gilles L., *Annales de chimie et de physique*, 1862, 3^e série, 65, p. 385 ; 66, p. 5 ; 1863, 68, p. 225 (Gallica).
- [30] Sainte-Claire Deville H., *Leçons sur la dissociation professées devant la Société Chimique*, 1864 (Gallica).
- [31] Médard L., Tachoire H., *Histoire de la thermochimie*, Presses de l'université de Provence, 1994.
- [32] Duhem P., *La loi des phases*, Louvain-Paris, 1898.
- [33] Van't Hoff J.H., *Études de dynamique chimique*, Muller, Amsterdam, 1884 ; voir également Osmotic pressure and chemical equilibrium, *Nobel Lecture*, December 13, 1901, p. 8. (in <http://nobel.se/>).
- [34] Waage P., Guldberg C.M., *Forhandlinger : Videnskabs-Selskabet i Christiania*, 1864, p. 35 (Giunta) ; voir aussi Gulberg C.M., Waage P., *Études sur les affinités*, Christiania, 1867.
- [35] Guldberg C.M., Waage P., *Journal für praktische chemie*, 1879, 19, p. 69 (Gallica).
- [36] Thomsen J., *Thermochemische Untersuchungen*, Veith, Leipzig, 1882-1886. (in Kubbinga H., *L'histoire du concept de molécule*, Springer, 2001).
- [37] Berthelot M., *Essai de mécanique chimique fondée sur la chaleur*, Dunod, Paris, 1879 (Gallica).
- [38] Hortsmann A., *Analen der Chemie und Pharmacie*, 1873, 170, p. 208 (in Duhem P., *Le mixte et la combinaison chimique*, 1902, réédition, Fayard, Paris, 1985, p. 278).
- [39] Gibbs J.W., *On the equilibrium of heterogeneous substances*, in « Transactions de l'Académie du Connecticut », 1876 ; traduction française : Le Chatellier H., *Équilibres des systèmes chimiques*, Gauthier-Villars, Paris, 1899.
- [40] Helmholtz H., *Wissenschaftliche Abhandlungen*, J.A. Barth, Berlin, 1882, (in Kubbinga, cf. [36]).
- [41] Le Chatellier H., *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1884, 99, p. 786 (Gallica).
- [42] Duhem P., *Le mixte et la combinaison chimique. Essai sur l'évolution d'une idée*, 1902, réédition Fayard, Paris, 1985.



K. Ganaras

Kostas Ganaras

est docteur chercheur associé au LIREST de l'ENS Cachan*.



A. Dumon

Alain Dumon

est professeur de chimie à l'IUFM d'Aquitaine**.

* Laboratoire interuniversitaire de recherches en éducation scientifique et technologique (LIREST), ENS Cachan, Bât. Cournot, 61 av. du Président Wilson, 94235 Cachan Cedex.

E-mail : ganaras@u444.jussieu.fr

** IUFM d'Aquitaine, Antenne de Pau, 44 bd du Recteur J. Sarrailh, 64000 Pau.
E-mail : alain.dumon@aquitaine.iufm.fr

La coopération entre la Suisse et le Vietnam pour l'environnement

Catherine Brassaud

Cet article traite de la coopération francophone au Vietnam entre L'Institut pour l'Environnement et les Ressources (IER-CEFINEA) de l'Université nationale de Ho Chi Minh Ville (VNU-HCMC) et le Laboratoire de chimie environnementale et écotoxicologie (CECOTOX) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse.

L'IER-CEFINEA résume vingt ans d'histoire du Département d'ingénierie en sciences de l'environnement créé en 1982, puis désigné en 1989 sous le nom de CEFINEA. Ce nom qui lui vient du français « Centre pour la formation et l'information sur l'eau » souligne ses compétences initiales dans les domaines de l'apport en eau potable et du traitement des eaux usées.

L'IER-CEFINEA, tel que nous le connaissons aujourd'hui, est actif dans les domaines de la recherche, de l'enseignement et des activités conseils. Il a de plus étendu le champ de ses activités à la gestion des ressources naturelles, l'écotoxicologie, le suivi de la pollution atmosphérique et l'étude d'impact environnemental. Il est devenu également l'un des trois centres nationaux responsables du suivi environnemental au Vietnam, avec à sa charge la province d'Ho Chi Minh Ville plus onze autres provinces du sud du pays.

C'est en 1996 qu'il acquiert officiellement le nom d'Institut pour l'Environnement et les Ressources, un an après son intégration à l'Université nationale de Ho Chi Minh Ville (VNU-HCMC) et peu de temps avant d'entamer un projet de coopération scientifique avec le Laboratoire de chimie environnementale et écotoxicologie (CECOTOX) de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse.

Fort de ses succès remportés durant les premières années de coopération (1996-2001), et soutenu par la VNU-HCMC et le Ministère pour les ressources naturelles et l'environnement (anciennement Département « Environnement » du Ministère pour les sciences, technologies et l'environnement

- MOSTE), l'IER-CEFINEA poursuit à ce stade la deuxième phase de son projet de coopération avec l'EPFL (2001-2004).

Financé par la Direction au Développement et Coopération suisse, l'ensemble du projet tend à promouvoir la gestion durable des ressources naturelles dans le sud du pays par le biais d'un transfert de connaissances et de technologies vers l'IER-CEFINEA. La première phase, dédiée principalement à l'amélioration des infrastructures, à la formation des chercheurs et au développement de projets de recherche dit « pilotes » pour leur caractère novateur, a permis de poser les bases d'une coopération fructueuse.

Tout en bâtissant sur les activités développées depuis 1996, le projet a amorcé un virage en 2001 en soutenant également l'IER-CEFINEA sur le plan administratif. Ce soutien, apporté par la Chaire MIR (Management des industries de réseau) de l'EPFL, permet à l'Institut de définir de nouvelles stratégies de gestion à moyen terme pour ses ressources humaines, ses finances, sa communication et plus généralement l'orientation de ses affaires (le « business plan »).

Cette formule tout à fait originale pour un projet de coopération permet une efficacité accrue du transfert de connaissances et de technologies. En effet, il ne s'agit pas uniquement de permettre un accès au savoir et à l'équipement, mais également de fournir les moyens de gérer au mieux cet apport de ressources nouvelles.

La clef de voûte de la coopération : la formation des chercheurs

L'accès à l'information et à la connaissance par le biais de séminaires et de formations « postgrades¹ » dans des organisations de renom ainsi que la participation à des conférences internationales est un volet essentiel du projet. Étroitement couplé avec la mise en place d'un appareillage de pointe, cet apprentissage garantit un niveau de compétences optimum pour l'utilisation de techniques nouvelles, parfois pionnières au Vietnam.

Ainsi en témoigne le Dr Do Hong Lan Chi, responsable du Laboratoire de microbiologie et d'écotoxicologie de l'IER-CEFINEA : « L'écotoxicologie est une science nouvelle au Vietnam et nous sommes sans doute le seul laboratoire de Ho Chi Minh Ville et parmi les premiers laboratoires du Vietnam avec des connaissances spécialisées dans ce domaine ».

Cette primauté ainsi que les résultats prometteurs de la thèse de Chi intitulée « Développement et validation d'un bioessai pour l'évaluation du risque écotoxicologique en eaux douces tropicales » lui ont permis de décrocher le projet national de suivi environnemental du bassin Saigon-DongNai, au sud du pays. « Ce type de projet suscite un intérêt croissant, car le système des fleuves Saigon et Dongnai a une énorme importance socio-économique »,



souligne Chi. « *Toutefois, sa pollution par de nombreuses émissions industrielles, domestiques et agricoles pose d'importants problèmes de santé humaine* ».

Alors que huit chercheurs ont déjà obtenu leur master et doctorat en sciences et technologies de l'environnement par l'intermédiaire du projet, deux nouveaux doctorants et deux candidats au master seront financés au cours des mois à venir. Ils bénéficieront d'une formation au sein d'écoles prestigieuses telles que l'Institut asiatique de technologie de Bangkok (AIT), le Département de chimie de l'Université nationale de Singapour et l'EPFL.

L'une des thèses phares sera consacrée aux dioxines : l'identification des sources, processus de transformation et évolution des PCDD² et PCDF³ dans les chaînes alimentaires et écosystèmes ruraux et urbains du Vietnam du Sud. Là encore, l'accomplissement de cette thèse permettra d'équiper l'IER-CEFINEA d'un matériel de pointe (un spectromètre de masse couplé à un chromatographe en phase gazeuse – GC-MS) et de former un chercheur à l'exploitation optimale de l'appareil et à l'interprétation des résultats.

L'étude de la pollution atmosphérique mobilise également l'attention et les ressources de l'IER-CEFINEA. Équipée d'une unité mobile de suivi des polluants atmosphériques, l'équipe du Dr Nguyen Dinh Tuan se consacre actuellement à la prise de mesures.

Relevant également du domaine de la santé publique, ce sujet devient de plus en plus préoccupant dans l'agglomération d'Ho Chi Minh Ville, avec près de huit millions d'habitants et quelques millions d'engins motorisés. Ainsi, d'autres études sont-elles actuellement envisagées, couplées à la formation de chercheurs de l'IER-CEFINEA au sein du Laboratoire de la pollution atmosphérique et sol de l'EPFL.

Une recherche en prise avec la réalité

Toutes en prises avec des problèmes environnementaux prioritaires au Vietnam, ces formations sont étroitement liées avec les thèmes de recherche du projet pilote développé au sein de la coopération avec le laboratoire CECOTOX. Axé sur l'évaluation des niveaux de contamination du bassin Saigon-Dongnai (organochlorés, organophosphorés, pesticides et métaux lourds dans l'eau, les sédiments et les poissons ; et PAH⁴ dans les sédiments et les particules atmosphériques d'Ho Chi Minh Ville), ce projet a permis le développement d'un travail interdisciplinaire tout en permettant le suivi environnemental d'un écosystème central pour la vie sociale et économique de la région.

Ce projet s'est étoffé au fur et à mesure de l'acquisition de compétences nouvelles, intégrant des thèmes de recherche supplémentaires. Gestion environnementale et sanitaire des

L'IER-CEFINEA en bref

C'est tout d'abord 57 employés répartis dans les départements de Sciences et technologies de l'environnement, Gestion environnementale et Gestion de projets nationaux, ainsi que dans les laboratoires d'Étude et de développement des nouvelles technologies, Traitement de l'eau et des eaux usées, Gestion des déchets solides et hasardeux, Cartographie et géopositionnement par satellite, Prévention de la pollution industrielle et production propre, Suivi environnemental, Chimie analytique, Microbiologie et écotoxicologie, et Pollution de l'air et prévention du bruit.

Parmi eux : 11 administrateurs et 46 scientifiques dont 2 professeurs, 8 docteurs et 18 titulaires d'un master en sciences. Leur expertise couvre l'ensemble des domaines des sciences et technologies de l'environnement, incluant même les sciences économiques pour l'environnement.

A la tête de l'Institut, un directeur, Pr Lam Minh Triet, et une série de Commissions qui entérinent les décisions dans les domaines de la recherche et de l'enseignement. Une équipe administrative gère les ressources humaines et les finances, ainsi que la bibliothèque ouverte à la fois au personnel et aux étudiants.

L'enseignement est quant-à-lui plus spécifiquement du ressort de la cellule Formation de l'IER-CEFINEA dirigée par le Dr Dinh Xuan Thang. En dehors de sa participation aux programmes de la VNU-HCMC, l'IER-CEFINEA forme des ingénieurs aux sciences et technologies de l'environnement par l'intermédiaire de son programme de master. L'IER-CEFINEA forme également des chercheurs par des programmes de doctorat ; en exemple, le Dr Nguyen Dinh Tuan, responsable du Laboratoire de pollution de l'air, qui a soutenu sa thèse en septembre 2002.

D'autres membres « clefs » du personnel sont en cours de formation ou viennent de terminer un diplôme à l'étranger. Ainsi, le responsable du laboratoire d'Étude et de développement des nouvelles technologies, le Dr Nguyen Phuoc Dan, diplômé de l'AIT de Bangkok, et M. Mai Tuan Anh en cours de formation doctorale à l'EPFL, après un cycle postgrade dans cette même école, à la tête de l'ensemble des laboratoires de l'Institut et responsable des activités conseils. D'autres employés ont également bénéficié de formations aux Pays-Bas, en Angleterre, aux États-Unis et au Japon.

L'ouverture sur l'international se fait par l'intermédiaire du Département recherche et relations internationales, avec à sa tête

le Dr Do Hong Lan Chi (également responsable du Laboratoire de microbiologie et écotoxicologie, ainsi que de la supervision de l'ensemble des projets de recherche) et par les projets de coopération qui y sont menés. Parmi ceux là, le projet de coopération avec l'EPFL.

Contacts

- Pr Lam Minh Triet : minhtriet@hcmier.edu.vn, lmtriet179@yahoo.com
 - Dr Dinh Xuan Thang : xuanthang@hcmier.edu.vn
 - Dr Nguyen Dinh Tuan : tuanminn1@yahoo.com
 - Dr Nguyen Phuoc Dan : dan-np@hcm.vnn.vn
 - M. Mai Tuan Anh : mtanh@hotmail.com
 - Dr Do Hong Lan Chi : lanchi.do@hcm.vnn.vn, lanchi@hcmier.edu.vn
 - IER-CEFINEA, 142 To Hien Thanh, District 10, Ho Chi Minh Ville, Vietnam.
- Tél. : +84 (0)8 865 1132/863 7044.
Fax : +84 (0)8 865 5670.
<http://www.hcmier.edu.vn>



matériaux toxiques et des sédiments dragués dans les canaux de Ho Chi Minh Ville, modélisation de la pollution atmosphérique à Ho Chi Minh Ville et proposition d'une législation routière plus respectueuse de l'environnement, étude de la contamination en arsenic des nappes d'eau et du sol à Ho Chi Minh Ville et dans les provinces du sud du Vietnam, sont autant de domaines de recherche nouvellement intégrés au projet pilote.

Un label de qualité pour les analyses de l'IER-CEFINEA

Conscient de l'importance des résultats de ses projets de recherche quant au développement de la région, l'IER-CEFINEA s'est engagé sur la voie de l'accréditation ISO 17025, garantissant ainsi des pratiques de laboratoire de qualité. Soucieux de ne pas travailler en *vacuum*, il participe également à des séries de tests organisées par des institutions nationales habilitées telles NATA (Australie) et VINA (Vietnam) qui lui permettent de comparer la qualité de ses analyses à celle d'autres organisations en Asie Pacifique.

Un institut bien connecté

Au fur et à mesure de son développement, l'IER-CEFINEA s'est progressivement imposé auprès des autorités gouvernementales et académiques comme l'une des organisations leaders dans son domaine pour le sud du pays. Responsable auprès de l'Agence nationale pour l'environnement du suivi environnemental pour les provinces du sud, l'Institut a remporté récemment le projet de gestion environnementale du bassin Saigon-Dongnai. Mandaté par les Départements des sciences, technologies et environnement de sa région (DOSTE, entités provinciales du MOSTE), l'IER-CEFINEA dirige la mise en place de technologies relevant d'une volonté étatique de « production propre » (« cleaner production »).

L'IER-CEFINEA collabore également avec de nombreuses institutions par le biais de son programme de master en sciences et technologies de l'environnement. Il participe notamment à la formation du personnel des DOSTE et contribue aux enseignements d'autres écoles tel le « bachelor⁵ » en sciences de l'environnement de la VNU-HCMC.

La rédaction de manuels scientifiques représente également un apport conséquent au système universitaire vietnamien pour l'enseignement des domaines nouveaux des sciences et technologies de l'environnement. Notons un ouvrage majeur : un dictionnaire vietnamien-anglais des termes spécifiques du domaine de l'environnement. D'autres références ont pour sujets l'approvisionnement en eau potable, la gestion des déchets solides, l'écotoxicologie et l'écotoxicité, la gestion des ressources en eau, la décharge des déchets dangereux et la production propre.

Au nombre des projets menés localement avec d'autres centres de recherche, on compte actuellement :

- une étude de suivi environnemental basée sur l'utilisation des outils de cartographie et géo-positionnement par satellite développée avec la VNU-HCMC,
- un projet de gestion des ressources en eau du bassin Saigon-Dongnai mené avec l'Université des sciences naturelles,
- et l'étude de l'environnement d'altitude en collaboration avec l'Université des sciences humaines et sociales.

L'IER-CEFINEA est également présent sur le plan international. Dynamisé par sa coopération avec l'EPFL, il tisse des liens avec l'École d'ingénieurs de Genève (Suisse) et l'Institut des sciences nationales appliquées de Lyon (France), dans une perspective de diversifier l'enseignement au Vietnam. Membre de l'Agence universitaire francophone (AUF) par le biais de ses chercheurs formés en Suisse, l'IER-CEFINEA est également en relation avec les nombreuses institutions du réseau Environnement de l'AUF. Au-delà de l'Europe, il a développé des relations privilégiées avec le Canada et notamment le Département de géographie de l'Université de Toronto dans le cadre de son programme « Waste-Econ » de diminution des déchets par la production propre.

Initier des processus clefs et assurer leur pérennité

Si l'étroite collaboration instaurée avec le laboratoire CECOTOX se veut un catalyseur du développement de l'IER-CEFINEA, la volonté de pérenniser les activités mises en place se traduit actuellement par la définition d'une vision à long terme accompagnée de nouvelles stratégies de gestion. Envisagé comme un soutien aux activités scientifiques, le renforcement des domaines administratifs tels les ressources humaines, les finances, la communication, le marketing et l'apprentissage organisationnel, accompagne l'essor de l'IER-CEFINEA sur le plan national et international. L'ouverture vers la scène internationale se traduit cette année par l'organisation en décembre 2003 du second congrès en Asie-Pacifique sur l'analyse et le contrôle des polluants. Soutenu par l'Association internationale de chimie analytique environnementale et par le Comité populaire, ce congrès aura pour thèmes : la détection, l'analyse, le suivi et la modélisation des polluants atmosphériques ; les sources et le comportement environnemental des organochlorés (PCDD² et PCDF³) ; le transfert des polluants dans les systèmes de bassin (évaluation, contrôle, suivi et modélisation ; gestion intégrée des ressources en eau) ; les avancements technologiques majeurs dans le domaine de l'environnement ; la détection, le comportement environnemental et le contrôle des POP⁶ ainsi que l'application de la Convention de Stockholm ; la pollution d'origine microbiologique comparée à la pollution chimique dans la région du Sud-Est asiatique ; l'évaluation du risque écotoxicologique ; et enfin, la mise en place et les applications de l'accréditation ISO 17025.

Sur le plan national, l'IER-CEFINEA est la référence en matière d'écotoxicologie. Il développe actuellement un laboratoire d'analyse des dioxines, dont la pollution constitue le problème environnemental majeur du Vietnam du Sud. En renforçant son unité d'étude de la pollution atmosphérique, l'IER-CEFINEA se consacre à l'un des fléaux émergents d'Ho Chi Minh Ville.

On le constate, l'IER-CEFINEA est présent à tous les niveaux de développement. Bénéficiant d'un équipement moderne et d'un personnel d'enseignants-chercheurs formés dans les meilleurs instituts d'Asie et d'Europe, l'IER-CEFINEA joue actuellement un rôle décisif dans son pays. Il participe aux prises de décision des DOSTE en matière de législation environnementale ; il réalise des mandats aussi bien pour l'industrie que pour le gouvernement. Réactif, pragmatique et visionnaire, l'IER-CEFINEA sera, dans les prochaines années, un interlocuteur de choix dans ses domaines d'expertise.

L'IER-CEFINEA accueille les diplômants de l'EPFL

Nathalie Vallotton, étudiante à la Section de sciences et ingénierie de l'environnement de la Faculté de l'environnement naturel, architectural et construit (ENAC) de l'EPFL raconte son expérience de deux mois au sein de l'équipe de microbiologie et écotoxicologie du Dr Lan Chi Do Hong, à l'IER-CEFINEA :

« Dans le cadre de mon travail pratique de diplôme à l'EPFL, j'ai pu profiter de la coopération établie entre l'IER-CEFINEA et le laboratoire CECOTOX de l'EPFL pour effectuer une évaluation de l'écotoxicité des eaux d'écoulements (lixiviats) de deux sites contaminés à Ho Chi Minh Ville.

J'ai pu réaliser par ce biais un travail tout à fait original, car il s'agissait des premiers tests écotoxicologiques effectués sur ces lixiviats. Cette batterie de tests portait sur *Daphnia magna*, *Vibrio fischeri* (Microtox[®]), et sur *Ceriodaphnia cornuta*, un microcrustacé isolé en 1998 du bassin Saigon-Dongnai par le Dr Lan Chi Do Hong.

La caractérisation des échantillons a pu être complétée en étudiant les paramètres physico-chimiques de ces lixiviats (le pH, la DBO⁷ et la DCO⁸) et en déterminant leur concentration en métaux lourds au moyen de la spectrométrie par absorption atomique.

Le premier site étudié est la décharge de Dong Thanh, située à 20 kilomètres au nord d'Ho Chi Minh Ville. Pendant une dizaine d'années, cette décharge municipale de plus de 40 hectares a reçu la majorité des déchets de la ville. Les résultats ont permis de mettre en évidence, sur les espèces testées, la forte toxicité des lixiviats accumulés dans les bassins de rétention.

Le second site, situé dans le district de Tan Binh, est une station de traitement des boues en provenance des fosses septiques des maisons de Ho Chi Minh Ville. L'étude a mis en évidence des émissions d'eaux de percolation fortement chargées (DOC⁹ > 1 900 mg/L), ainsi que le problème d'accumulation de métaux lourds dans les boues.

Les tests écotoxicologiques effectués sur les deux sites ont finalement confirmé la plus grande sensibilité de *C. cornuta* par rapport à *D. magna*. Le test avec *C. cornuta*, qui a une

représentativité écologique supérieure pour un climat tropical, pourra à terme remplacer le test avec *D. magna*.

Au-delà de mon travail de diplôme, mon séjour à l'IER-CEFINEA m'a également permis de me familiariser avec les nombreux problèmes environnementaux auxquels la région est confrontée ; par exemple, la pollution des eaux de surface par les petites et moyennes entreprises et la pollution de l'air.

Et bien entendu, au-delà de l'intérêt scientifique, cette nouvelle expérience comportait un attrait culturel et social : le plaisir de découvrir une culture différente et riche au contact de mes collègues et amis vietnamiens que j'espère avoir à mon tour la joie d'accueillir en Suisse, à l'EPFL ».



Notes

¹postgrade : équivalent du DEA en France.

²PCDD : poly chloro dibenzo paradioxine.

³PCDF : poly chloro dibenzo furane.

⁴PAH : « poly cyclic aromatic hydrocarbures ».

⁵bachelor : équivalent à la licence française.

⁶POP : « persistant organic pollutants ».

⁷DBO : demande biologique en oxygène.

⁸DCO : demande chimique en oxygène.

⁹DOC : « dissolved organic carbon ».



Catherine Brassaud

est « Project Manager-Asie », au Laboratoire de chimie environnementale et écotoxicologie de l'EPFL*.

* Laboratoire de chimie environnementale et écotoxicologie (CECOTOX), ENAC-ISTE, bât. GR, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), 1015 Lausanne, Suisse.

Tél. : +41 (21) 693 2763. Fax : +41 (21) 693 57 60.

E-mail : catherine.brassaud@epfl.ch

2nd Asian Pacific international conference on pollutants analysis and control Ho Chi Minh City (Vietnam) 1-3 décembre 2003

This second international conference will cover issues related to the detection, assessment, monitoring and control of air and water pollutants.

**Date limite de soumission des résumés :
15 octobre 2003.**

Contact : **Catherine Brassaud** (voir coordonnées ci-contre).

La SF2M

SF2M

Société Française de Métallurgie et de Matériaux

Association scientifique à but non lucratif, d'intérêt général

1 030 membres – 6 personnes morales

Siège social et bureaux : 250 rue Saint-Jacques, 75005 Paris

Tél. : 01 46 33 08 00 - Fax : 01 46 33 08 80

E-mail : sfmm@wanadoo.fr

La SF2M contribue à
L'avancement des sciences et techniques des matériaux

Elle est :

- un point de rencontre entre tous les membres d'une même communauté scientifique et professionnelle « matériaux » ; environ 50 % « universitaires », 50 % « industriels »,
- un moteur pour la diffusion des informations et des innovations,
- un représentant de notre pays auprès des associations similaires à l'étranger,
- un membre de la Fédération des Sociétés Européennes de Matériaux (FEMS).

Elle agit par ses :

- Sections régionales,
- Commissions thématiques,
- Congrès nationaux et internationaux,
- Moyens d'information :
 - son site Internet,
 - le bulletin **SF2M info** dans la revue AEM,
- Actions de promotion de la science des matériaux.

Bulletin mensuel
SF2M info

inséré dans les premières pages de la revue *Advanced Engineering Materials*.



Site **Internet tenu à jour** comportant les nouvelles de la société, en particulier, de ses Commissions thématiques et Sections régionales et les listes de congrès « Matériaux » : www.SF2M.asso.fr

Commissions thématiques		Sections régionales	
Commission	Président	Section	Président
Contraintes	Jean-Lou Lebrun	Est	André Faessel
Élaboration	Denis Ablitzer	Nord	Jean Gabrel
Emboutissage	Luc Penazzi	Ouest	Philippe Goudeau
Fatigue des matériaux	Paul Rabbe	Sud-Est	Anna Fraczkiewicz
Formation-emploi	Louissette Priester	Sud-Ouest	Françoise Nardou
Fragilité-rupture	Claude Sainte Catherine		
Poudres matériaux frittés (Commission mixte SF2M/GFC)	Jean-Marc Chaix		
Texture-anisotropie	Richard Penelle		

Édition tous les ans
de l'**annuaire**
distribué à tous les membres



« **Science et Génie des Matériaux** »
édité par la *Revue de Métallurgie* sous
la responsabilité scientifique de la
SF2M :
4 numéros par an



Bilan 2002 de l'industrie chimique française

Le président de l'UIC, Bernard Rivière, a présenté les résultats pour l'année 2002 de l'industrie chimique française à la presse le 18 mars dernier. Une vingtaine de journalistes étaient présents dont *Les Échos*, *l'Agefi*, *La Tribune*, *Le Point*...

Il a rappelé que l'année avait été morose pour l'industrie chimique française avec une hausse de 1,1 % de la production (pharmacie incluse), mais un recul de la production de la chimie hors pharmacie (- 0,9 %) pour la deuxième année consécutive. Les incertitudes liées à la conjoncture mondiale, la faiblesse de la demande, le repli de la production manufacturière expliquent ce ralentissement.

Le chiffre d'affaires du secteur – qui occupe le 2^e rang en Europe et le 5^e dans le monde – est estimé à 85,4 milliards d'euros, en légère hausse de 0,4 % par rapport à 2001. Notons que l'industrie chimique française figure au tout premier rang des secteurs industriels pour le montant des exportations, que les investissements ont baissé de 12 % en valeur à 3,2 milliards d'euros, les industriels de la chimie augmentant en 2002 la part des dépenses « sécurité » au détriment des investissements de croissance. Au plan de l'emploi, l'industrie chimique française a ajusté, à l'évolution de la conjoncture, ses effectifs qui atteignent 236 300 salariés (- 1,5 % par rapport à 2001). Face à l'intensification de la concurrence, Bernard Rivière a rappelé que la moindre attractivité du site France, les contraintes fiscales et réglementaires (nouvelle législation européenne sur les substances chimiques, projet de loi sur les risques technologiques et naturels...) risquent de peser sur le développement futur de l'industrie chimique française.

• <http://www.uic.fr> (rubrique Actualités)

Brevet communautaire : un texte de compromis

Le 3 mars 2003, le Conseil Compétitivité a abouti à un compromis créant un brevet communautaire. Ce texte a été entériné par les chefs d'État et de gouvernement lors du dernier Sommet européen des 20 et 21 mars 2003. L'accord vise à encourager l'innovation en réduisant substantiellement les coûts d'obtention d'un brevet et permet au déposant d'intenter une action judi-

ciaire devant un seul tribunal spécialisé et centralisé dont les décisions s'appliqueront à l'ensemble des pays de l'Union européenne.

Toutefois, ainsi que Bernard Rivière, président de l'UIC, l'a souligné le 27 février 2003 dans une lettre adressée à Nicole Fontaine, secrétaire d'état à l'industrie, il est regrettable que le futur règlement oblige le déposant à traduire dans toutes les langues communautaires la partie « revendication » de son brevet.

« La chimie naturellement » une exposition et des animations à la Villette

La Cité des Sciences et de l'Industrie de Paris la Villette organise une exposition dédiée à la chimie du 6 mai au 30 novembre 2003. L'UIC a choisi de s'y associer en tant que partenaire. L'exposition présente la chimie, de manière pédagogique et ludique, autour de 4 thèmes : les atomes et leurs propriétés, qu'est-ce qu'une réaction chimique, les différentes classes de la chimie, la puissance créatrice de la chimie.

L'exposition, bilingue, occupera une surface de 230 m² au 2^e étage de la Cité. Un pôle d'animations spécifique est prévu : il a pour objectif de répondre aux questions que se pose le public sur la nature de la chimie, sur son omniprésence dans notre quotidien. Pour les plus jeunes, l'association « Les petits débrouillards » ouvrira 4 fois par jour ses ateliers d'initiation aux travaux pratiques. Le plan de promotion événementielle a été ambitieux et plus de 120 000 visiteurs sont attendus.

Cette exposition a été accueillie à l'espace Sciences de Rennes du 26 septembre au 22 février 2003 et a remporté un franc succès. L'UIC Ouest-Atlantique était déjà partenaire. Cette exposition est itinérante et pourra, après Paris, être accueillie dans d'autres grandes villes de France.

L'impact chiffré du Livre blanc

La Commission européenne a proposé en février 2001 un *Livre blanc* pour une nouvelle stratégie dans le domaine des substances chimiques. L'un des objectifs est d'améliorer la connaissance des propriétés environnementales et sanitaires des 30 000 substances chimiques existantes et de leurs

usages, en les soumettant à une procédure d'enregistrement, d'évaluation et d'autorisation appelée REACH (« registration, evaluation and authorization of chemicals »).

Dès qu'elle a eu connaissance du *Livre blanc*, l'Union des Industries Chimiques a appelé l'attention de la Commission et du gouvernement français sur le coût et les contraintes qu'entraînerait nécessairement le système REACH, ainsi que sur la nécessité de voir un nouveau système se mettre en œuvre de façon pratique et concrète.

Même si l'industrie chimique française est bien évidemment favorable à une réglementation visant à protéger la santé et l'environnement, elle souhaite un système efficace et opérationnel sous peine d'affaiblir considérablement la compétitivité des entreprises concernées.

En janvier 2003, le cabinet Mercer Management Consulting a été mandaté pour analyser l'impact de cette nouvelle réglementation sur l'économie française. Le ministère de l'Écologie et du Développement durable, le ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie et un certain nombre de fédérations industrielles (FFA, FIEEC, FIM, UIT) se sont associés à cette démarche dont l'UIC est, bien entendu, à l'origine.

L'analyse détaillée de 14 segments pilotes fait apparaître que l'impact à 10 ans de l'application de cette réglementation se fera sentir un peu plus chaque année, au fur et à mesure de la mise en place de REACH, pour atteindre une perte de PIB comprise (selon la prise en compte ou non des intermédiaires de synthèse non commercialisés) entre 29 et 54 milliards d'euros, soit de 1,7 % à 3,2 % par an. Sur la même période, l'impact en termes de pertes d'emplois sera de 360 000 à 670 000, tous secteurs d'activités confondus. La perte d'investissements cumulée pour l'économie française, selon les mêmes hypothèses, pourrait atteindre de 47 à 88 milliards d'euros.

L'étude Mercer a été présentée à la presse à Paris le 24 avril et à Bruxelles le 28 avril 2003. Ce fut l'occasion pour l'UIC d'exprimer une nouvelle fois des demandes pour que le projet de réglementation européenne tienne compte des inquiétudes des industriels de la chimie et de l'ensemble des entreprises françaises concernées, et de plaider pour la mise en place d'un cadre juridique et législatif adapté et applicable afin de maintenir l'attractivité du site chimie France.

Nominations, distinctions

- **Jacques Prost** a été nommé directeur de l'École supérieure de physique et chimie industrielles de Paris (**ESPCI**) en décembre 2002.

- **Jean-Claude Belcœil** a pris la succession de Paul Vigny à la direction du **Centre de biophysique moléculaire du CNRS d'Orléans**. Aux interfaces de la physique et de la chimie avec la biologie, la mission du centre porte sur la compréhension *in vitro* et *in vivo* de processus biologiques fondamentaux en termes de structure, de dynamique et d'interactions de macromolécules naturelles ou modifiées.

• <http://www.cnrs-orleans.fr/~webcbm>



- **Olivier Appert** a succédé en avril dernier à Claude Mandil à la présidence de l'**Institut Français du Pétrole**. Ancien élève de l'École polytechnique et ingénieur général des mines, il a

débuté sa carrière au service des Mines de Lyon. Après diverses responsabilités au sein du ministère chargé de l'Industrie, il rejoint la direction générale de l'IFP en 1994 et prend en charge les activités de recherche et développement.

- **Jacques Vernier** a été nommé président du Conseil d'administration de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (**INERIS**). Maire de Douai depuis 1983, Conseiller régional, il est aussi chef de la mission du transport des matières dangereuses au ministère chargé des Transports et a présidé l'ADEME de 1994 à 1997.

• <http://www.ineris.fr>

Recherche et développement

Des nanotubes de carbone fonctionnalisés

Les nanotubes de carbone sont des cylindres carbonés constitués de l'enroulement d'une ou plusieurs feuilles de graphite et fermés à chaque extrémité par des demi-sphères en forme de ballon. Ces molécules unidimensionnelles ont une longueur voisine de 1 µm et un diamètre de un à plusieurs nm selon le nombre de tubes co-enroulés. Ils possèdent d'excellentes propriétés

mécaniques, structurales et électriques qui rendent ces matériaux intéressants pour de nombreuses applications dans les nanotechnologies et tout particulièrement dans les nanobiotechnologies. Ces nanotubes sont insolubles dans les solvants organiques et dans l'eau, ce qui restreint actuellement considérablement leur domaine d'utilisation. Cependant, lorsqu'ils sont mélangés et agités avec un détergent, ils se dispersent et forment des suspensions stables. Des équipes de chimistes du CEA (Service de marquage moléculaire et de chimie bioorganique, Saclay) et du CNRS (Laboratoire de chimie bioorganique, CNRS-Université de Strasbourg I) ont analysé par microscopie électronique l'organisation moléculaire qui permet de solubiliser les nanotubes en présence de détergents : les molécules de détergent s'agglomèrent à la surface des nanotubes et s'auto-organisent en forme d'anneaux ou d'hélices. Mais la stabilité de ces assemblages reste cependant limitée. Afin de voir si d'autres molécules lipidiques pouvaient s'adsorber et s'auto-organiser sur les nanotubes de carbone en formant des assemblages plus stables, les chercheurs ont conçu et synthétisé de nouveaux réactifs. Ces derniers forment des « bagues » lipidiques constituées de structures supramoléculaires hémicylindriques (voir figure). Leur stabilité dépend de la longueur et du nombre de chaînes carbonées des réactifs lipidiques qui les constituent. Ces bagues permettent également de fixer des protéines à la surface des nanotubes.

Un tel assemblage organique stable constitue une méthode simple et efficace pour rendre fonctionnels des nanotubes par des réactifs chimiques. La structure supramoléculaire ainsi obtenue offre des perspectives d'applications intéressantes dans le domaine des nanobiotechnologies : elle pourrait servir à l'élaboration de détecteurs moléculaires (« biosensors ») pour le dosage des molécules de l'organisme. Elle pourrait également permettre la fabrication de nouveaux vecteurs de composés hydrophobes, notamment de médicaments complexes.

• Richard C., Balavoine F., Schultz P., Ebbesen T.W., Mioskowski C., *Supramolecular self-assembly of lipid derivatives on carbon nanotubes*, *Science*, 2 mai 2003.



Lipides (détergents) organisés en forme de bagues autour des nanotubes de carbone. © CNRS-CEA

Informations générales

Les acteurs français de la chimie des aliments et du goût

Comme il en exposait déjà l'idée dans nos colonnes à plusieurs reprises (février 2003, p. 62), Hervé This souhaite voir se former un groupe français de chimie, physico-chimie et biochimie des aliments et du goût. Un annuaire, qui regroupe déjà près de 300 noms, vient d'être constitué. Il sera tenu régulièrement à jour et envoyé à ceux qui le désirent et devrait être prochainement disponible sur le site de la SFC.

• Contact : Hervé This. Collège de France, 11 place Marcelin Berthelot, 75005 Paris. Tél. : 01 44 27 13 10 - Fax : 01 44 27 13 56. hthis@paris.inra.fr ou herve.this@college-de-france.fr

Industrie

PCAS : bilan 2002 et perspectives 2003

J.-P. Stephan, PDG de PCAS, a présenté en avril dernier les résultats consolidés 2002 de son groupe, un des leaders mondiaux de la chimie fine et de spécialités. Le chiffre d'affaires (CA) s'est élevé à 210 millions d'euros, en progression de 19 % par rapport à 2001 malgré une conjoncture médiocre, ce qui place PCAS entre le 10^e et le 15^e rang mondial. Le résultat net avant amortissement des écarts d'acquisition s'élève à 9,5 millions d'euros, en progression de 8 % par rapport à 2001. Les faits marquants 2002 ont été l'intégration réussie des acquisitions 2001 (E-Pharma, Expansia et Leiras Fine Chemicals), l'acquisition de Créapharm/Euclidis (développement galénique et préparation de lots cliniques), la création de Vernolab UK (services analytiques) et le report du projet concernant l'antiviral picovir (Pleconaril).

Le secteur *Synthèse et formulation pharmaceutiques*, qui représente 59 % du CA du groupe, a progressé de 34 % en 2002 et possède une forte croissance potentielle par suite de la demande croissante de l'industrie pharmaceutique (externalisation, molécules de plus en plus complexes, absence de chimie chez les génériques) et des avantages compétitifs de PCAS (technologie des réactions à froid, usines agréées FDA, excellent portefeuille de clients).

Le secteur *Parfumerie-cosmétique*, qui représente 13 % du CA, n'a progressé que de 9 % en 2002, mais garde un bon potentiel grâce notamment à sa

synergie avec la pharmacie et à son bon portefeuille de clients.

Le secteur *Photochimie-nouvelles technologies*, spécialisé dans les produits photosensibles et les précurseurs de matériaux pour la photographie, les arts graphiques, la microélectronique et la numérisation, qui représente 10 % du CA, s'est stabilisé après sa forte décroissance en 2001. Une reprise est attendue pour 2003.

Le secteur *Chimie minérale fine*, qui représente 7 % du CA, a progressé de 4 % en 2002 et son activité sera consolidée par de nouveaux projets d'oxydes métalliques complexes.

Le secteur *Spécialités chimiques industrielles*, spécialisé dans les lubrifiants et les fluides techniques pour l'industrie pétrolière et la fonderie, qui représente 8 % du CA, a été stable en 2002 et sa croissance devrait reprendre en 2003. Le secteur *Services analytiques* (Vernolab), qui représente 3 % du CA, n'a progressé que de 4,5 % en 2002, mais l'ouverture de Vernolab UK engendrera 13 % d'activité supplémentaire en 2003.

La stratégie de PCAS est toujours de doubler ses ventes tous les 3-4 ans par une croissance équilibrée interne et externe, en se développant en priorité dans la pharmacie et la parfumerie-cosmétique, afin de se hisser dans le « top ten » de son métier. Les perspectives sont une croissance modérée « à un chiffre » pour 2003 et la reprise d'une croissance « à deux chiffres » pour

2004-2005. De nouvelles acquisitions sont à l'étude, dont une sera réalisée d'ici fin 2003. La fusion avec le holding Dynaction, société mère de PCAS, est également envisagée avant la fin 2003, sous forme très probablement d'absorption de Dynaction par PCAS, après cession de l'activité d'engrenages (CMD) de Dynaction.

• <http://www.pcaschem.com>

Yves Dubosc

Enseignement, formation et emploi

Guide des aides doctorales et post-doctorales de l'ANDÈS

La 13^e édition du « Guide », publié par l'Association nationale des docteurs ès sciences, est en voie d'épuisement. Il reste encore, sans doute pour peu de temps, des exemplaires, qui peuvent être commandés au siège de l'ANDÈS*. Cette édition, mise à jour et augmentée des nouveaux programmes, décrit en 500 pages, de façon très détaillée, les quelque 6000 aides publiques françaises accordées par 36 organismes, les systèmes mis en place par 28 organisations internationales de type AUF, Banque Mondiale CE, CERN, ESA, HFSP, INTAS, OTAN, ZONTA, la participation de 25 conseils régionaux aux

co-financements avec les grands organismes, celles peu connues mais non moins importantes de nos entreprises industrielles, et enfin aborde le domaine complexe des bourses qu'accordent 84 institutions et fondations privées. Plus de 170 prix scientifiques sont décrits, classés par disciplines. Un chapitre de 226 pages détaille tous les programmes multilatéraux du ministère des Affaires étrangères avec les adresses de toutes les ambassades et centres culturels, l'ensemble des programmes d'actions intégrées et des programmes conjoints, les programmes des ministères français. Enfin, les accords bilatéraux entre la France et 70 pays sont détaillés. Pour chaque aide, ce guide précise de manière synthétique à qui et pour quoi elle est accordée, qui la gère, à qui et quand la demander, comment l'obtenir, quels sont son montant, sa durée, le domaine concerné, etc.

* INA-PG, 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris, en accompagnant la commande soit d'un bon de commande, soit d'un chèque.

Prix unitaire 38,50 + frais de port 5,50 .

Pan-European conference for all Europe's younger chemists

Grenoble, 26-29 août 2003

Cette grande conférence est destinée aux jeunes chimistes européens âgés de 21 à 35 ans. Elle comprend des présentations de posters, des communications et une compétition : l'auteur du meilleur poster est récompensé de la médaille européenne, accompagnée d'un prix de 1 000 euros. Les organisateurs encouragent vivement les réseaux de jeunes chimistes à apporter leurs contributions afin que chaque pays soit représenté.

Date limite des candidatures : 4 juillet 2003.

• <http://www.setforeurope.org> Contact : Eric Wharton. ericw@setforeurope.dmon.co.uk

Réactualisation des bases de la chimie

Le Département de chimie de l'Université Cergy-Pontoise met en place un projet de formation continue sur « les bases de la chimie » du **30 juin au 2 juillet 2003**. Cette formation de chimie à caractère professionnel ne requiert aucune connaissance spécifique et mêle cours et travaux pratiques. Elle est destinée à donner à des techniciens, pas nécessairement chimistes, des bases modernes de chimie pour une meilleure compréhension des phénomènes.

Justus von Liebig



La commémoration du 200^e anniversaire de la naissance du grand chimiste allemand Justus von Liebig (1803-1873) a occupé la ville de Giessen du 16 au 18 mars dernier. Tous les commerçants, musées, lieux historiques et laboratoires de la ville ont fêté leur héros national avec un bel humour.

Mais les agriculteurs de la Herse se sont aussi souvenu que le concepteur du tube à cinq boules a été le père de l'agriculture scientifique. Ils ont présenté leur matériel agricole ancien, à côté des machines les plus

modernes, cependant que leurs dames, en robes régionales, offraient les gâteaux faits à la maison.

La grande manifestation scientifique du 16 mai a voulu fixer les *Historische Stätten der Chemie*, conférences scientifiques du matin, dans le grand amphithéâtre du bâtiment de physique, et les conférences historiques de l'après-midi dans la belle salle d'honneur de l'Université.

La journée s'est terminée par la pose de la plaque commémorative sur la façade de l'ancien laboratoire de Liebig devenu musée, suivie d'une réception dans les locaux restaurés, où, bien sûr, la compagnie a savouré une savoureuse soupe de Liebig et dégusté du vin blanc Justus. Enfin, une démonstration de chimie dans l'amphithéâtre d'époque, exécutée par le président de la Société des chimistes allemands, a clos la journée dans l'amusement général.

Marika Blondel-Mégrelis

- 3 jours/800 euros.

Inscriptions : Service commun de formation continue.
Sylvie Mazaleyrat. Tél. : 01 34 25 63 56.
sylvie.mazaleyrat@ach.u-cergy.fr
Catalogue UCP-Forma-Chim 2003/2004 disponible
sur le site de l'université :
<http://www.u-cergy.fr/article307.html>

Formation d'ingénieurs

Six écoles de chimie (Clermont-Ferrand, Lille, Montpellier, Mulhouse, Rennes, Bordeaux) se sont associées dans un service commun de formation continue qui a pour vocation de préparer les candidats à une entrée directe en 2^e année de la formation initiale dispensée, indifféremment, par l'un de ces six établissements.

Les candidats doivent être titulaires d'un DUT ou d'un BTS de « chimie », « génie chimique » ou « mesures physiques » ou d'un diplôme équivalent, et justifier d'une activité professionnelle salariée de 3 ans au 1^{er} septembre de l'année d'inscription, dans les fonctions de technicien supérieur. La formation est répartie sur trois années.

Date limite de retour du dossier complet : 31 juillet 2003.

- Demande de dossier d'inscription : ENSCMu, Service Formation continue, 3 rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse Cedex. fc@uha.fr

La chimie au quotidien

La chimie intéresse le parlement

Le 31 mars 2003 ont eu lieu les premières rencontres parlementaires sur la chimie. Ce colloque, organisé autour de nombreuses personnalités politiques françaises à l'Assemblée nationale, s'intitulait « Améliorer la valeur et l'image de la chimie française ».

En raison du poids de la chimie, ainsi que des inquiétudes qu'elle crée dans la population, l'État s'est décidé à aborder cette problématique.

Le colloque, présidé par Anne-Marie Comparini, députée du Rhône, et Patrick Ollier, président de la Commission des affaires économiques de l'environnement et du territoire, a également attiré Luc Ferry, ministre de la Jeunesse, de l'Éducation nationale et de la Recherche, Nicole Fontaine, ministre déléguée à l'Industrie, et Roselyne Bachelot, ministre de l'Écologie et du Développement durable.

De nombreux intervenants, représentant les industriels du secteur, les associations et groupements concernés,

s'étaient déplacés pour faire entendre leur voix et témoigner de leur expérience face à la peur que suscite la chimie française.

Colin Droniou

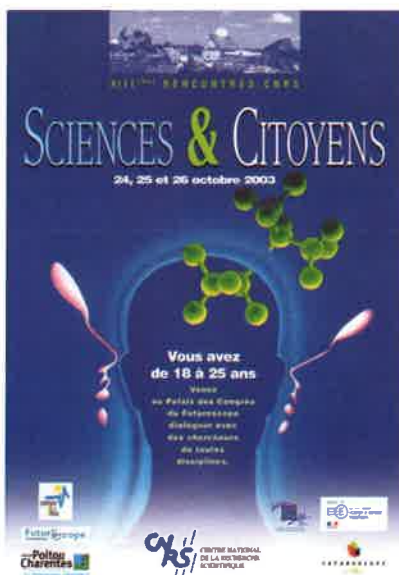
XIII^e Rencontres « Sciences et Citoyens »

Du **24 au 26 octobre 2003**, le CNRS organise les XIII^e Rencontres CNRS « Sciences et Citoyens ». 450 jeunes européens de 18 à 25 ans, étudiants ou engagés dans la vie active, et une centaine de chercheurs de toutes disciplines se réuniront à Poitiers.

Jeunes et chercheurs engageront des débats autour de dix thèmes très variés touchant aux grands problèmes de notre temps, parmi lesquels *De l'énergie pour tout le monde ?*, *Recherche, progrès et développement*, *Civilisations et risques*, *La chimie, science de tous les dangers ?*, *Puissance et pouvoir de l'image*.

Vous avez de **18 à 25 ans**, inscrivez-vous vite sur le site du CNRS (www.cnrs.fr) !

- Contacts :
Jean-Louis Buscaylet.
Tél. : 01 44 96 46 34. jean-louis.buscaylet@cnrs-dir.fr
Martine Roche.
Tél. : 01 44 96 46 31. martine.roche@cnrs-dir.fr



La main à la pâte sur les ondes

Chaque jeudi* sur France Info, ne manquez pas le récit d'une expérience réalisée en classe dans le cadre de l'opération « La main à la pâte ». Vous pouvez retrouver l'enregistrement de la séquence de la semaine sur le site Internet.

- http://www.radiofrance.fr/chaines/info2000/chroniques/education_info/4.php
- * Horaires de diffusion : jeudi à 10 h 49, 14 h 49, 16 h 49, 21 h 12, 23 h 12 et minuit 42.

Nouvelles de l'IUPAC

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) is a scientific, international non-governmental and objective body addressing global issues involving chemical sciences. IUPAC, to ensure the timely and effective fulfilment of its role in the international scientific and technical community, has undergone major structural changes over recent years to a project-driven system. IUPAC comprises eight divisions: Physical, Inorganic, Organic, Macromolecular, Analytical, Chemistry and the Environment, Human Health and Nomenclature. In addition, there are three operational standing committees, concerned with broad issues, namely, Chemical Research Applied to World Needs (Chemrawn), Chemistry Education, and Chemistry and Industry.

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

IUPAC Prize Winners - 2003

IUPAC has announced the winners of the 2003 IUPAC Prize for Young Chemists. This prize was established for the encouragement of outstanding young research scientists at the beginning of their careers. The international basis of science and education is illustrated by the fact that the 2003 winners and honorable mentions have undergraduate and graduate degrees from Russia, Canada, Argentina, Scotland, Germany, France, India, China and the United States.

The winners for 2003 are:

-Roman Boulatov (Russia), PhD, Stanford University :

«Synthesis and reactivity of metalloporphyrins in (A) biomimetic studies of terminal oxidases and (B) the preparation of novel heterodinuclear multiple metal-metal bonds» ;

-Gonzalo Cosa (Argentina), PhD, University of Ottawa, Canada :

«Mechanism of degradation of pharmaceutical products and analogues, and development of a novel fluorescence technique for DNA-damage detection» ;

-Martin Trent Lemaire (Canada), PhD, University of Victoria, Canada :

«Synthesis and coordination chemistry of chelating verdazyl radicals» ;

-Christoph Schaffrath (Germany), PhD, University of St Andrews,

Scotland :

«Biosynthesis and enzymology of fluorometabolite production in streptomycetes cattleya» ;

- **Kaihsu Tai**, PhD, University of California, San Diego :

«Simulations of molecules and processes in the synapse» ;

Honorable mentions:

- **S. Nagendran** (India), PhD, Indian Institute of Technology, Kanpur :

«N-bonded silanediols and organo-

stannoxanes: stannoxanes for multi-ferrocene and multi-porphyrin architectures» ;

- **Vincent Semetey** (France), PhD, Louis Pasteur University, Strasbourg : «N,N'-linked urea oligomers: synthesis, conformational studies and self-assembly properties» ;

- **Lei Wang** (China), PhD, University of California, Berkeley :

«Expanding the genetic code of *Escherichia coli*».

A vendre

Boîte à gants haute pureté

« JACOMEX BS531 » : volume environ 800 litres, 2 sas, groupe de pompage, automate programmable, microscope binoculaire, équipée analyseur H₂O et O₂, mise en service mai 1998.

Matériel visible sur place au laboratoire du DTI UMR 6107 à l'UFR Sciences de Reims. Prix à débattre.

• Contact : Patrick Baudart. Tél. : 03 26 91 39 03.

André Julg (1926-2003)

Ancien élève du lycée Thiers à Marseille, puis de l'École Normale Supérieure à Paris, d'où il sorti agrégé en sciences physiques, il avait ensuite préparé une thèse de doctorat dans le domaine de la chimie théorique avec le professeur Bernard Pullman à l'Institut du radium, tout en exerçant les fonctions d'agrégé-préparateur dans le laboratoire de son ancienne école, dirigé alors par le professeur Albert Kirrman. Son diplôme fraîchement obtenu, tout auréolé de sa soutenance devant un jury prestigieux, comprenant entre autres Louis de Broglie, le fondateur de la mécanique ondulatoire, dont il avait suivi le cours à l'École, il fut nommé professeur de chimie théorique à la Faculté des sciences St-Charles de Marseille en 1957. A ce sujet, il aimait raconter qu'un théoricien comme lui avait eu le soutien de ses futurs collègues chimistes, membres de ce qui ne s'appelait encore qu'une Commission de spécialistes, en effectuant devant eux la préparation d'un magnifique composé bleu, dérivant de l'azulène, dont il venait de déterminer la structure électronique.

Le cours qu'il dispensa dès le début, totalement innovant, devint rapidement une référence. Même si son contenu causait pas mal de frayses aux étudiants de licence, on se devait de suivre le cours de Julg, et d'obtenir son certificat. De nombreux collègues, ayant ensuite fait carrière dans d'autres parties de la chimie, s'en souviennent encore avec émotion et ne manquent pas d'évoquer à l'occasion tout le savoir qu'ils ont acquis – et dont ils font encore usage – auprès du professeur Julg. Les livres d'enseignement qui en résultèrent et une traduction en langue étrangère qui en fut donnée prouvent l'impact qu'ils eurent alors sur la communauté universitaire. Toujours soucieux d'être au plus près de la réalité scientifique, même pour les jeunes à leurs débuts, il s'intéressa aussi à l'enseignement dans les lycées et un ouvrage leur

fut consacré.

Bien entendu, il fut également rapidement reconnu pour ses travaux de recherche. Tous ceux qui l'ont côtoyé à l'époque se souviennent de la fierté qu'il avait à montrer sa *tapiserie* ! En l'occurrence, de nombreuses double pages jointes entre elles en une *affiche* (dans le jargon d'aujourd'hui) de largement plus du mètre carré, représentant des matrices auxquelles il avait eu affaire dans ses travaux sur la molécule d'azulène. Fierté, pourquoi ? Car il avait terminé son travail, entièrement à l'aide de simples calculatrices élémentaires, six mois avant un collègue américain qui, en compétition avec lui, utilisait les tous premiers ordinateurs accessibles dans notre domaine. C'est cet **enthousiasme** qu'il communiqua à ses élèves. A Marseille, il développa pendant de nombreuses années la *théorie L.C.A.O. améliorée*, qui représentait une avancée importante dans le cadre des méthodes dites semi-empiriques, mais il avait dû, pour des raisons calculatoires, limiter aux électrons π , responsables de la conjugaison. Il se tourna ensuite vers l'étude des cristaux. En fait, il était surtout fasciné par leur couleur, qu'il cherchait à expliquer. Il fut l'un des premiers à les étudier plutôt comme des molécules géantes, avec tous leur électrons σ et π , que comme des systèmes périodiques ; un ouvrage « *Cristals as giant molecules* » (Lecture Note in Chemistry #9, Springer-Verlag, Berlin) en témoigne. C'est pourquoi il s'était rapproché du Centre de recherche des mécanismes de la croissance cristalline (CRMC2) à Marseille-Luminy, alors dirigé par le professeur Raymond Kern, dans les années 80.

Tous ces travaux trouvèrent leur conclusion dans près de 200 publications, de nombreuses communications et thèses dirigées, plusieurs ouvrages et des collaborations variées. Son activité n'avait pas cessé avec son départ en retraite, il y a une

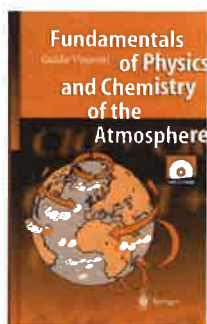
dizaine d'années : convaincu que l'esprit doit primer sur la machine, quitte à ce que l'ordinateur confirme ultérieurement ses hypothèses, il n'acceptait pas l'idée de « ne pas comprendre la mécanique quantique » et il en avait développé une nouvelle approche, très originale, dans une autre « Lecture Note » publiée en 1998 sous le titre « From atoms and molecules to the cosmos ». Son grand regret était de ne trouver aucun éditeur qui veuille bien de la version élargie, en langue française, qu'il avait sous le coude.

Le professeur André Julg, figure marquante des sciences chimiques, nous laissera le souvenir de quelqu'un qui **aimait la connaissance**, sous toutes ses formes. En dehors de son domaine propre, il était fêru d'archéologie, de langues anciennes, de géologie (ceux qui l'ont rencontré chez lui ne peuvent avoir oublié sa, plus que conséquente, collection de pierres et de fossiles, minutieusement étiquetée),... et de bien d'autres domaines encore. C'était un défenseur de la latinité à travers la langue française et il était particulièrement heureux d'avoir organisé en 1975 la « VI^e Rencontre des chimistes théoriciens d'expression latine » en Arles, la première ville fondée par les Romains en Gaule.

André Julg nous donna toute sa vie une leçon de courage, refusant l'adversité, refusant les conséquences handicapantes d'une maladie contractée à son adolescence. Après le décès en décembre 2002 de son épouse Odette, qui l'avait pendant des années secondé en tant que Chef de travaux à l'université de Provence à Marseille, il venait de rejoindre, il y a quelques semaines à peine, son fils Pierre, professeur de mathématiques à l'université d'Orléans, et sa famille. Le destin, brutal, ne lui a permis que d'y faire un trop bref passage.

Gaston Berthier
et Alain Pellegatti

Livres



Fundamentals of physics and chemistry of the atmosphere

Guido Visconti

593 pages, 98,33 €

Springer Verlag, 2001

Le livre s'articule autour de 19 chapitres, d'un poids égal, présentant la physique et la chimie de l'atmosphère, l'accent étant mis particulièrement sur la physique de la troposphère terrestre. Un des intérêts de l'ouvrage est qu'il aborde l'atmosphère d'autres planètes du système solaire marquant ainsi leurs différences. L'exposé des phénomènes physiques, des théories et équations se fait de façon progressive et très pédagogique, facilitant ainsi la compréhension.

Sont d'abord abordées la thermodynamique et les bases du rayonnement solaire et terrestre, ce qui permet d'appréhender déjà bon nombre de phénomènes. L'auteur présente ensuite par une série de chapitres la dynamique de la troposphère, plus particulièrement terrestre. Une fois les équations fondamentales posées et expliquées dans le détail, des applications météorologiques sont proposées : brise de mer, effet de Foehn, mouvement géostrophique, vent thermique, ondes, écoulements autour d'obstacles. Un chapitre entier est consacré à la couche limite planétaire (partie base de la troposphère) et constitue une excellente introduction à des ouvrages plus complets (de Stull ou Pielke par exemple). Puis l'auteur nous replace à l'échelle de la planète avec la présentation de la circulation atmosphérique générale.

Un autre intérêt du livre est qu'il ne se contente pas de présenter des équations et des théories, mais également des modèles de climat simples et leurs applications qu'il est possible de mieux comprendre grâce aux notions de base acquises dans les premiers chapitres. Il replace également la théorie dans les enjeux contemporains tels que l'évolu-

tion du climat, El Nino ou l'effet de serre, ce qui a un effet doublement éducatif et permet au lecteur de mieux comprendre le monde qui l'entoure.

La partie relative à la chimie est plus concise, mais non moins intéressante. Toujours de façon très claire sont exposés la composition de l'atmosphère, le cycle du carbone, l'interaction entre les océans et l'atmosphère, les principaux types de réaction chimique, le cycle du soufre, la chimie urbaine expliquant comment nous pouvons observer de fortes concentrations en ozone dans nos villes. Ce chapitre permet d'avoir un bref mais complet coup d'œil sur le sujet et là encore, c'est une excellente introduction à des ouvrages plus complets sur la question (Seinfeld).

Le livre n'aurait pas été complet sans les deux chapitres sur la dynamique et la chimie de la stratosphère que l'on peut aborder une fois celle de la basse atmosphère comprise. Bien entendu, l'accent est mis sur le trou de la couche d'ozone. Pour finir, cet ouvrage se ferme sur le caractère chaotique du climat et de l'atmosphère, et esquisse la description des théories associées.

L'originalité du livre réside aussi dans la présence d'un CD-Rom contenant les programmes permettant de résoudre numériquement certains problèmes abordés au cours des chapitres.

Sans se réduire à une introduction à la physique ou à la chimie de l'atmosphère, et ce livre n'étant pas non plus un ouvrage de spécialiste sur le sujet, il aborde néanmoins suffisamment de points pour être une « entrée en matière » très efficace pour toute personne, de niveau licence/maîtrise ou ingénieur de physique et chimie, désireux pénétrer ce domaine passionnant et d'actualité qu'est la physico-chimie de l'atmosphère.

Éric Arquis

Procédés électriques de mesure et de traitement des polluants

Eugen Hnatiuc (coord.)

371 pages, 78 €

Éditions Tec & Doc, 2002



Au cours des dernières décennies, l'acuité des problèmes liés à la maîtrise de la pollution industrielle a suscité la publication régulière d'ouvrages techniques ou pédagogiques faisant le point sur les avancées technologiques concernant ce secteur. Ce document, réalisé en prolongement d'une coopération entre la France et la Roumanie initiée, soutenue et coordonnée par l'Ademe, s'inscrit dans cette lignée.

Cet ouvrage a une vocation pédagogique et est accessible à un large public de scientifiques et universitaires, ingénieurs, cadres industriels et institutionnels.

Le choix des auteurs s'est porté sur les techniques électriques applicables au contrôle, au traitement ou à la prévention de la pollution. L'intérêt de ces techniques est lié à l'abondance de cette énergie, à sa très grande disponibilité et à sa souplesse d'utilisation.

La première partie présente quelques aspects concernant les problèmes environnementaux, la législation spécifique et l'importance des techniques électriques en matière de mesure et de traitement.

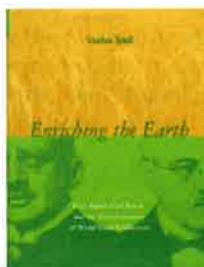
La seconde partie situe les méthodes électriques d'analyse et contrôle de pollution par rapport à l'éventail des méthodes classiques d'analyse. Elle présente tout particulièrement les méthodes d'analyse rapide adaptées à certaines situations qui, par exemple, ne nécessitent pas un contrôle approfondi mais une réponse rapide ou ne justifient pas d'une analyse très coûteuse. Les capteurs utilisés pour ce type de contrôle y sont décrits.

La troisième partie présente la place des méthodes électriques de traitement de la pollution parmi les différentes méthodes couramment utilisées, puis expose en détail les différents procédés concernés en proposant des exemples précis d'applications : procédés électriques classiques, procédés d'oxydation avancée et procédés émergents dont la sonication et la photocatalyse, procédés basés sur les décharges électriques.

La dernière partie aborde des problèmes plus généraux relatifs à la prévention ou à la gestion des pollutions. Elle présente d'une part, l'approche méthodologique « technologie propre » et son application à différents secteurs ; d'autre part, elle analyse l'impact sur l'environnement de différentes démarches de gestion des déchets. Enfin, elle aborde la relation entre contrôle et traitement de la pollution dans les installations industrielles. Le dernier chapitre est réservé à une

présentation générale des techniques peu polluantes de production d'énergie : énergies hydraulique, éolienne, photovoltaïque, solaire thermodynamique, marémotrice, géothermie haute température, piles à combustible, cogénération, biomasse.

Nicole Jaffrezic-Renault



Enriching the Earth

Vaclav Smil

338 pages, 53,36 €

MIT Press, 2001

Interrogé sur les plus importants événements du XX^e siècle, on a tendance à citer l'informatique, l'énergie nucléaire, la conquête de l'espace et on oublie... l'augmentation des rendements agricoles grâce aux engrais chimiques. Par exemple, pour le blé, ils sont passés en un siècle de moins de 15 quintaux/hectare à 100 quintaux l'hectare dans les cas favorables.

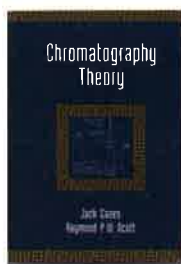
Pourtant, dès 1726, Swift avait écrit : « *And he gave it for his opinion, that whoever could make two ears of corn, or two blades of grass to grow upon a spot of ground where only one grew before, would deserve better of mankind, and do more essential service to his country, than the whole race of politicians put together* » (Voyage to Brobdingnag, *Gulliver's travels*, chap. 6).

Cette révolution, qui a eu et qui a une répercussion, on s'en doute, sur la vie quotidienne de tous les habitants de notre planète, en diminuant le coût relatif de la nourriture, en diminuant le nombre de disettes, n'a été possible que par l'innovation de la synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote de l'air. Deux personnes, Fritz Haber et Carl Bosch, une entreprise, la BASF, ont eu un rôle de premier plan.

Illustré par de nombreux graphiques, ce livre évolue dans le monde de la recherche à caractère fondamental et appliqué du développement, de l'industrialisation, de l'agronomie, de la nutrition, de la démographie, de l'écologie et bien sûr, de la chimie. Rappelons que ce thème a été traité par *L'Actualité*

Chimique en novembre 2000 dans son numéro spécial « Nourrir les hommes hier et demain, apports de la chimie ». Le livre finit par une biographie qu'on aurait pu souhaiter plus détaillée de Carl Bosch et Fritz Haber qui reçut le prix Nobel de chimie en 1920. La centaine de pages de notes à la fin du livre sont intéressantes par leur précision, reflet de la culture technique de l'auteur qui est... géographe.

Philippe Pichat



Chromatography theory

Jack Cazes et Raymond P. W. Scott

496 pages, 115 \$

Marcel Dekker, New York, 2002

Ces deux auteurs accompagnent les progrès de la chromatographie depuis plus de 40 ans. J. Cazes, actuel rédacteur en chef du *Journal of liquid chromatography and related techniques*, a aussi rédigé ou édité plus de 40 livres ; on trouve la signature de R.P.W. Scott dans des textes fondateurs de la chromatographie aussi loin que 1958 ; lui aussi a signé de nombreux livres qui font toujours autorité, tant sur des questions pratiques – par exemple les systèmes de détection –, que sur des aspects purement théoriques. Que ces deux témoins et acteurs importants des techniques séparatives se soient associés pour rédiger un ouvrage théorique couvrant toutes les différentes chromatographies, attire inévitablement l'attention.

Les séparations chromatographiques déroutent souvent les néophytes, car de nombreuses variables interdépendantes doivent être optimisées afin d'obtenir la séparation la plus rapide et la mieux résolue, alors que les appareils récents sont souvent présentés comme entièrement automatiques et devant « marcher tout seul ». L'ouvrage a pour but de rappeler les principes théoriques de base concernant la chromatographie en phase gazeuse, la chromatographie en phase liquide, ainsi que les bases de la chromatographie sur couches minces. C'est donc sans surprise que l'on trouvera, tout au long de ses 16 chapitres,

les rappels de la théorie des plateaux, des théories cinétiques et des mécanismes de dispersion.

Plusieurs chapitres traitent de la conception des colonnes pour la chromatographie liquide ou la chromatographie gazeuse, qu'elles soient de type capillaire ou à garnissage. Les auteurs présentent les équations, puis quelques représentations graphiques obtenues à l'aide d'un tableur. On doit leur faire confiance que les choses iront ainsi dans la réalité, mais on aimerait bien voir, de temps en temps, un chromatogramme réel à l'appui de leur démonstration. De même, on ne trouve aucune représentation d'appareillage ou d'exemples d'application. Il s'agit d'un ouvrage de pure théorie, rempli de plus de 300 équations, reprenant des concepts déjà couverts dans leurs précédents ouvrages. Les références citées sont essentiellement celles d'ouvrages parus dans les années 1960 à 1980, ce qui n'est pas critiquable dans la mesure où beaucoup de ces livres sont souvent devenus inaccessibles. Les termes, les symboles et les définitions sont également ceux des débuts de la chromatographie, parlant par exemple de facteur de capacité, là où désormais on recommande de parler de facteur de rétention, et ignorant donc les propositions de rénovation de la terminologie en chromatographie, encouragées par L. Ettre et suivies actuellement par de nombreux auteurs contemporains.

Ce livre très spécialisé est bien rédigé. Il vient opportunément rappeler que les méthodes chromatographiques apparues à la fin des années 40 étaient complètes d'un point de vue théorique, dès la fin des années 60. Il s'adresse surtout aux étudiants en chromatographie, et fournit un solide support théorique de base aux concepteurs d'appareillages. Étant presque par définition éloigné de la pratique, il sera moins utile au quotidien d'un laboratoire d'analyse et de contrôle de routine.

Patrick Arpino

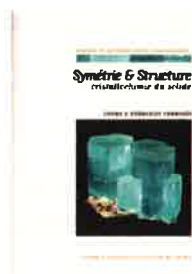
Symétrie et structure cristallochimie du solide

Jacques Angenault

646 pages, 50 €

Vuibert, 2001

Le présent ouvrage se propose d'aborder le domaine de la cristallochimie du solide en s'appuyant sur les notions de



symétrie et de structure cristalline qui jouent un rôle fondamental dans l'étude des propriétés physico-chimiques de la matière.

Ce manuel s'adresse, sous forme de cours et d'exercices corrigés, aux 1^{er} et 2^e cycles universitaires. L'auteur y expose les concepts de symétrie de translation et symétrie d'orientation et les fondements de la diffraction des rayons X. Puis il aborde la description des structures fondamentales. Les études structurales proprement dites sont consacrées successivement aux structures métalliques, puis aux composés binaires, soit ioniques, soit iono-covalents, enfin aux solides ternaires, qui incluent quelques grandes familles de composés essentiels.

Cet ouvrage sera un bon support de cours pour l'enseignant, confronté au souci premier de faire comprendre la cristallographie et toutes ses implications dans la cristallographie. Il est basé sur l'observation, le bon sens et la logique plutôt que sur la théorie, à laquelle l'auteur fait toutefois référence en citant les bons auteurs. L'auteur a le mérite d'asseoir les notions abstraites sur de multiples exemples. Il se vante même de revenir plusieurs fois sur des notions de base, car il est conscient qu'on « n'entre » pas en cristallographie à la première lecture !

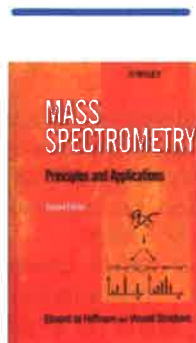
Ce manuel comporte un grand nombre de données, tables et tableaux, représentations de structures, qui seront fort utiles à l'enseignant pour enrichir son cours. Chacune des sept parties comporte des exercices d'application avec leur corrigé (135 au total), pour l'étudiant, de quoi tester ses connaissances.

On peut cependant formuler deux remarques. La première porte sur la forme : la mise en page, la multiplicité des choix typographiques, les figures au milieu du texte, parfois sans légende explicite, rendent la lecture un peu ardue... La seconde concerne le fond : l'approche développée par l'auteur reste résolument classique et descriptive. Il est dommage, à propos de la symétrie des édifices cristallins, de ne pas signaler quelques-unes des

propriétés physiques qui en découlent. Il est aussi dommage de ne pas évoquer l'existence concrète de matériaux qui semblent remettre en cause la cristallographie « classique », à savoir les quasi-cristaux.

Malgré ces réserves, cet ouvrage met à la disposition des milieux universitaires et scientifiques un bon outil d'introduction à la cristallographie du solide.

Andrée Kahn-Harari



Mass spectrometry (2nde éd.)

E. de Hoffmann et V. Stroobant
408 pages, 80 £
John Wiley and Sons, 2001

La parution de la 2nde édition en anglais est l'occasion de rappeler que ce livre a paru initialement en français en 1994, qu'il fut traduit en anglais, puis qu'une 2nde édition bien mise à jour fut publiée en français en 1999 et traduite à son tour en anglais.

C'est dire le succès de l'ouvrage et de rappeler au passage qu'il n'est pas pénalisant pour un auteur francophone de vouloir publier en français, si le sujet est bon et qu'il est bien traité – comme l'ont bien compris des auteurs belges, le cas ici, ou canadiens. Si les lecteurs de *L'Actualité Chimique* n'avaient pas remarqué cette 2nde édition à sa sortie en 1999, il convient de la lire dans la langue que l'on pratique le mieux, puisque cette édition est une fidèle transcription de la version française : même maquette claire, même présentation soignée, mêmes figures. Rappelons enfin qu'il s'agit d'une monographie générale sur la spectrométrie de masse – essentiellement organique – s'efforçant de décrire en un même ouvrage ses aspects technologiques (la comparaison des différents analyseurs), ou méthodologiques (les différents modes d'ionisation et d'analyse des signaux) ; ses applications à l'analyse qualitative ou quantitative ; les informations obtenues à partir de classes de substances bien définies, notamment les biomolécules.

L'exercice est difficile, car il faut éviter de survoler ou d'oublier des sujets importants.

Les auteurs y ont bien réussi, d'où le succès du livre et ses nombreuses rééditions. C'est toujours un excellent texte d'initiation et de présentation de la spectrométrie de masse qui incite ensuite à se tourner vers les ouvrages spécialisés pour approfondir un domaine particulier. Mais pour ces derniers, hélas, les textes en français sont rares.

Patrick Arpino



Electroanalytical methods

F. Scholz (éd.)
330 pages, 69,95 €
Springer-Verlag, 2002

Cet ouvrage raisonnable (330 pages), qui se veut un « guide pour l'expérimentation et les applications », est l'œuvre, en plus de l'éditeur, de douze contributeurs de divers pays (1/3 Angleterre-Australie, 1/3 Allemagne, 1/3 Europe centrale).

Il constitue un condensé des principales méthodes électrochimiques d'analyse (voltamétrie cyclique, méthodes impulsives, impédancemétrie), introduites par un rappel de 50 pages des notions de base (double couche électrique, thermodynamique et cinétique des réactions électrochimiques). Les exposés sont assez homogènes et reprennent l'essentiel des publications de base, de façon assez exhaustive et correcte, mais sans ajouter énormément d'explications ni de points de vue tant soit peu originaux qui en faciliteraient l'approche. L'ouvrage se veut moderne en oubliant la chronopotentiométrie et la polarographie, ce que l'on peut toutefois regretter. La problématique de l'irréversibilité/réversibilité du transfert de charge est inégalement prise en compte et le transfert de matière, mais hélas beaucoup d'ouvrages d'électrochimie en font autant, est traité de façon incomplète et morcelée au gré

des chapitres et des méthodes. Le chapitre sur la spectroscopie d'impédance est cependant émaillé de quelques remarques pertinentes sur ce que doit être une bonne mesure et sur les dangers des modèles et des simulations mal maîtrisées.

L'abord peut en conséquence apparaître quelque peu hermétique pour un public non spécialisé, malgré le but déclaré de s'adresser aux chimistes, biochimistes et physiciens. L'intérêt de l'ouvrage provient principalement des chapitres annexes, notamment celui bien détaillé sur le couplage avec de nombreuses techniques spectroscopiques, celui bien complet sur l'analyse par accumulation (*stripping voltammetry*) et celui bien documenté et argumenté sur les diverses électrodes de référence. Une liste des principales revues de publication et d'ouvrages de référence intéressera les non-spécialistes, mais beaucoup trop de modèles sont présentés sans leur domaine de validité et il y a un peu trop d'erreurs dans les formules (non signalées par l'erratum joint) pour recommander cet ouvrage à des débutants dans le domaine. Saluons au passage une liste chronologique des principaux auteurs de contribution notable en électrochimie analytique.

Éric Vieil

Revue

Bulletin de l'Union des Physiciens (BUP)

Sommaire du n° 852, mars 2003

- Avions et tourbillons, par J.-P. Hulin, É. Guyon et P. Petitjeans.
- Mécanique spatiale : perturbations provoquées ou naturelles des systèmes keplériens, par le Colonel R. Genty.
- Quelques avancées récentes en physique des particules et des astroparticules, par J. Haïssinski et G. Unal.
- L'importance de la physique des hautes énergies pour la science et la technologie, par S. L. Glashow.
- Introduction à la microbalance à quartz : aspects théoriques et expérimentaux, par J.-M. Friedt.
- A propos des ondes de la cuve à ondes, par C. Lagoute.
- Une application originale des ondes progressives : le moteur piézo-électrique, par É. Piécourt.
- La colonne solaire, par A. Cantegreil.
- Prix Nobel de chimie 2001, par A. Mathis.

- Le conformère éclipsé de l'éthane n'existe pas, par A. Hocquet.
- État d'équilibre ou non d'un système chimique, par B. Pascal.
- Classes préparatoires aux grandes écoles : la filière biologique et ses atouts, par J.-F. Beaux et M. Aubert.
- Olympiades de la chimie, chimie et beauté : présentation des TP. TP n° 1 : Coiffure, par É. Antonot.

Sommaire du n° 853, avril 2003

Cahier n° 1

- Des motifs à couleur changeante sur les euros..., par V. Antzoulatos.
 - Le tabac, la nicotine et la santé, par A. Mathis.
- Actualité pédagogiques, dont :
- La loi de Boyle-Mariotte : un TP en forme d'enquête, par A. Le Lirzin.
 - Organisation du laboratoire : 1^{ère} partie, par M. Izbicki.
 - Olympiades de la chimie, chimie et beauté : présentation des TP. TP n° 2 : autour du bronzage, par É. Antonot.
 - Les ressources académiques en sciences physiques, par T. Plisson.

Cahier n° 2 :

enseignement technologique

Les baccalauréats technologiques, les génies, les baccalauréats STL, physique et chimie de laboratoire, le baccalauréat sciences médico-sociales, les BTS, les CPGE.

Prix de vente au numéro : 6 € TTC
 Union des Physiciens
 44 bd Saint-Michel,
 75270 Paris Cedex 06.
 Tél. : 01 43 25 61 53.
<http://www.cnam.fr/hebergement/udp/>
 Abonnement : même adresse ou
udp.bup@udp-bup.org

A signaler

Déchets industriels : gérer, traiter, valoriser

195 € HT (mise à jour semestrielle par abonnement)

Ed. Techniques de l'Ingénieur, 2003

Ce CD-Rom a pour ambition d'apporter les connaissances techniques indispensables à la gestion des déchets industriels : contextes réglementaire et socio-économique, analyse des déchets, approche par nature de déchets, filières de traitement, mise en décharge et centres collectifs.

Ecological modeling in risk assessment Chemical effects on populations,

ecosystems and landscapes

R.A. Pastorok, S.M. Bartell, S. Ferson, L.R. Ginzburg (ed.)
 328 p., 69,99 £
 Lewis Publishers, 2002

Atlas of plastics additives Analysis by spectrometric methods

D.O. Hummel
 540 p., 479 €
 Springer, 2002

Amiante : obligations et responsabilités

S. Musso-Gabai
 208 p., 42,84 €
 SAP, 2002

Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry (6th ed)

30 000 p., 4 669 €
 Wiley-VCH, 2002

Analytical electron microscopy for materials science

D. Shindo, T. Oikawa
 156 p., 84,35 €
 Springer, 2002

Nanocrystalline ceramics Synthesis and structure

Springer series in materials sciences, vol. 53
 M. Winterer
 260 p., 73,80 €
 Springer, 2002

Lipid and polymers-lipid systems Progress in colloid and polymer science (vol. 120)

T. Nylander, B. Lindman
 105 p., 63,25 €
 Springer, 2002

Chemistry of marine water and sediments

A. Gianguzza, E. Pelizzetti, S. Sammartano
 525 p., 136,10 €
 Springer, 2002

Encyclopedia of agrochemicals

J.R. Plimmer
 3 vol., 630 £
 Wiley, janv. 2003

Essentials of patents

A. Gibbs
 256 p., 35,30 €
 Wiley, déc. 2002

Nanostructured materials

H. Hofmann, Z. Rahman, U. Schubert
 210 p., 122,38 €
 Springer, 2002

28 juin-2 juillet 2003

sfc

2^e Rencontres méditerranéennes en photochimie

Taormine (Sicile)

Groupe Photochimie

(L'Act. Chim., mars 2003, p. 63)

• <http://gif.chm.unipg.it/medweb/entry.htm>30 juin-1^{er} juillet 2003**INRS - Actualités en prévention**

Nancy

• actuenprevention@inrs.fr
www.palais-congres-nancy.com/inscriptions/iap.asp

1-4 juillet 2003

Summer school on acceleration and miniaturisation in catalysis

Lyon

• Martine Diab, IRC. Tél. : 04 72 44 53 92.
<http://www.catalyse.cnrs.fr/AMCAT/>

7-10 juillet 2003

Congrès général de la Société Française de Physique

Lyon

• sfp_2003@lasim.univ-lyon1.fr
<http://lasim.univ-lyon1.fr/SFP2003/>

13-18 juillet 2003

ICCOSS XVI**16th international conference on the chemistry of the organic solid state**

Sydney (Australie)

• r.bishop@unsw.edu.au
<http://www.chem.unsw.edu.au/events/ICCOSS/ICCOSS-XVI-exp-int.html>

19-23 juillet 2003

11th International conference on biological inorganic chemistry

Cairns (Australie)

• icbic11@icms.com.au
<http://www.icms.com.au/icbic11>

10-15 août 2003

La chimie aux interfaces**39^e Congrès de l'IUPAC et 86^e Conférence de la Société Canadienne de Chimie**

Ottawa (Canada)

• iupac2003@nrc.ca
<http://www.iupac2003.org>

17-22 août 2003

ICRR 2003**12th International congress of radiation research**

Brisbane (Australie)

• <http://www.icrr2003.org>

27-29 août 2003

Pan-European conference for all Europe's younger chemists

Grenoble

Date limite de soumission :
4 juillet 2003

(voir L'Act. Chim., juin 2003, p. 54)

• ericw@selfforeurope.demon.co.uk
<http://www.selfforeurope.org>

2-6 septembre 2003

8th International symposium on solid phase synthesis and combinatorial chemical libraries

Londres (Royaume-Uni)

• r.epton@mayflower.demon.co.uk
<http://www.biocom.co.uk/sps2003.htm>

3-6 septembre 2003

ECSSC-9**9th European conference on solid state chemistry**

Stuttgart (Allemagne)

• <http://www.mpi-stuttgart.mpg.de/jansen/ecssc9>

3-7 septembre 2003

**4th Conference on history of chemistry
Communications on chemistry in Europe across borders and across generations**

Budapest (Hongrie)

• Hungarian Chemical Society.
monika.bondar.mke@mtesz.hu
<http://www.4hchem2003.mtesz.hu>

6-10 septembre 2003

ISOC 2003**4th International school of organometallic chemistry**

Camerino (Italie)

• augusto.cingolani@unicam.it
<http://www.unicam.it/discichi/isoc2003/index.html>

14-19 septembre 2003

Galerie 2003

Carcans-Maubuisson

• delville@icmcb.u-bordeaux.fr
<http://www.icmcb.u-bordeaux.fr/galerie2003/index.htm>

14-21 septembre 2003

École d'été du CNRS**Highlights in nano-scale catalyst design & engineering**

Turin (Italie)

École d'été ouverte aux doctorants.

• quadrelli@cpe.fr
<http://www.cpe.fr/nanocat-school2003>

21-25 septembre 2003

4th European congress of chemical engineering

Grenade (Espagne)

• ecce4@anque.es
<http://www.anque.es/ecce4>

21-23 octobre 2003

Mesurexpo 2003**Exposition de physique 2003**

Paris

• mrenoult@exposium.fr
<http://www.mesurexpo.com>

21-24 octobre 2003

EuAsC2S-8**8th Eurasia conference on chemical sciences**

Hanoi (Vietnam)

Date limite de soumission :**31 juillet 2003**• Chemical Society of Vietnam. Tél. : +84 (4) 8267498.
Fax : +84 (4) 8267498. csv@netnam.vn

24-26 octobre 2003

XIII^e Rencontres CNRS Sciences et citoyens

Poitiers

(voir L'Act. Chim., juin 2003, p. 55)

• CNRS. Tél. : 01 44 96 46 34/46 31.
<http://www.cnrs.fr>

24-27 novembre 2003

8th Pacific polymer conference

Bangkok (Thaïlande)

Date limite de soumission :**15 juillet 2003**• ppc8@chula.ac.th
<http://www.ppc8.thai.net>

Divisions

Catalyse

Prix 2003 : Chantal Guillard

Le prix de la division Catalyse a été décerné à Chantal Guillard, chargée de recherche au CNRS et nouvellement arrivée au Laboratoire d'application de la chimie à l'environnement (LACE).

Après sa thèse soutenue à l'Institut de Recherche sur la Catalyse dans le domaine des hydrotraitements, elle entre au Laboratoire de photocatalyse, catalyse et environnement de l'École centrale de Lyon, où elle s'implique très fortement dans la mise au point de techniques d'analyse nécessaires à la chimie environnementale, et dans le domaine de la photocatalyse appliquée au traitement de l'air et de l'eau. Parmi ses principaux travaux, il convient de mentionner le développement d'un réacteur photocatalytique à base de fibres optiques, l'évaluation de l'efficacité de divers matériaux autonettoyants à base de TiO_2 , la comparaison de différentes méthodes (dont la photocatalyse) à la dépollution des eaux.

Chantal Guillard est à la tête de plus de 60 publications dans des revues à comité de lecture et de plus de 100 communications. Par ailleurs, son niveau d'expertise dans les domaines précédemment cités lui a permis de devenir enseignante dans le DEA de chimie analytique de Lyon et dans l'option Santé et environnement à l'École centrale.

Le prix lui a été remis lors du congrès Zéolithe-Catalyse 2003, organisé conjointement par les bureaux de la DivCat, du GECAT et du GFZ, du 11 au 15 mai 2003 à Autrans.

Sections

Champagne-Ardenne

Nouveau bureau

Président : Christophe Bliard

Secrétaire : Janos Sapi

Trésorier : Bernard Barlaam

Responsables du site et de la communication : Philippe Bertus et Emmanuel Guillon

• Christophe Bliard, Université de Reims, bât. 18, ESA 6013-CNRS-CPCB Europol'Agro, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims Cedex 2.
Tél. : 13 26 91 34 95. Fax : 03 26 91 35 96.
E-mail : christophe.bliard@univ-reims.fr

Nord-Pas de Calais-Picardie

Nouveau bureau

Président : Didier Barbry

Vice-président : Claude Loucheux

Secrétaire : Claudine Follet

Trésorier : Stéphane Lebrun

• Didier Barbry, Université des sciences et techniques de Lille, Laboratoire de chimie organique, bât. C4, 1^{er} étage, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex.
Tél/fax : 03 20 43 49 74.
E-mail : Didier.Barbry@univ-lille1.fr

Groupes

Chimiométrie

3-4 décembre 2003

Chimiométrie 2003

Paris

Ce congrès s'adresse à tous ceux pour qui la mesure et le traitement des informations expérimentales ont une importance capitale pour l'interprétation des phénomènes chimiques.

L'accent sera mis cette année sur les domaines et thèmes suivants :

- Pharmacie, chimie médicinale ;
- Cosmétiques, parfums et arômes ;
- Authentification des aliments, sécurité alimentaire ;
- Analyse sensorielle : agro-alimentaire, cosmétique, automobile, confort de l'habitation... ;
- Environnement ;
- Traitements d'images, résolution temporelle : spectroscopies vibrationnelles, spectrométrie de masse, chromatographie, microscopie... ;
- Échantillonnage. Validation de méthode ;
- Génie des procédés : suivi et analyse de process et de batch ;
- Formulation et mélanges ;
- Modèle 2D et 3D en QSAR/QSPR.

Un prix de 400 euros offert par la division Chimie analytique récompensera les meilleures communications orales présentées par des jeunes chimiomètres

triciens (30 ans ou moins).

Une exposition permanente de produits, matériels et de logiciels est également prévue.

• Renseignements : SCL.
Tél. : 01 53 59 02 16. Fax : 01 45 55 40 33.
E-mail : jgrolere@wanadoo.fr
<http://www.chimiometrie.org>

Parrainages

4-6 mai 2004

4^e Colloque Science et technologie des poudres

« 3 jours pour faire parler la poudre »

Compiègne

Ce colloque s'adresse aux universitaires et industriels qui travaillent dans le domaine des poudres, solides divisés ou milieux granulaires et leurs modélisations, ainsi qu'aux équipementiers et fabricants de matériels pour l'élaboration, la caractérisation, la mise en forme et la mise en œuvre des poudres. Les objectifs de ce colloque sont de faire le point sur les connaissances actuelles dans le domaine des matériaux divisés, et de favoriser les échanges entre chercheurs, équipementiers et utilisateurs.

Six thèmes sont au programme : synthèse, caractérisation, comportement physique et réactivité des poudres, procédés de mise en œuvre et de mise en forme. Chacun de ces thèmes sera abordé par demi-journée au cours de laquelle se succéderont une conférence invitée, des communications orales et par affiches.

Une exposition de matériels scientifiques et techniques sera organisée parallèlement aux conférences.

• Renseignements : Pierre Guigon.
Tél. : 03 44 23 44 31. Fax : 03 44 23 19 80.
E-mail : pierre.guigon@utc.fr
www.utc.fr/stpoudres4

Grands Prix 2003 de la SFC : appel à candidatures

Les Grands Prix Le Bel et Süe sont attribués par le Conseil d'administration. Ils récompensent des travaux reconnus au niveau international qui s'inscrivent dans le cadre des activités de la SFC. Chaque Grand Prix peut être partagé entre deux personnes au plus. Il est hautement souhaitable que les lauréats soient membres de la SFC au moment de leur remise.

Pour l'année 2003, les divisions et sections régionales peuvent transmettre au secrétariat de la SFC (avec la mention Grands Prix SFC), avant le 1^{er} juillet 2003, une lettre de nomination exposant les raisons justifiant leur(s) proposition(s) de présenter un (ou plusieurs) candidat(s), de préférence membre(s) de la SFC, à l'un des Grands Prix.

La lettre doit être accompagnée du curriculum vitæ, d'une liste actualisée des publications et brevets et des conférences et séminaires invités, et d'un résumé de la trajectoire scientifique du candidat présenté.

Le jury sera constitué de sept personnalités internationalement reconnues, membres de la SFC, dont la liste, après avis du Conseil d'administration, sera publiée sur le site Internet de la SFC. Il pourra s'entourer d'avis extérieurs, essentiellement en provenance de l'étranger. Les critères de sélection des dossiers et de classement des candidats auront été arrêtés au préalable par le jury et communiqués au Conseil d'administration.

L'article de Gilbert Schorsch sur les indicateurs de R & D de la Commission européenne (janv. 2003, p. 26) a suscité de nombreuses réactions, tantôt des remerciements, des confirmations, mais aussi des contributions, de la part notamment de responsables ministériels. Il a d'ailleurs été repris pratiquement intégralement dans la Revue des Conseillers du Commerce Extérieur de la France d'avril. Preuve du crédit de L'Actualité Chimique... Nous en citons ici deux, l'une de confirmation de l'analyse, et la seconde qui constitue une contribution intéressante pour expliquer la position française.

Un témoignage de collaboration franco-finlandaise

J'ai lu avec intérêt l'article de G. Schorsch sur la performance de la R & D des pays nordiques, ainsi que le « témoignage nordique d'un français », en l'occurrence G. Marzloff, dans ce même article.

Après avoir travaillé dans différents laboratoires de Rhône-Poulenc Chimie, devenu Rhodia par la suite, j'ai été amené, suite à une cession par Rhodia des latex pour couchage papier, à travailler au sein d'une société chimique finlandaise, Raisio Chemicals (produits chimiques pour l'industrie papetière), plus précisément dans sa filiale Latexia France.

Ceci m'a conduit à me rendre une quinzaine de fois en Finlande (Turku-Raisio principalement, mais également Helsinki-Espoo, Jyväskylä-Åänekoski-Kangas, Rauma...).

Sans avoir la prétention de porter un jugement définitif, je confirme plusieurs points qui sont mentionnés dans l'article :

« *La planification est de rigueur* » : ainsi, un essai sur une machine papier pilote se prépare minutieusement à l'avance. Un papetier français, présent lors d'un essai réalisé pour lui, a reconnu que c'était très professionnel. Cette planification n'exclut cependant pas une certaine réactivité au cours de l'essai. Elle se traduit également dans le respect absolu des horaires, ce qui fait que les réunions commencent pratiquement toujours à l'heure prévue.

« *Contrôle de sa destinée, mais respect des autres cultures* » : dans son journal interne écrit en anglais, certes encore centré sur les événements se déroulant en Finlande, Raisio a fait cependant l'effort d'inclure une page en langue française, ce qui a été très apprécié par notre équipe ici en France.

« *Recherche très orientée vers l'application, symbole d'une vision très*

pratique de la R & D » : on ne cherche pas en effet à trouver la solution la plus brillante, mais à trouver la solution la plus directe à un problème posé. « *Pragmatisme, rigueur et humilité* » me semblent bien définir la façon de travailler des Finlandais.

Même si leurs méthodes de travail sont différentes des nôtres, on ne peut pas vraiment parler de choc culturel, comme le laisserait entendre le titre du livre de Deborah Swallow : *Culture Shock-Finland*, et ces différences n'empêchent pas les deux centres R & D Raisio Chemicals finlandais et français de bien travailler ensemble, bien au contraire. Pussions-nous donner envie à d'autres laboratoires français et finlandais de faire de même.

Gérard Velleret
Raisio Latexia France

Pourquoi le retard français ?

L'article de G. Schorsch fait un constat cruel mais réaliste de la situation actuelle. Il ne faut cependant pas se contenter du constat du recul de la France en Europe, et celui de l'Europe vis-à-vis des États-Unis. Il faut en rechercher les causes pour en inverser les tendances. Je souhaiterais ouvrir le débat, sans excès de précaution, en proposant trois observations :

1) Un constat d'abord: **les entreprises européennes ont bien compris l'intérêt économique de la recherche, tout autant que leurs homologues américaines. Mais, comme elles, mieux elles le comprennent, plus elles investissent... aux États-Unis (voire en Asie)...** C'est particulièrement flagrant dans les bio- et la pharmacie... La France, l'Allemagne et maintenant le Royaume-Uni sont logées à la même enseigne. Seule l'Irlande, en Europe, a réussi à attirer de la recherche industrielle étrangère sans exporter ses ressources propres, certes limitées. Ce qui est vrai pour la recherche l'est aussi en amont de la recherche, c'est-à-dire dès la formation : les étudiants français terminent volontiers leur formation à l'étranger, alors que nous avons du mal, à de rares exceptions près, à attirer des étudiants américains, scandinaves ou allemands dans nos laboratoires. C'est cela le fameux déficit d'attractivité. Cette érosion intellectuelle de l'Europe est d'autant plus pernicieuse qu'elle ne résulte pas de grands choix, mais au contraire d'une chaîne de microdécisions toujours calée sur le même modèle : on expérimente hors d'Europe les voies de recherche les plus

émergentes, on consolide ensuite les avancées sur place et, un jour ou l'autre, on réduit les capacités européennes qui ne sont plus positionnées sur les contenus les plus avancés des technologies.

2) Une évidence ensuite : **la qualité de la recherche française, et particulièrement celle de la recherche publique, n'est pas en cause. Mais, contrairement aux autres pays européens, cette dernière n'est pas intégrée comme un paramètre de la compétitivité économique et sociale.** En France, la recherche est présentée comme une simple émanation de l'Éducation nationale. De ce fait, elle est un outil au service de la puissance publique... et des intérêts qu'elle représente... mais pas de l'intérêt général en matière de croissance et d'emplois.

La politique de recherche est ainsi impulsée par les institutions publiques avec leurs vies propres et leurs rationalités limitées, et non par des équipes de recherche performantes et dynamiques, bien intégrées à la vie économique. Exception administrative française ? Plutôt handicap culturel. En Finlande par exemple, le gouvernement impulse certes, mais en liaison étroite avec les entreprises qui tirent ensuite le système. Il est intéressant de relever que le succès finlandais s'est construit sur le partenariat direct entre Nokia et l'université de Oulu, alors que le gouvernement privilégiait, au départ, le transfert de technologies *via* le Tekes, un organisme gouvernemental. La stratégie de transfert de technologies n'a pas donné de résultats significatifs en termes de croissance alors que le partenariat université-entreprise a complètement révolutionné l'économie finlandaise en 10 ans.

La France est probablement le seul pays où la recherche publique n'est pas un pôle d'attractivité pour la recherche industrielle, ni nationale, ni encore moins internationale. L'investissement public ne s'accompagne donc pas d'un investissement parallèle ou supérieur en recherche industrielle ! Il n'y a pas d'effets de levier et trop peu de synergies. Et pourtant, il semble bien que la recherche en coopération coûte moins cher en Europe qu'aux États-Unis, notamment lorsqu'elle bénéficie de financements de l'Union européenne. Alors, où est l'erreur ?

3) Enfin, un comportement typiquement français, grave comme l'on dit de nos jours, à modifier d'urgence :

pour se battre à échelle mondiale et répondre à des besoins concrets, il est impératif d'associer des compétences qui n'existent en général pas toutes au niveau national. **Le handicap culturel français consiste à penser qu'il faut d'abord se parler, puis s'entendre au niveau national, avant d'affronter la compétition à l'échelle européenne.** Ce contresens majeur, typique des français qui en sont restés à la stratégie de l'arsenal public comme seule ligne de défense, continue à faire des ravages, encore aujourd'hui. En Angleterre, au contraire, Oxford et Cambridge restent concurrentes. Chacun des laboratoires de ces universités se déploie dans des réseaux européens concurrents, constituant autant d'effets de levier pour les intérêts britanniques. Lorsque nous aurons compris l'intérêt d'une plus grande ouverture de nos laboratoires et de nos industriels, nous aurons fait un grand progrès.

En bref, il faut à la fois devenir plus attractif, intégrer davantage les besoins sociaux-économiques dans la recherche publique, et oser s'engager dans

des initiatives d'emblée européenne ou internationale, pour que nous puissions espérer combler notre retard.

Alain Quevieux
Directeur du Service Europe de l'ANRT

Vous trouverez ci-dessous une lettre d'un de nos lecteurs qui s'interroge sur le rôle de l'Académie des technologies.

Mais que fait l'Académie des technologies et à quoi sert-elle ?

Si tout le monde connaît l'Académie des sciences qui fêtera bientôt ses 350 ans, on ne peut en dire autant de l'Académie des technologies, créée fin 2000 par l'Académie des sciences.

Ne sont pas rares ceux qui, même dans les grands groupes industriels, et beaucoup plus encore dans les PMI, ignorent jusqu'à son existence. Ceux qui la connaissent ne savent pas ce que l'on y fait, ni même à quoi elle peut servir.

Les scientifiques et techniciens qui fréquentaient le CADAS et appréciaient

ses publications, ne se retrouvent pas dans l'Académie des technologies. Elle semble davantage tournée sur elle-même que vers la communauté extérieure ; en quelque sorte, une forme de club privé.

Son site Intranet est naturellement réservé aux seuls membres et aux experts autorisés, ce qui est compréhensible. Mais la consultation du site Internet ouvert au public (academie-technologies.fr), n'est pas plus explicite. Seuls y sont mentionnés les titres des communications présentées lors des séances, sans autres informations. Y a-t-il des notes de synthèse, des rapports d'étape ? Quel est le devenir des thèmes abordés ? Le seul document « détaillé » concerne « l'avis à l'attention du Premier ministre » du... 10/07/01, sur la brevetabilité des logiciels.

On souhaiterait connaître ce qu'ont déjà fait les six groupes de travail en activité, et aussi où l'on en est sur les « groupes en gestation ».

Tout ceci n'est pas très cohérent avec la volonté de communication affichée en page 8 du rapport annuel de 2001.

Claude Mordini

Il vous manque un numéro de L'Actualité Chimique ?

Les numéros de 2000, 2001 et 2002 (hors numéros spéciaux, voir offre en IV^e de couverture) sont accessibles au prix exceptionnel de 9 euros (frais de port compris) dans la limite des stocks disponibles.

Vous trouverez les sommaires de 2001 et 2002 sur le site Internet, www.sfc.fr, rubrique L'Actualité Chimique, et tous les autres dans la base de données.

Commande :
Nadine Colliot. Tél. : 01.40.46.71.66.
E-mail : adhesion@sfc.fr

Offre valable jusqu'au 31 décembre 2003.

*Vous souhaitez passer une publicité
dans la revue
« L'Actualité Chimique »*

*Une équipe de professionnels
est à votre écoute et entière disposition*

CONTACTEZ-NOUS



Les EDITIONS D'ILE DE FRANCE

Sarl au capital de 100 000 €uro

**102, avenue Georges Clemenceau
94700 Maisons-Alfort – France**

Tél. : 33. 1. 43. 53. 64. 00

Fax : 33. 1. 43. 53. 48. 00

e-mail : edif@wanadoo.fr

