

l'actualité chimique

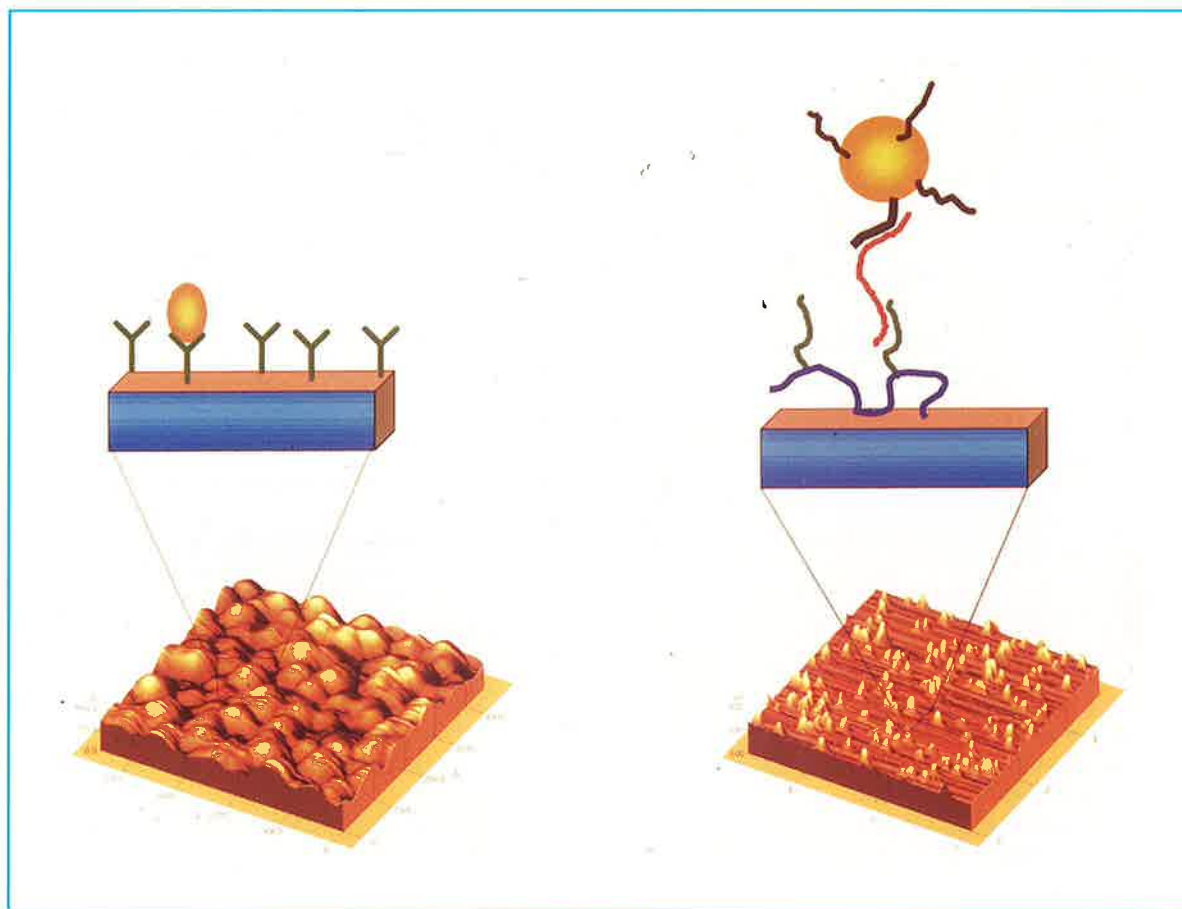
recherche – industrie – enseignement

Mensuel

Mars

1999

n° 3



- **bioMérieux/CNRS :**
un exemple réussi de recherche concertée
- **Al Kymia :** la chimie arabo-musulmane
- **Initiation à la chimie au niveau du primaire**

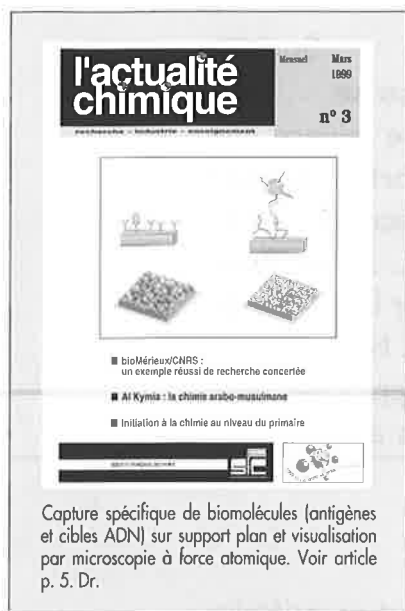
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE



SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE



SOMMAIRE



SFC
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIMIE

L'Actualité Chimique
Revue de la Société Française de Chimie
250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris
Tél. : 01.40.46.71.60 - Fax : 01.40.46.71.61.
E.mail : sfc@sfc.fr

Bureau de la Société Française de Chimie

- Président : P. Desmarescaux,
- Vice-présidents : J.-P. Genet, F. Mathey,
- Secrétaire général : J.-C. Brunie,
- Trésorier : B. Pierrelle,
- Délégué du président : I. Tkatchenko.

MESSAGE DU PRÉSIDENT

- Une dynamique nouvelle, par P. Desmarescaux 2

ÉDITORIAL

- Recherche publique et industrie, par B. Sillion 4

RECHERCHE

- Chimie et diagnostic médical : dix années de synergie entre le CNRS et bioMérieux, par l'unité mixte CNRS-bioMérieux 5
- L'analyse calorimétrique différentielle (DSC). Application à la chimie, par P. Claudy 13

ENSEIGNEMENT

- Les sciences à l'école primaire, par M. Julia, N. Leray 23
- Insertion professionnelle. Se préparer à l'emploi : Pourquoi ? Comment ? , par M. Delporte 29

HISTOIRE DE LA CHIMIE

- Histoire de la chimie dans la civilisation arabo-musulmane, par M.-E. Brik 30

INFORMATIONS GÉNÉRALES 37

REVUES / LIVRES 41

MANIFESTATIONS 43

ACTIVITÉS DE LA SFC 45

Rédaction

Rédacteur en chef : Bernard Sillion

Rédacteur en chef adjoint : Thérèse Chaudron

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

Secrétariat : Roselyne Messal

Comité de rédaction : E. Bordes (div. Cata.), J. Buendia (SCI), P. Caro (Cité des Sciences), M. Carréga (div. Matér. polym.), J.-B. Donnet (SIM et ancien président de la SFC), J.-P. Foulon (UDP), J. Fournier (club Histoire), J.-F. Gruson (IFP), J.-P. Guetté (CNAM), B. Jacquet (SFC), J.-C. Mendelsohn (Elf Atochem), R. Ouliac (Rhône-Poulenc), G. Ourisson (ULP, Strasbourg), A. Picot (Prévention des risques chimiques), A. Proust (div. Chim. coord.), D. Rutledge (div. Chim. anal.), E. Samuel (div. Chim. coord.), G. Schorsch (SFC), J.-N. Verpeaux (div. Chim. orga.), C. Viel (club Histoire.), D. Vivien (div. Chim. solide) et un représentant des clubs de jeunes.

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

Édition

Société Française de Chimie.

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

Imprimerie : SPEI, BP 26, 54425 Pulnoy.

ISSN 0151 9093

Commission paritaire n°0402 G 75884

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

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

Tarifs 1999

L'Actualité Chimique (11 numéros par an)

• Particuliers/Institutions

France 1 100 FF
Étranger 1 325 FF

• Étudiants*

France 420 FF
Étranger 660 FF

* Sur présentation de la carte d'étudiant

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

Abonnement

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

Prix de vente au numéro : 120 FF

© SFC, 1999 - Tous droits réservés - Dépôt légal : mars 1999

Index des annonceurs

Elf Ile de couv.
ITECH p. 12

L'Act. Chim. III de couv.
Sanofi p. 48

SNPE p. 37 et 39
Wiley-VCH IVe de couv.

Une dynamique nouvelle

Notre Société Française de Chimie relance une dynamique forte amorcée par mes prédécesseurs J.-B. Donnet et M. Julia. Pour

satisfaire une telle ambition, elle doit pouvoir compter sur les efforts de tous ses membres et disposer des moyens de sa politique. Notre bureau s'est employé à préciser les priorités, à identifier des approches nouvelles, à trouver de nouveaux partenaires susceptibles de renforcer notre efficacité.

Priorités

- Développer et diversifier les publications dont la SFC est propriétaire ou copropriétaire, avec le souci de leur donner une dimension européenne. Ce seront bientôt neuf titres dans des domaines généraux et spécifiques qui porteront le label SFC. Cet effort doit être relayé sur le terrain : une campagne est lancée auprès des membres de la SFC, avec l'appui de l'Académie des sciences, du MENRT et du CNRS, pour les inciter à publier dans ces journaux.
- Privilégier les actions vis-à-vis des jeunes : notre Société doit se rajeunir et davantage impliquer et concerner nos jeunes membres. Plusieurs actions vont être menées en ce sens : vie associative, prix scientifiques et pages spécifiques du site Web de la SFC compteront parmi les premières.
- Intensifier les relations entre mondes académique et industriel : avec l'UIC et le soutien des pouvoirs publics, des moyens nouveaux seront mis en place sur notre site Web pour faciliter le dialogue entre ces deux mondes. Cette dynamique nouvelle et originale permettra une mise en relation efficace, touchant en particulier les PMI-PME.

Approches nouvelles

- Renforcer le rôle de *L'Actualité Chimique* : *L'Actualité Chimique* doit devenir le magazine de la communauté des chimistes en offrant une bonne couverture de l'actualité tant scientifique qu'industrielle et en ouvrant ses pages à la réflexion sur tous les aspects éducatifs et professionnels de la chimie.
- Mettre en place un site Web à la hauteur des ambitions : le développement de notre dynamique passe par un outil performant consolidant la coopération entre recherche publique et industries, proposant les possibilités de carrière, offrant ses pages à des forums.

- Proposer une réunion annuelle : avoir tous les ans une manifestation scientifique de qualité, crédible et visible, rassemblant autour d'une journée pivot commune, les journées spécifiques ou communes des divisions me paraît une nécessité.
- Développer le concept d'affiliation : de nombreuses sociétés ou groupes se réclament de la chimie, mais ne se reconnaissent pas dans la SFC. Notre action en ce domaine sera de proposer à ces associations, par l'affiliation à la SFC, de meilleurs moyens de s'exprimer, notamment dans le cadre européen de la Fédération of European Chemical Societies.

Partenariats

- Favoriser la francophonie : ouvrir les pages de *L'Actualité Chimique* et du site Web aux consœurs, favoriser les échanges « Nord—Sud », font partie des devoirs de notre Société pour affermir l'existence d'une communauté de chimistes francophones.
- Resserrer les liens avec la Fondation de la Maison de la Chimie : bien que l'accueil de tous les chimistes sous le même toit que constitue la Maison de la Chimie ne soit pas encore possible, nous tissons avec elle des liens forts qui se traduiront, entre autres, par l'organisation de manifestations communes.
- Poursuivre, dans un monde où des frontières s'estompent, la coopération avec les sociétés correspondantes des autres pays afin de bien placer la France dans le mouvement d'internationalisation de la communauté des chimistes, en y faisant participer, chaque fois que possible, les sociétés françaises consœurs.

Philippe Desmarescaux
Président de la Société Française de Chimie

Recherche publique et industrie

Vous trouverez dans ce numéro le premier d'une série d'articles consacrés à la présentation de laboratoires de recherches du secteur public.

A l'époque où le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche s'interroge sur l'efficacité de la recherche dans les grands organismes autonomes, il nous a semblé intéressant d'éclairer par un exemple la politique du CNRS vis-à-vis de l'industrie à travers les unités mixtes de recherche. On pourra apprécier, après 10 ans de fonctionnement, les résultats obtenus à Lyon par l'équipe bioMérieux-CNRS. C'est indéniablement un encouragement à une politique mise en place dans les années 80.

Lorsqu'on observe le fonctionnement de ces unités, on peut voir combien la distinction entre « fondamental » et « appliqué » emprunte plus à la casuistique intégriste qu'à une honnête analyse de problèmes à résoudre...

Il est vrai, cependant, que les problèmes de concertation entre laboratoires publics et recherche privée ne se posent pas avec les grands groupes, mais, en fait, avec les petites sociétés. Dans les petites sociétés, on a beaucoup de questions à régler à court terme, et il reste peu de temps à consacrer pour rechercher des solutions à moyen ou à long terme.

Les efforts qui sont faits pour donner, dans la recherche publique, une importance à des domaines comme la formulation, le génie des procédés en discontinu, par exemple, ouvrent sans doute des voies pour faciliter les coopérations avec les PMI.

L'objectif, en effet, n'est peut être pas de créer de nouvelles sociétés avec des chercheurs peu préparés à cela, mais plutôt de renforcer celles qui existent avec ce que peut apporter la recherche, c'est-à-dire une approche méthodique pour trouver les solutions innovantes.

Bernard Sillion
Rédacteur en chef

Chimie et diagnostic médical

Dix années de synergie entre le CNRS et bioMérieux

Équipe Chimie des supports* de l'unité mixte CNRS-bioMérieux

Summary : *Chemistry and biomedical diagnostic : a ten-year synergy between CNRS and bioMérieux*

Taking the opportunity of the Xth anniversary of the interdisciplinary joint research laboratory between CNRS and bioMérieux, this paper aims at reporting some overview of the main activities developed in the past ten years by the group "Chemistry of Supports" with the purpose to improve diagnostic assays. The following aspects are described : polymers in diagnostic ; immobilisation of biomolecules onto organic or inorganic supports via adsorption or covalent coupling ; implementation and detection methods of biological reactions ; prospects.

Mots clés : *Diagnostic médical, supports organiques et inorganiques, chimie des polymères, immobilisation, molécules biologiques, applications, détection.*

Key-Words : *Medical diagnostic, organic and inorganic supports, polymer chemistry, immobilization ; biomolecules applications, detection*

L'unité mixte CNRS-bioMérieux a été créée en mars 1988 conjointement par Serge Feneuille, directeur du CNRS, et Alain Mérieux, président de la société bioMérieux, avec la collaboration de Guy Aubert, directeur de l'École Normale Supérieure de Lyon. Cette unité de recherche, dont la direction depuis son origine est assurée par Bernard Mandrand, avait deux missions importantes : acquérir des connaissances nouvelles dans le domaine de la rétrovirologie et de la chimie des polymères, et les utiliser afin d'améliorer les kits de diagnostic commercialisés par bioMérieux. Si le thème « rétrovirologie » apparaît évident, vu le problème majeur de santé publique que pose le sida et les rétrovirus associés, la filiation avec la chimie des polymères est moins triviale. Pour comprendre pourquoi une société, dont le métier est la biologie, s'intéresse aux polymères, il convient de revenir sur la définition et la pratique du diagnostic médical. En prenant l'exemple de l'infectiologie, le diagnostic médical consiste à identifier et quantifier l'éventuelle présence d'un agent « pathogène » dans un prélèvement. Ces analyses, qui doivent être à la fois spécifiques et très précises, se déroulent *in vitro* sur des échantillons issus de prélèvements humains, tels que des fluides biologiques (sang, sérum, urine...) c'est-à-dire sur des milieux

complexes, chargés en sels, protéines et autres contaminants. Afin de s'affranchir des effets de matrice et d'avoir des tests sensibles et fiables, on utilise des supports biospécifiques, véritables cannes à pêche, qui vont extraire de ces milieux complexes l'analyte à doser et permettre, par la suite, une quantification précise. C'est sur ce principe en deux étapes, extraction et quantification, que repose la technologie ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay), technique la plus couramment employée dans le diagnostic et dont le principe est détaillé en *figure 1*.

La chimie des polymères intervient dans ce schéma au niveau de la synthèse de supports capables de fixer des molécules biologiques (les cannes à pêches), ainsi qu'au niveau de l'étude et du contrôle des interactions supports/molécules biologiques. Ces interactions sont régies par des lois de la physico-chimie des macromolécules en solution. Enfin, grâce à son savoir-faire, le laboratoire est impliqué dans la définition et la réalisation de nouvelles techniques de détection permettant d'accroître la sensibilité des tests.

Au début de l'existence de l'unité mixte CNRS-bioMérieux, les supports potentiellement biospécifiques étaient essentiellement des particules de latex. Le laboratoire de chimie des supports, sous la direction de Christian Pichot, directeur de recherche au CNRS, a développé des programmes de recherche sur la synthèse, par polymérisation radicalaire en émulsion et par précipitation, de supports fonctionnels capables d'immobiliser des biomolécules, tout en conservant leur spécificité biologique. Parallèlement, les études des interactions particules/molécules issues du vivant (acides nucléiques, protéines) ont été entreprises afin d'identifier les facteurs physico-chimiques contrôlant la fixation des biomolécules sur les supports et d'évaluer leur confort

* ENS de Lyon, 46, allée d'Italie, 69364 Lyon Cedex 07.

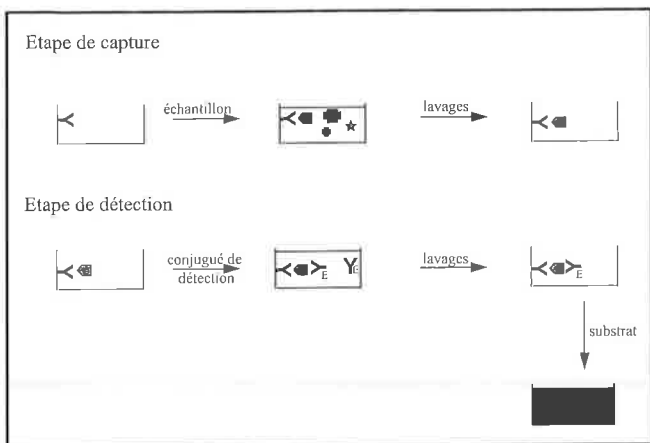
Tél. : 04.72.72.85.13. Fax : 04.72.72.85.33.

E-mail: Christian.Pichot@ens-bma.cnrs.fr

• Article proposé par les permanents de l'équipe Chimie des supports : C. Chaix (CNRS), M.H. Charles (bioMérieux), M.T. Charreyre (CNRS), Th. Delair (bioMérieux), A. Elaissari (CNRS), V. Lanet (bioMérieux), A. Perrin (bioMérieux), C. Pichot (CNRS), A. Theretz (bioMérieux), L. Véron (bioMérieux).

• Cet article est publié à l'occasion du Xe anniversaire de la création de l'unité mixte CNRS-bioMérieux. Il convient aussi de remercier chaleureusement les nombreux étudiants et stagiaires qui ont participé aux activités de l'unité.

Polymères dans le diagnostic



Les tests ELISA se déroulent en deux étapes, la capture et la détection. Dans la première, un anticorps spécifique de la substance à doser a été immobilisé à la surface d'un support solide (tube à essai, particules de latex...). Si l'analyte est présent dans l'échantillon à doser, ce dernier va se poser spécifiquement sur l'anticorps à l'exclusion de tout autre contaminant. Ainsi, en fin d'étape de capture, la substance à doser a été extraite de l'échantillon et immobilisée sur le support solide, par l'intermédiaire de l'anticorps. La seconde étape consiste en la détection et la quantification de l'analyte contenu dans l'échantillon. Pour ce faire, un second anticorps portant une enzyme ira reconnaître un autre site actif de l'analyte immobilisée sur la phase solide, pour constituer un sandwich anticorps de capture/analyte/anticorps de détection. Comme l'anticorps de détection est couplé à une enzyme, en ajoutant son substrat, on initie la réaction enzymatique qui va induire une coloration du milieu. Ainsi, l'intensité de la couleur sera proportionnelle à la quantité d'enzyme fixée en fin d'étape de détection, donc à la quantité d'analyte immobilisé en fin d'étape de capture, et par conséquent sera indicateur de la concentration de cet analyte dans l'échantillon issu du patient. On voit donc bien qu'il est essentiel de bien maîtriser la fixation de molécules biologiques sur des supports pour avoir des tests de diagnostic efficaces.

ELISA (Enzyme Linked Oligosorbent Assay) : le principe de ce test est le même que pour l'ELISA, en substituant les anticorps par des oligonucléotides (ODN).

Figure 1 - Schéma de principe des tests immunologiques ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay).

mation à l'état immobilisé. Au fur et à mesure de la croissance de bioMérieux, les besoins en recherche se sont diversifiés. En particulier, nous avons été amenés à développer le concept des « polymères présenteurs » pour aider à la fixation de molécules biologiques sur des supports organiques plans en favorisant leur présentation et leur disponibilité. Ces « polymères présenteurs » ont été obtenus par polymérisation radicalaire en solution, un domaine de compétence qui n'a pu être acquis que via des collaborations. De même, la nature des supports s'est diversifiée, organique principalement, mais aussi inorganique comme l'or et la silice. En ce qui concerne l'étape de détection, les polymères ont été utilisés en solution pour accroître le signal et ainsi améliorer la sensibilité. Au fil de l'évolution du diagnostic, l'exigence de sensibilité s'est régulièrement accrue, il a fallu alors concevoir des systèmes permettant des détections ultrasensibles en associant de nouvelles techniques, en particulier la microscopie à force atomique, à des procédés de concentration spécifique sur des surfaces réduites. Ainsi on s'aperçoit que l'activité du diagnostic lié à la recherche de l'accroissement de la sensibilité des tests s'est diversifiée sur le plan technologique, traduisant une augmentation en complexité de la problématique de la détection d'antigène spécifique et ultrasensible. C'est l'ensemble de notre activité de ces dix dernières années qui va être détaillée ci-dessous.

Polymères particuliers

Pour diverses raisons, les travaux initiaux du laboratoire ont porté sur des latex de polystyrène, car historiquement ces dispersions colloïdales de polymère (de dimension inférieure au micron) ont été à l'origine du développement des tests d'agglutination. Les arguments en faveur de leur utilisation étaient les suivants :

- très grande surface disponible permettant la fixation d'une quantité importante de molécules biologiques ;
- isodispersité en taille des particules garantissant une bonne reproductibilité des performances des immunoessais ;
- forte adsorption des biomolécules (notamment des anticorps) en raison du caractère hydrophobe du polymère.

Les premières études ont eu pour objectif l'élaboration de latex (0,3 et 0,9 μm) à l'aide de procédés de polymérisation radicalaire en émulsion avec ou sans tensioactif. Un résultat intéressant a mis en évidence le rôle important de la densité de charge de surface des particules (généralement des groupes sulfate) sur les performances des tests d'agglutination, un compromis devant être trouvé entre la stabilité colloïdale des particules sensibilisées par des anticorps et l'efficacité de la réaction immunologique (apportée par l'antigène) à induire l'agrégation, par pontage, des particules.

En dix ans, les propriétés de ces latex ont connu une évolution dans leur complexité (cf. tableau I), afin de répondre à un cahier des charges plus exigeant, tant vis-à-vis d'un meilleur contrôle de l'immobilisation et de l'orientation des biomolécules que d'autres propriétés (séparation, par exemple). Ainsi, il est apparu tout à fait opportun d'effectuer la fixation des biomolécules (anticorps, sondes nucléiques, peptides, etc.) par couplage chimique, compte tenu de la présence de groupes réactifs sur ces biomolécules (amine, hydroxyle, acide carboxylique). L'élaboration de particules fonctionnalisées a connu un développement significatif, par polymérisation en émulsion sans tensioactif d'un monomère hydrophobe (le styrène) en présence de faibles quantités d'un monomère réactif

Tableau I - Récapitulation des divers types de latex.

Fonctionnalité	Propriété	Exemples
Présence charges ioniques	Stabilité colloïdale	SO ₃ ⁻ , COO ⁻ , amidine
Groupe réactif	Greffage covalent	-COOH, CHO, NH ₂ , SH
Interface hydrophile	Biocompatibilité	Carbohydrates
Polymère stimuable	Sensibilité à T, pH, force ionique	Polyalkylacrylamides (NIPAM)
Présence d'un marqueur	Coloration des particules	Colorant azoïque Molécule Fluorescente
Incorporation matière superparamagnétique	Séparation	Oxydes métalliques (Fe, Co, etc)
Complexation d'ions métalliques	Greffage orienté	²⁺ COO ⁻ /Ni, Cu, Co

soit commercial (dérivés d'acides carboxyliques), soit synthétisé au laboratoire (dérivés styréniques porteurs de groupes aldéhyde, amine, thiol) [1].

La caractérisation la plus complète possible de latex finaux a nécessité la mise en place progressive de techniques d'analyses appropriées : diffusion dynamique de la lumière, microscopie électronique à transmission et à balayage, zétamétrie, analyses par RMN et ESCA, etc.

Parallèlement, le groupe s'est aussi intéressé à la synthèse de particules portant une couche hydrophile en raison de deux avantages importants : i) amélioration de la stabilité colloïdale vis-à-vis de la force ionique ; ii) biocompatibilité accrue vis-à-vis des biomolécules fixées, comparativement aux particules hydrophobes, ainsi qu'une diminution des phénomènes de physisorption.

Deux voies ont été explorées, soit par copolymérisation de styrène avec des monomères porteurs de groupes carbohydrates, soit en préparant des particules par polymérisation par précipitation d'alkylacrylamides.

Dans le premier cas, la stratégie a consisté à synthétiser des monomères amphiphiles de façon à favoriser le rendement d'incorporation en surface des particules. Deux types de monomères ont été envisagés, d'une part un méthacrylate d'hexyle à extrémité cellobiose, d'autre part un dérivé styrénique undécanoyle à terminaison maltobionamide [2].

Les travaux menés sur la préparation de latex à base d'alkylacrylamide (l'exemple le plus connu étant le *N*-isopropylacrylamide (NIPAM)) répondaient aux mêmes objectifs que précédemment, avec en plus la possibilité de conférer un caractère thermosensible aux particules. En effet, ces polymères possèdent une température critique limite de solubilité bien définie (LCST) telle qu'au-dessous de cette température, le polymère est hydrophile et largement expansée (> 90 % d'eau) alors qu'au-dessus, il acquiert un caractère hydrophobe par relargage de l'eau d'hydratation (< 15 %). Un résultat remarquable est d'avoir mis en évidence la brusque variation, en fonction de la température, du comportement colloïdal de ces latex (taille des particules, mobilité électrophorétique, stabilité colloïdale), reflétant ainsi le caractère thermosensible du polyalkylacrylamide. De plus, il a été montré lorsque les particules sont fonctionnalisées à l'aide de monomères aminés que ces caractéristiques dépendent également de la force ionique et du pH, conférant ainsi à ces latex un comportement multistimulable [3].

Enfin, les propriétés stimulables des latex cationiques à base de poly(NIPAM) ont été exploitées pour la réalisation de particules magnétiques submicroniques. La stratégie envisagée consiste en l'adsorption de ferrofluides chargés négativement sur des particules de charge opposée, suivie d'une étape d'encapsulation par copolymérisation de NIPAM, de réticulant et d'un comonomère carboxylique. Le contrôle de la synthèse des ferrofluides et des particules cationiques (à structure interfaciale variable) ainsi que des étapes d'adsorption et d'encapsulation, a effectivement permis l'obtention de particules hydrophiles, isodisperses en taille, stimulables (pH, force ionique, température) et superparamagnétiques [4].

Polymères en solution

La synthèse de polymères en solution pour le diagnostic demande de respecter un cahier des charges relativement exigeant. En particulier, il apparaît nécessaire d'assurer :

- Une hydrophilie du polymère synthétisé. Le polymère doit en effet pouvoir être solubilisé en solution aqueuse ou au minimum dans un solvant.

- La présence de sites réactifs permettant la fixation de biomolécules le long de la chaîne polymère. Pour ce faire, l'approche retenue est la polymérisation d'un monomère « fonctionnel » porteur d'une fonction latérale capable de réagir avec un groupe chimique présent sur la biomolécule. Ce monomère fonctionnel pourra être soit homopolymérisé, donnant lieu à une macromolécule possédant autant de sites réactifs que d'unités monomères dans la chaîne, soit copolymérisé avec un autre monomère, assurant un espacement des sites réactifs le long de la chaîne polymère. Il est possible de choisir un comonomère qui apporte une hydrophilie supplémentaire.

- Une longueur de chaîne suffisante pour immobiliser un grand nombre de biomolécules par chaîne, ceci afin d'augmenter la probabilité de reconnaissance des entités biologiques complémentaires, comme il sera expliqué par la suite.

Compte tenu de ces exigences, un certain nombre de monomères fonctionnels ont été synthétisés, présentant un groupe réactif de type ester activé [5] ou aldéhyde (protégé sous forme d'une fonction acétal [6] ou d'un cycle saccharidique [7]). Les paramètres cinétiques de la polymérisation en solution de ces monomères ont été déterminés, en particulier le rapport des constantes de vitesse d'homopropagation (k_p) et de terminaison (k_t), ainsi que les taux de réactivité en copolymérisation avec divers comonomères. En effet, la connaissance de ces paramètres est fondamentale pour prédire la microstructure des copolymères synthétisés.

Immobilisation de molécules biologiques

Comme on peut le voir dans la *figure 1*, pour réaliser des tests de diagnostic performants, il est indispensable d'être capable de fixer de façon efficace, sur des supports solides, des molécules issues du vivant. « Efficace » signifie que le greffage doit être stable au cours du temps, pour répondre en particulier au problème du stockage des kits à bioMérieux, dans ses filiales ainsi que chez les clients, et que le greffage doit avoir lieu en maintenant intactes les propriétés de reconnaissances des biomolécules qui assurent la spécificité du test.

La technique d'adsorption passive des biomolécules sur les supports est la plus simple à mettre en œuvre, mais c'est le greffage chimique qui permet d'atteindre une stabilité optimale. Les deux approches ont été menées en parallèle quand cela était possible, c'est-à-dire lorsque les réactions avaient lieu en phase hétérogène.

Adsorption et couplage sur polymères

Adsorption

Dans le but de l'immobilisation de biomolécules sur supports solides via un greffage chimique efficace, il est indispensable de comprendre au préalable les problèmes liés aux interactions entre ces deux entités (biomolécules et supports). Pour ce faire, il faut prendre en considération l'ensemble des interactions mutuelles qui s'exercent entre les trois constituants essentiels du système (la biomolécule, l'adsorbant et le solvant) et également la complexité du milieu biologique. Dans cette optique, le laboratoire a développé des compétences dans l'étude de l'adsorption et de la désorption des oligonucléotides [8] et des protéines [9] (antigènes, anticorps, enzymes) sur différents types de latex fonctionnels porteurs de groupes amine, amidine, carboxylique, sulfate, saccharidique et/ou stimulables (thermosensibles). L'étude de l'adsorption d'oligonucléotides (ODN) en particulier et d'acides nucléiques en général (ADN et ARN), a permis non seulement de répondre aux exigences du couplage chimique de ces biomolécules, mais également d'aboutir à des résultats fondamentaux sur le mécanisme d'adsorption de ces fragments d'ADN sur les latex. Ces observations ont été corroborées par les prédictions théoriques sur l'adsorption des polyélectrolytes. Dans le cadre de cette étude d'interactions, quelques points relatifs à l'influence du pH et de la force ionique du milieu sur la conformation des oligonucléotides adsorbés ou greffés sur des particules de latex ont fait l'objet d'un travail approfondi en utilisant, soit la diffusion des neutrons aux petits angles, soit la technique du transfert d'énergie de fluorescence [10].

Les études réalisées sur l'adsorption de protéines (albumine humaine ou bovine (HSA, BSA) et protéines recombinantes) sur des particules de latex à base de polystyrène ont permis de montrer que l'interaction gouvernant ce processus d'immobilisation est principalement de type hydrophobe. En revanche, l'adsorption sur les particules thermosensibles apparaît fortement dépendante de la température et de la salinité du milieu [11].

Couplage.

Les polymères utilisés pour le greffage covalent, qu'ils soient sous forme particulière ou en solution, doivent comporter, comme expliqué précédemment, les fonctions chimiques capables de réagir sur les groupes fonctionnels des entités biologiques à coupler [12]. En général, les groupements amine des biomolécules sont employés car ils peuvent former des liaisons peptidiques stables. Si la chimie mise en œuvre est relativement simple, on s'aperçoit que les facteurs qui contrôlent les réactions de greffage sont les paramètres physico-chimiques dont dépendent les interactions molécules biologiques/polymères. Ces interactions régulent la phase d'approche entre le support et la macromolécule naturelle jusqu'à une distance suffisante, pour que la formation de la liaison peptidique soit rendue possible. La qualité d'un greffage chimique s'évalue par le rendement, la stabilité dans le temps et aussi par le niveau d'activité biologique résiduel de la molécule greffée, que ce soit une activité enzymatique ou une capacité de reconnaissance spécifique,

dans le cas des anticorps et des antigènes, par exemple. La répartition des fonctions amine étant aléatoire dans la structure moléculaire des protéines, une perte d'activité due au couplage peut être observée, c'est ce que l'on nomme la dénaturation, qui peut être partielle ou totale. Pour éviter cette dénaturation, l'idée est de « faire en sorte » que la réaction chimique de greffage des protéines ait lieu sur une position bien définie de la macromolécule naturelle, qui ne soit pas impliquée dans l'activité biologique. Deux approches ont été envisagées au laboratoire : d'une part, utiliser des réactions chimiques spécifiques qui ne peuvent se dérouler qu'avec des groupes fonctionnels positionnés sur des sites précis des protéines, tels que les fonctions thiols des fragments d'anticorps situées à l'extrémité opposée du site actif, ou les carbohydrates de glycoprotéines quand ces derniers ne sont pas directement responsables de la spécificité biologique ; la seconde approche a résidé en l'utilisation de protéines génétiquement modifiées porteuses de groupes réactifs sur une position éloignée du site actif. Dans cette dernière approche, les acides aminés utilisés ont été d'une part des histidines et, d'autre part, des lysines. Les histidines permettaient d'envisager une immobilisation via la formation d'un chélate avec des métaux de transition.

Dans le second cas de figure, les lysines ont été introduites pour orienter le couplage tant sur le plan statistique que sur le plan physico-chimique en profitant de la densité locale de charges positives pour jouer sur des interactions électrostatiques favorables [13].

Adsorption et couplage sur supports plans inorganiques

Parallèlement aux supports particuliers adaptés à des formats de tests donnés, les supports plans inorganiques permettent la mise en œuvre de méthodes de détection particulières, allant du simple dosage biologique aux biocapteurs et aujourd'hui aux microsystèmes intégrés.

Dans ce sens, le laboratoire a développé des compétences dans la modification chimique de supports, tels que la silice ou le silicium, afin d'être à même de proposer un éventail de fonctions chimiques ($-CH_3$, $-NH_2$, $-SH...$) et des voies multiples de fonctionnalisation adaptées à la fixation d'oligonucléotides, d'anticorps et de protéines recombinantes. Afin d'améliorer la réactivité de ces surfaces, l'utilisation de copolymères fonctionnels, comme intermédiaire de greffage de biomolécules, a également été envisagé.

Compte tenu de l'ordre de grandeur des concentrations superficielles en fonctions chimiques introduites, le laboratoire a dû recourir à différentes méthodes de caractérisation physico-chimique telles que la mouillabilité (par mesure d'angle de contact), l'ellipsométrie, l'ESCA ou la microscopie à force atomique (AFM). La combinaison des résultats permet d'obtenir une idée précise de la structure des couches ainsi que de déterminer le mécanisme et la nature des interactions entre molécules biologiques et supports plans modifiés.

Par exemple, des profils topographiques établis par AFM sur des molécules isolées ont montré que les anticorps adoptaient une conformation « à plat », sans structure particulière à grande échelle. Le taux de recouvrement maximum (envi-

ron 40 - 50 %) est, par ailleurs, proche de celui d'un modèle d'adsorption séquentiel aléatoire.

De même, l'observation d'une interaction très forte et spécifique entre une protéine recombinante porteuse d'une extrémité poly(histidine) et la silice nue non modifiée nous a conduit à proposer un mécanisme d'interactions multiples de type coopératif, entre la séquence poly(histidine) et les groupements silanols. Cette étude permet d'envisager un mode de fixation et/ou d'orientation des protéines recombinantes et, par extension, de séquences nucléiques portant une séquence poly(histidine).

Mise en œuvre et détection

Le recherche d'une grande sensibilité des tests diagnostic passe par la mise en œuvre de procédés indépendants pouvant être intégrés en un ensemble de procédés successifs. Ainsi, dans le cas d'échantillons présentant un élément recherché en très faible concentration, la mise en œuvre de méthodes de capture et/ou de concentration de cet élément s'avère nécessaire, afin d'en disposer dans un volume faible et en concentration plus élevée. Associée à la mise en œuvre de méthodes de détection ultrasensibles ou de méthodes d'amplification du signal de détection, il devient possible d'atteindre des niveaux de sensibilité très importants.

Extraction et concentration d'acides nucléiques ou de protéines

La concentration des sondes nucléiques revêt un intérêt particulier dans le domaine biomédical, notamment dans le cas où la sensibilité et la spécificité sont requises. Dans ce sens, l'étude exhaustive sur l'adsorption des acides nucléiques et des protéines albumine de sérum humain et bovin (HSA, BSA) a permis de mettre au point les conditions optimales d'extraction sélective des acides nucléiques au détriment des protéines et des débris cellulaires. Cette approche basée sur l'utilisation de particules magnétiques hydrophiles et cationiques permet un gain en sensibilité appréciable. De plus, une étape d'amplification enzymatique des acides nucléiques captés peut être réalisée directement sur les particules (hydrophiles cationiques et thermosensibles) sans étape de relargage préalable.

Une autre approche basée sur l'utilisation de latex magnétiques hydrophiles et thermosensibles pour la concentration de matériel protéique a fait également l'objet d'une étude exploratoire. Cette méthode de concentration est très pratique, car après une incubation de quelques minutes à une température de 37 °C ($T > LCST \approx 32$ °C) où les particules sont hydrophobes, suivie d'une séparation sous l'action d'un champ magnétique, les protéines adsorbées peuvent être désorbées à une température inférieure à la LCST et dans un faible volume (inférieur à 1 mL). L'application des conditions de concentration optimales établies pour les protéines modèles aux prélèvements urinaires a permis d'obtenir des résultats préliminaires encourageants.

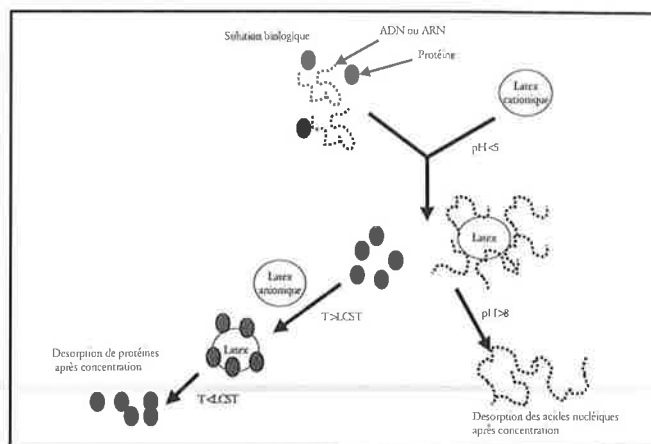


Figure 2 - Principe de la séparation et de la concentration d'acides nucléiques et de protéines.

Méthodes de détection des réactions de reconnaissance biologique

Par amplification chimique

En système ELOSA (Enzyme Linked Oligosorbent Assay) (voir figure 1), le signal de détection a pu être augmenté, comme nous l'avons vu précédemment pour la phase de capture en utilisant des conjugués polymères oligonucléotides (ODN) qui permettaient d'accroître la densité des ODN en surface du support biospécifique. En phase de détection, à la place du conjugué ODN enzyme, l'utilisation d'un polymère de sondes de détection a permis l'accroissement notable du signal de détection.

En combinant les deux approches, polymères en phase capture et en phase détection, pour la détection de l'ADN du virus de l'hépatite B, un facteur 10^3 d'accroissement de sensibilité a été obtenu. Ceci est un exemple d'application du concept d'amplification chimique.

Par microscopie de force atomique (projet SFMIA)

Dans le cadre d'un projet de recherche européen visant à démontrer la faisabilité d'un nouveau type d'immunoessai basé sur la microscopie à force atomique (Scanning Force Microscopic ImmunoAssay ou SFMIA), le laboratoire a dû réaliser des supports biospécifiques ultraplans. En effet, pour que le système soit fiable, il faut que l'immobilisation de l'antigène induise une modification de la topographie de surface suffisamment importante pour pouvoir être distinguée de la surface initiale. L'acquisition d'un microscope nous a également permis d'examiner la détection de réactions anticorps-antigène [14]. La méthode SFMIA a aussi été intégrée dans une méthode de concentration/détection originale expliquée ci-dessous (figure 3).

Immunoconcentration magnétique et détection par AFM

Comme décrit précédemment, cette méthode repose sur la concentration de molécules cibles par des nanoparticules magnétiques. Dans ce cas, la capture est spécifique (fonctionnalisation des particules par des anticorps) et, de plus,

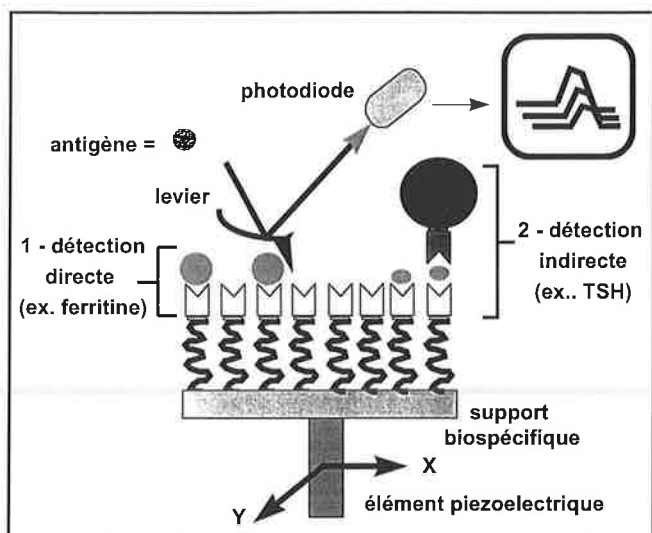


Figure 3 - Le principe du dosage SFMIA.

Après réaction entre le support biospécifique et le prélèvement biologique contenant l'antigène recherché, l'échantillon est placé sur un élément piézoélectrique assurant un balayage selon les directions X et Y. Un levier muni d'une pointe très fine est amené au contact de l'échantillon et les variations topographiques ressenties par la pointe se traduisent par une déflexion du levier selon l'axe Z qui est enregistrée. Il est ainsi possible de reconstruire une image en 3 dimensions avec une excellente résolution. Dans le cas du dosage SFMIA, il existe deux cas de figures :

1 - L'antigène est suffisamment volumineux pour être détecté directement, sans marquage (ex. la ferritine, une protéine d'environ 12 nanomètres). Le dosage SFMIA consiste en l'évaluation du nombre de molécules par unité de surface ou de la rugosité induite par les antigènes.

2 - Dans le cas contraire, l'antigène est trop petit pour être détecté directement par AFM (ex. la TSH, une hormone d'environ 3 nm). L'utilisation de marqueurs topographiques sous forme de conjugués nanoparticules magnétiques/anticorps anti-TSH, capables d'induire une forte variation de topographie en présence de TSH permet de résoudre ce problème. Le dosage SFMIA consiste alors en l'évaluation du nombre de particules par unité de surface en fonction de la quantité de TSH en solution.

ces particules présentent l'avantage de servir de marqueurs topographiques dans des dosages utilisant la microscopie à force atomique comme méthode de détection.

Plusieurs optimisations ont été apportées au procédé : capture des antigènes par les particules en solution, dispositif visant à éliminer les contraintes diffusionnelles, dimension de la surface biospécifique réduite par interposition d'un masque afin d'amplifier le phénomène de concentration sur une zone restreinte, etc. [15].

Une amélioration de la sensibilité de plusieurs décades a ainsi été obtenue, par comparaison avec les automates d'immunoanalyses commerciaux. Nous tentons actuellement d'adapter cette méthode à la concentration/détection de cibles ADN. Si un tel niveau de sensibilité peut être atteint, il sera possible de détecter environ 1 bactérie/mL sans recourir à une méthode d'amplification préalable.

Intégration dans des systèmes et microsystèmes

Le procédé, décrit ci-dessus, est une succession d'étapes qui, compte tenu des méthodes utilisées, peut être envisagé comme un système en ligne, voire même être miniaturisé en un microsystème. Une collaboration avec le CEA-LETI de Grenoble a ainsi consisté en la mesure des paramètres magnétiques du système de séparation utilisé. Après simulation des champs et gradients de champ magnétique, il a

ensuite été réalisé par les procédés de la microtechnologie, de microbobines planaires ayant les mêmes caractéristiques magnétiques sur une surface d'environ 50 μm^2 . Le but de cette collaboration était le confinement des éléments capturés sur une surface de dimensions microniques avant leur détection.

Bilan / collaborations

Le développement de ces diverses activités n'a pu se réaliser que grâce au renforcement du personnel de l'équipe, en dix ans, (actuellement 4 chercheurs CNRS (1 en 1988), 4 chercheurs et 2 techniciens bioMérieux (2 et 1 respectivement en 1988)). Cela a permis d'acquérir des compétences dans divers domaines comme récapitulé dans le *tableau II*.

De plus, mener à bien la plupart des projets de recherche, à caractère souvent pluridisciplinaire, implique à l'évidence un effort important de concertation des participants (tant au sein de l'unité qu'avec les partenaires des divers sites de bioMérieux) et de nombreux séminaires et réunions sont organisés dans cette optique. Ceci doit être nécessairement complété par des collaborations locales (le groupe est partie prenante du Réseau des Polyméristes Lyonnais et a établi des contacts avec d'autres structures de recherche lyonnaises (divers laboratoires de l'ENS, Institut de Biologie et de Chimie des Protéines (IBCP-CNRS), équipe Interface de l'École centrale). De plus, des coopérations nationales et internationales se sont aussi mises en place : appartenance à des groupements concertés de recherche sur une thématique spécifique (programmes européens, GDR, participation de chercheurs de l'équipe dans une unité de recherche entre bioMérieux et le LETI-CEA, etc.) ; acquisition de compétences dans des domaines spécifiques : fluorescence (ENS Cachan), polymérisation cationique (Laboratoire de chimie des polymères organiques (CNRS) à Bordeaux ; études de mouillabilité de surfaces (CPE Lyon, LEMPB, université Lyon I) ; collaborations bilatérales (laboratoires du CNRS, ICS à Strasbourg, OMM à Thiais, Laboratoire de chimie appliquée à Montpellier) ; accès à des moyens d'analyse « lourds » (diffusion des neutrons à Saclay, par exemple).

Enfin, comme illustré dans le *tableau III*, cette activité de recherche finalisée se concrétise par une production scienti-

Tableau II - Domaines de compétences acquises en 10 ans d'activité.

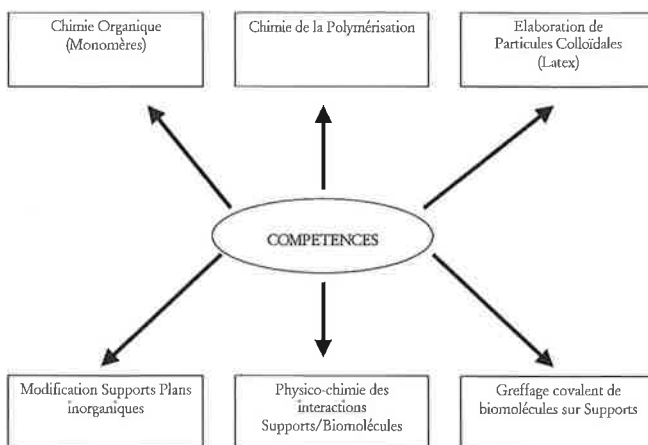


Tableau III - Bilan de l'équipe Chimie des supports.

Tableau III : Bilan Équipe Chimie des Supports		
Production Scientifique	Valorisation	Formation par la Recherche
115 Publications et Revues	Polymères réactifs pour greffage sur phases solides (amplification)	11 Thèses (8 en cours)
25 Brevets	Particules de latex	2 Habilitations Direction de Recherche
90 Conférences invitées	Concepts innovants (diagnostic)	>50 Stagiaires divers

fique assez conséquente et la valorisation de divers concepts au sein de bioMérieux. Elle s'accompagne d'une contribution importante des permanents du groupe à la formation par la recherche d'étudiants de cursus varié (thèses de doctorat, stages de DEA, DESS, maîtrises, écoles d'ingénieur, IUT, BTS, etc.). Ce bilan illustre, s'il en est besoin, un assez bon équilibre entre recherche à caractère académique et recherche appliquée ainsi que les effets de synergie que cela entraîne inévitablement.

Perspectives

Polymères d'architecture contrôlée

Afin d'optimiser l'utilisation des polymères non particuliers en tant que support de molécules biologiques, la synthèse de polymères à architecture particulière, tels les copolymères blocs, les copolymères greffés, les polymères hyperbranchés, constitue la thématique de nouveaux programmes de recherche.

En effet, en s'appuyant sur le développement récent de nouvelles techniques de polymérisation, dites « vivantes », il est possible d'envisager la synthèse de polymères de masses et de structure contrôlées, présentant des fonctionnalités latérales et terminales différenciées, ce que ne permettait pas la polymérisation radicalaire classique. Dans ce nouveau processus, les chaînes polymères, au lieu de se former de manière successive, croissent simultanément, ce qui conduit à un ensemble de chaînes très homogènes en longueur. De plus, comme les extrémités de chaîne restent « vivantes » après la consommation totale du monomère, il est possible de les faire réagir avec un agent désactivant porteur d'une extrémité fonctionnelle, ou encore d'ajouter une fraction d'un second monomère, conduisant à l'obtention d'un copolymère bloc.

Ces techniques vivantes, d'abord mises au point en polymérisation anionique, ont ensuite été appliquées à la polymérisation cationique où la famille des éthers vinyliques est particulièrement intéressante pour l'obtention de polymères utilisables dans le diagnostic, compte tenu de la possibilité de fonctionnaliser le groupe latéral. Plus récemment, plusieurs techniques de polymérisation radicalaire vivantes ont aussi vu le jour ; elles s'appliquent à un choix plus large de

monomères et sont moins délicates à mettre en œuvre expérimentalement. Des projets basés sur la polymérisation radicalaire en présence de nitroxydes, de complexes de métaux de transition (technique de polymérisation radicalaire par transfert d'atome, ATRP) ou de dithioesters (technique de transfert de chaîne par addition fragmentation réversible, RAFT) sont aussi en cours au laboratoire.

Synthèse directe de biomolécules sur support (solide ou polymère en solution)

Une nouvelle stratégie d'obtention des conjugués (supports solides ou polymères en solution porteurs de biomolécules) est actuellement développée au laboratoire. Elle consiste en la synthèse directe d'oligomères de nature biologique (oligonucléotides ou peptides) sur différents supports utilisés lors d'applications diagnostiques (polymère en solution, support plan de silice, etc.). Les objectifs de cette approche sont d'améliorer le nombre ainsi que l'orientation des biomolécules immobilisées par rapport aux méthodes classiques de fixation. D'une manière générale, une meilleure accessibilité de ces biomolécules fixées sur support va permettre d'accroître les possibilités d'interactions spécifiques avec une cible biologique potentielle à capturer ou à détecter.

Aide au développement d'outils diagnostique

La spécificité des tests diagnostic est apportée par l'utilisation de molécules biologiques performantes telles que des anticorps monoclonaux ou des antigènes recombinants. Afin d'améliorer l'efficacité de ces molécules biologiques, des programmes de recherches sont en cours, concernant la synthèse et l'utilisation de vecteurs synthétiques d'acides nucléiques en temps qu'aide au clonage en génie génétique ou comme vecteur de vaccination ADN ou ARN pour l'obtention directe d'anticorps monoclonaux chez la souris.

Pour ces applications, le cahier des charges des polymères est différent de celui des applications diagnostiques au sens strict. Outre le fait de protéger les acides nucléiques contre les nucléases du sang qui les détruiraient rapidement, il faut que ces vecteurs synthétiques ne soient pas toxiques pour la cellule hôte ou l'animal et, dans le cas de la vaccination, ces polymères doivent être aisément biorésorbables. Ce dernier cas impose que les chaînes polymères puissent être dégradées dans les conditions physiologiques, mais cependant, avec une durée de vie suffisante pour maintenir et assurer leur rôle de transport d'acides nucléiques.

Physico-chimie des interactions supports-biomolécules

L'aspect concentration spécifique de biomolécules indispensable pour la sensibilité des tests de diagnostic précoces et exploré pour la concentration des acides nucléiques et des protéines sera étendu à la concentration des virus, des bactéries, etc. Dans cette optique, une étude a été initiée en collaboration étroite avec l'Institut Fédérative de Recherche sur la Virologie et l'Immunologie. Ce travail, financé dans le cadre d'un programme européen, mettra à profit l'utilisation de

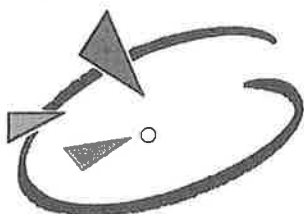
procédés originaux du laboratoire pour la purification spécifique d'acides nucléiques sur polymères et la quantification d'ARN par amplification enzymatique en conservant l'intégrité de la séquence nucléique.

Systèmes intégrés

L'évolution des systèmes diagnostiques vers des formats plus compacts, toujours plus sensibles et plus fiables, amène naturellement à considérer l'intégration de différentes fonctions (fluidique, séparation de molécules, détection de microvolumes...) dans peu d'espace. Ce concept, appelé « lab-on-chip » ou μ TAS (Micro Total Analysis System) par les Anglo-Saxons, fait appel, du point de vue de la recherche, à des compétences multidisciplinaires, allant de la mécanique des fluides à la physico-chimie des surfaces et interfaces. Dans ce cadre, il est clair que la modification des propriétés des surface (équilibre lyophile-hydrophile, introduction de fonctions chimiques pour le greffage...) et les interactions molécules/surfaces revêtent un aspect déterminant. La nature du matériau-support est un point particulièrement important également, principalement en raison du coût des matériaux inorganiques. Pour cette raison, les supports polymères associés à l'émergence de microtechnologies adaptées à ces supports sont particulièrement indiqués. C'est notamment dans ces perspectives que notre laboratoire envisage le développement de nouvelles thématiques de recherche.

Références

- [1] Pichot C., Delair Th., Elaïssari A., *NATO ASI Serie*, **1997**, 145, p. 515.
- [2] Charreyre M.T., Revilla, J., Elaïssari, A., Pichot C., Gallot, B., *J. of Bioactive and compatible Polymers*, **1999**, 14, n° 1, p. 64.
- [3] Duracher D., Sauzedde F., Elaïssari A., Pichot C., Nabzar L., *Colloid Polym. Sci.*, **1998**, 276, p. 920.
- [4] Sauzedde F. thèse université Claude Bernard, Lyon-I, n°379-97, 1997.
- [5] Erout M.N., Elaïssari A., Pichot C., Llauro M.F., *Polymer*, **1996**, 37, p. 1157.
- [6] Véron L., de Bignicourt M.C., Delair Th., Pichot C., Mandrand B., *J. of Applied Polymer Sci.*, **1996**, 60, p. 235.
- [7] Badey B., Boullanger P., Domard A., Cros Ph., Delair Th., Pichot C., *Macromol. Chem. Phys.*, **1996**, 197, p. 3711.
- [8] Elaïssari A., Pichot C., Delair Th., Cros Ph., Kurfürst R., *Langmuir*, **1995**, 11, p. 1261.
- [9] Betton F., Theretz A., Elaïssari A., Pichot C., *Colloids Surfaces B : Biointerfaces*, **1993**, 1, p. 97.
- [10] Charreyre M.T., Hiver A., Delair Th., Cros P., Pichot C., Mandrand B., Tcherkasskaya O., Winnik M.A., *Langmuir*, **1997**, 13, p. 3103.
- [11] Elaïssari A., Holt L., Voisset C., Pichot C., Mandrand B., Mabilat C., *J. of Biomaterials Science, Polymer Edition*, **1999** (sous presse).
- [12] Delair Th., Marguet V., Pichot C., Mandrand B., *Colloid Polym. Sci.*, **1994**, 272, p. 962.
- [13] Ladavière C., Delair Th., Domard A., Nouvelli-Rousseau A., Mandrand B., Mallet F., *Bioconjugate Chem.*, **1998**, 9, p. 655.
- [14] Perrin A., Lanet V., Theretz A., *Langmuir*, **1997**, 13, p. 2557.
- [15] Perrin A., Theretz A., Lanet V., Vialle S., Mandrand, B., *J. Immunol. Methods*, **1999** (sous presse).



ITECH

Institut Toxic et Chimique de Lyon

**VOUS RECHERCHEZ
DES COMPÉTENCES
EN PEINTURES, ENCRE,
ADHÉSIFS, COSMÉTIQUE,
MATÉRIAUX PLASTIQUES, TEXTILES ET CUIR**

Nos laboratoires de recherche peuvent résoudre vos problèmes de formulation, de mise en œuvre, de mise en forme des produits de la chimie.

**Contactez-nous
ITECH**

181 - 203, Avenue Jean-Jaurès - BP 7034
69342 LYON cedex 07

Télécopie 04 78 72 28 31 - Télécopie 04 78 61 03 33

e.mail:itech@asi.fr

L'analyse calorimétrique différentielle (DSC)

Application à la chimie

Pierre Claudy* directeur de recherche CNRS

Summary : *The differential scanning calorimetry (DSC) and its application to chemistry*

Differential scanning calorimetry is at the junction of three sciences : thermophysics, thermodynamics and chemical kinetics. A short description of the contribution of these sciences to DSC is given, so as to have a better insight of this thermal analysis technique. The most important applications of DSC are described, with a special emphasis on the physicochemical analysis of petroleum products, and the use of non-linear heating rate.

Mots clés : *DSC, thermique, thermodynamique, cinétique, applications.*

Key-words : *DSC, thermophysics, thermodynamics, kinetics, applications.*

Les méthodes thermiques d'analyse [1-6] connaissent un développement grandissant. Un échantillon est soumis à une température variable avec le temps, et sa réponse (masse, propriétés électriques, optiques, spectroscopique, enthalpique etc.) est mesurée. Parmi ces méthodes, l'analyse calorimétrique différentielle [7, 8], due à Boersma [9], et plus connue sous l'abréviation DSC, connaît un essor exceptionnel, lié à la fois à sa commodité de mise en œuvre, à la faible masse d'échantillon utilisée, et au spectre très large des phénomènes enthalpiques qui peuvent être étudiés.

En effet, il faut noter les points suivants :

- Toute évolution d'un système est accompagnée (ou est entraînée) par un échange d'énergie avec l'extérieur.
- Toute forme d'énergie peut être convertie en chaleur.

Ainsi, la calorimétrie paraît un outil universel de connaissance de l'évolution de la matière, avec le temps, la température ou bien la pression.

Un spectre d'action aussi large a le défaut de ses qualités : la détermination de la quantité de chaleur n'est pas spécifique, et il faut s'appuyer sur les techniques d'analyse, la thermodynamique et la cinétique pour interpréter le comportement thermique du produit.

La DSC : constitution et fonctionnement

En raison de sa constitution physique, et des produits étudiés, la DSC se trouve au carrefour de trois sciences :

- la thermique qui prend en compte la constitution et les transferts de chaleur dans le calorimètre,
- la thermodynamique chimique qui décrit l'état d'équilibre du système,
- la cinétique chimique qui donne la vitesse d'évolution en direction de l'équilibre.

* Laboratoire des matériaux organiques à propriétés spécifiques (LMOPS), UPR 9031, BP 24, 69390 Vernaison.
Tél. : 04.78.02.22.65. Fax : 04.78.02.77.38.
E-mail : lmops69@imaginet.fr

L'exploitation et l'interprétation des résultats seront donc basées sur ces lois.

Thermique et DSC

Deux types d'appareil de DSC sont disponibles commercialement. Ces appareils appartiennent à deux familles distinctes.

DSC à compensation de puissance

Un appareil de DSC à compensation de puissance [10-14] est constitué de deux microfours placés dans le même environnement isotherme. Chaque four reçoit un échantillon en cours d'étude et un matériau dont on sait qu'il n'a aucune transformation, dit matériau inerte. Ils sont enfermés dans des creusets métalliques. Les deux fours sont chauffés simultanément à la même vitesse β . La différence de puissance nécessaire au respect de cette égalité est le signal calorimétrique ΔW .

DSC à flux de chaleur

Un appareil de DSC à flux de chaleur [15-17] est constitué d'un four contenant un échantillon en cours d'étude et un matériau inerte, dit de référence, enfermés dans des creusets métalliques. Un dispositif convenable [15] permet de mesurer la différence de température entre les creusets, comme pour l'ATD, si bien que ces premiers appareils de DSC étaient appelés « ATD quantitative » [16, 17]. Cependant, la géométrie particulière du capteur permet que cette différence de température soit proportionnelle à la différence des puissances absorbées par chaque nacelle.

Propriétés

Ces deux montages calorimétriques différentiels [18, 19] permettent de s'affranchir des défauts de la programmation de température, ou des perturbations externes.

Une modélisation simplifiée d'un appareil à flux de chaleur donnée *figure 1*, est basée sur la loi d'Ohm thermique [21-27]. Ce schéma permet une compréhension facile du fonctionnement de ces appareils. Le flux de chaleur est échangé entre un four, représenté par un générateur de tension E , et les nacelles, représentées par des capacités électriques C et C' , à travers une résistance thermique R entre le four et chaque nacelle. Malheureusement, les nacelles échangent aussi de la chaleur entre elles à travers une résistance r , si bien que la nacelle référence ne suit pas la température du four, et que la quantité de chaleur, à un instant donnée, n'est pas facile à déterminer. Les problèmes de convolution du signal devront être pris en compte [28].

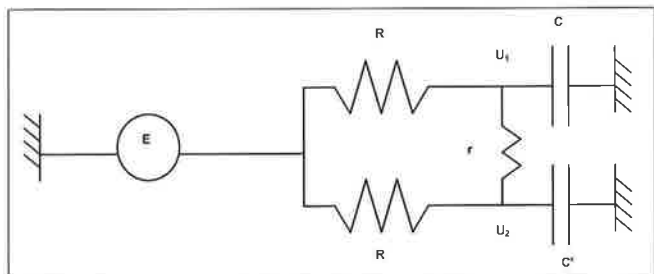


Figure 1 - Représentation d'un appareil à flux de chaleur.
 E : température du four
 U_1 : température du produit
 U_2 : température de la référence
 R : résistance four-creuset
 r : résistance creuset-creuset
 C : capacité thermique côté produit
 C' : capacité thermique côté référence.

Discussion

En principe, les appareils à compensation de puissance, en raison de leur constitution, ne devraient pas souffrir de ces défauts.

L'expérience, vérifiée et justifiée par les équations issues du modèle, montre qu'il est avantageux que les appareils possèdent des constantes de temps petites (typiquement, inférieur à 60 s). Les appareils de DSC sont en effet des calorimètres miniaturisés. Les masses de produits étudiés sont comprises entre 1 et 30 mg. Ils sont enfermés dans des creusets métalliques de quelques dizaines de μL .

Thermodynamique et DSC

L'état thermodynamique d'un système est décrit par ses variables d'état. Dans le cas général, et à moins d'apporter la preuve du contraire, un système est supposé être le siège d'une ou plusieurs transformations. Prigogine [29] a montré que trois variables d'état sont nécessaires et suffisantes. Il écrit $H = f(T, P, \xi)$ ou ξ est le degré d'avancement de la transformation.

La capacité thermique C_p de ce système s'écrit :

$$C_p = \frac{dH}{dT} = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_{P,\xi} + \left(\frac{\partial H}{\partial \xi}\right)_{P,T} \left(\frac{d\xi}{dT}\right) + \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_{T,\xi} \left(\frac{dP}{dT}\right) \quad (1)$$

A pression constante, le terme dP/dT est nul et (1) se réduit aux deux premiers termes. C_p est appelé la capacité thermique apparente. Elle est la somme de la capacité thermique vraie du système $C_{p\xi}$, et de la capacité thermique dite configurationnelle C_{pc} .

$$C_{pc} = \Delta_{tr} H_T^P \left(\frac{d\xi}{dT}\right) \quad (2)$$

Cette capacité thermique configurationnelle n'est autre que l'effet enthalpique de la transformation $\Delta_{tr} H_T^P$ multiplié par la dérivée du degré d'avancement par rapport à la température. Bien entendu, si le système n'est pas le siège d'une transformation, alors $C_p = C_{p\xi}$ puisque $C_{pc} = 0$.

La capacité thermique vraie est la somme de la capacité thermique de chacun des constituants du système. Par exemple, admettons avoir l'équilibre :



La capacité thermique $C_{p\xi}$ est donnée par :

$$C_{p\xi} = (1-\xi) C_p(A) + \xi C_p(B) \quad (3)$$

Cinétique et DSC

La puissance nécessaire pour chauffer l'échantillon à la vitesse de chauffe β (à pression constante) sera :

$$W = \beta C_{p\xi} + \Delta_{tr} H \frac{d\xi}{dt} \quad (4)$$

Elle est donc la somme de la puissance nécessaire pour chauffer l'échantillon qui ne subirait aucun changement, augmentée de la puissance absorbée par la transformation, ce qui semble une évidence.

La vitesse d'une transformation est gouvernée par les lois de la cinétique chimique. Elle est donnée à température variable par l'équation (5), très largement acceptée et utilisée, mais dont la validité est cependant contestée [30, 31] :

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{\beta} f(\xi) A'_{exp} \left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (5)$$

S'il est admis que la vitesse de la transformation est proportionnelle à l'écart du système par rapport à l'équilibre, ou bien à l'affinité de la transformation, alors on peut montrer que la transformation en question est toujours en retard sur l'état d'équilibre. Ce retard est une fonction complexe de la vitesse de chauffe, mais il est le plus souvent d'autant plus grand que la vitesse de chauffe est élevée.

Équation de la DSC

Le signal différentiel ΔW donné par un appareil DSC, est la différence entre la puissance absorbée par le produit et la référence où par hypothèse, il n'y a pas de transformation. D'où :

$$\Delta W = \beta (C_{p\xi} - C_p(r)) + \Delta_{tr} H \frac{d\xi}{dt} \quad (6)$$

Cette équation est l'équation de base de la DSC. Le terme $C_{p\xi} - C_p(r)$ est appelé la ligne de base. Elle peut être aussi définie comme étant « le signal obtenu en l'absence d'effet thermique ». La variation d'enthalpie sera calculée en intégrant par rapport au temps, le signal calorimétrique moins la ligne de base, de l'heure de début à l'heure de fin.

Calculs

Actuellement, les mesures sont stockées sous forme de données numériques, dont il faut extraire les informations pertinentes, à l'aide des programmes adaptés.

Fonction instrumentale

Pour tout calcul, il est indispensable d'éliminer la fonction instrumentale, c'est-à-dire obtenir la relation donnant la capacité thermique apparente de l'échantillon en fonction de sa température, $C_p = f(T)$. Le plus souvent, cette fonction instrumentale est négligée, en raison des faibles constantes de temps.

La ligne de base

La plus grande difficulté de l'exploitation de la DSC sera l'établissement de la ligne de base [32-36]. Le plus souvent, un polynôme plus ou moins arbitraire représentant la fonction donnée par (3) est utilisée. La détermination approchée de la ligne de base est cependant possible.

Dans le cas simple de l'équilibre, $A \leftrightarrow B$, le signal ΔW avant et après transformation permettra de connaître $C_p(A)$ et $C_p(B)$ comme décrit plus loin. Si le degré d'avancement ξ est connu à toute température, alors, la position de la ligne de base est connue d'après (3). Le processus de calcul se déduit immédiatement :

- Une première ligne de base est supposée,
- L'effet thermique, donc le degré d'avancement ξ est calculé par rapport à cette ligne de base,
- Ceci conduit à une nouvelle ligne de base, plus approchée que la précédente.

Ce processus itératif est répété, jusqu'à ce que les lignes de base successives restent dans une fourchette préétablie.

Étalonnage

Il s'agit d'un point très important, qui conditionne la qualité des résultats, et la confiance qu'il est possible de leur accorder. Les appareils doivent être étalonnés en température [37-44] et en quantité de chaleur [45-49]. Des recommandations de l'ICTA [41, 49] et des normes ont été développées (ISO/CD 11357-1) sur l'emploi des appareils de DSC et sur le mode de dépouillement des mesures.

Discussion

Les expériences et l'exploitation des résultats se heurtent à plusieurs difficultés :

- Les appareils utilisent de faibles ou très faibles quantités de produit, ce qui pose le problème de l'échantillonnage, surtout pour les solides.
- La DSC sera utilisée pour les études en phase condensée, de préférence sans dégagement gazeux, pour éviter de perturber les transferts de chaleur autour de l'échantillon.
- Pour avoir un signal calorimétrique ΔW plus important, à masse d'échantillon la plus faible possible [50], il faut augmenter la vitesse de chauffe, et donc s'éloigner de l'équilibre. Un compromis ou un mode opératoire particulier [51] doivent être trouvés.

Les résultats peuvent être résumés de la façon suivante :

- La sensibilité des appareils, définie comme étant deux fois le bruit, peut atteindre 0,3 μW [52].
- La reproductibilité et la précision des résultats [53], que ce soit en température ou en quantité de chaleur, dépend de

celle des résistances thermiques de contact, de l'identité du positionnement des creusets, et de la nature (air, gaz de balayage, gaz issu de la décomposition...) de la phase gazeuse qui les environne [54].

Dans tous les cas, l'équation (4) montre que l'exploitation et l'interprétation des grandeurs mesurées passe par un examen attentif et fondé des variables d'état du système étudié.

Applications thermodynamiques de la DSC

Il s'agit d'applications basées sur des équations issues de la thermodynamique chimique [29]. Il faut, pour leur utilisation, s'assurer que les hypothèses faites pour l'établissement des équations théoriques sont effectivement respectées.

Capacité thermique

La première mesure est la détermination de la capacité thermique apparente C_p . Elle est effectuée [55-62] en admettant que la puissance thermique mesurée, corrigée (cf. le paragraphe ci-avant sur la fonction instrumentale) et après étalonnage de l'appareil. Suit la relation :

$$\Delta W = \beta (C_p - C_p(r)) \quad (7)$$

où $C_p(r)$ est la capacité thermique de la référence.

Cette valeur de la capacité thermique apparente est nécessaire pour évaluer les bilans thermiques, par exemple d'un processus industriel. En général, trois expériences sont nécessaires pour une détermination, si bien que le cumul des erreurs entraîne une erreur de 5 %.

Transitions

Un système peut être sujet à un grand nombre de transformations d'origines très diverses. Par exemple :

- les transitions [63, 64] de premier ordre comme définies par Ehrenfest, de phase, fusion, cristallisation [65],
- les transitions cristallines [66, 67], ou dans les polymères [68-72],
- les transformations magnétiques, électriques,
- les transformations ordre-désordre, la transition vitreuse, et beaucoup d'autres encore.

La DSC permet la détermination de la capacité thermique apparente du système selon (7), et le calcul de la variation d'enthalpie par soustraction de la ligne de base selon l'équation (3).

Diagrammes de phases d'équilibre

Sous réserve que l'équilibre thermodynamique soit obtenu, il sera possible de tracer des diagrammes d'équilibre pour les phases condensées [75]. Le plus souvent, la méthode synthétique est utilisée. Il est possible de tracer les diagrammes de Tammann des paliers invariants, ce qui permet ainsi la détermination des coordonnées les plus importantes du système.

Diagrammes de phases hors équilibre

A vitesse de refroidissement élevée [76-81], des phases hors équilibre peuvent être obtenues. L'étude du passage

d'un système vitreux au système d'équilibre a été décrit pour quelques systèmes [76, 79, 80]. Il est à noter que l'obtention de systèmes hors équilibre correspond très souvent aux conditions des processus industriels.

Transition vitreuse

Des verres peuvent être obtenus à partir du liquide, même à vitesse de refroidissement faible. Au réchauffage, les solides vitreux obtenus redonnent une phase liquide plus ou moins viscoélastique. Cette transformation se déroule sur un domaine de température appelé le domaine de transition vitreuse, dans lequel les propriétés mécaniques du verre varient beaucoup. C'est la raison pour laquelle des normes sont en cours d'établissement (ISO/DIS 11357-2) pour définir « la température de transition vitreuse » à partir d'expériences DSC (figure 2).

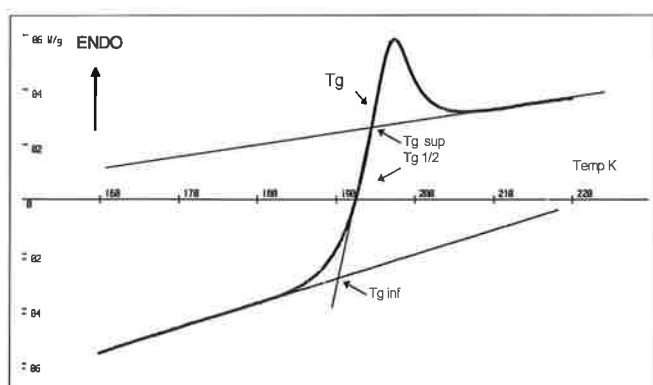


Figure 2 a - Tg verre de glycérol recuit 1 h à 173 K. 4 températures sont représentées.

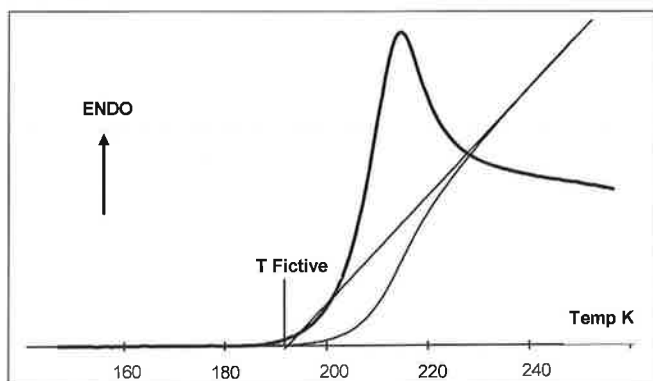


Figure 2 b - Température fictive du glycérol recuit 1 h à 173 K.

Pour une vitesse de chauffe déterminée, quatre températures sont définies [82], qui caractérisent le matériau.

En fait, il faut ajouter une cinquième température, dite température fictive T_{fic} [83-85]. C'est la température à laquelle l'enthalpie (extrapolée) du verre est égale à l'enthalpie (extrapolée) du liquide. Cette grandeur permet de rendre compte de l'état de l'état « relaxation enthalpique » du verre, d'ailleurs mesuré par d'autres méthodes [83-87], et qui semble liée à la variation des propriétés mécaniques du verre avec le temps.

Les mesures DSC permettent de distinguer un état micro-cristallin d'un état amorphe [88], mais n'apportent pas, jusqu'à ce jour et malheureusement, d'éclaircissement sur la nature réelle de la transition vitreuse.

Détermination de la pureté

Dans le cas d'un système constitué d'un corps A et d'impuretés, la fusion ne s'effectue plus à température constante. Il est possible de calculer le taux d'impuretés à partir de la relation température-degré d'avancement de la fusion de l'échantillon [89-94], moyennant des hypothèses thermodynamiques sur le comportement des impuretés. En particulier :

- elles ne doivent être solubles que dans la phase liquide, c'est-à-dire qu'elle ne forment pas de solution solide,
- elles doivent être suffisamment diluées pour être assimilées à des solutions idéales.

Les appareils de DSC contiennent usuellement des logiciels qui permettent le calcul de pureté. Il faut noter que les hypothèses ou les conditions de l'équilibre thermodynamique ne sont peut être pas réalisées, surtout à vitesse de chauffe élevée. De plus, la fonction instrumentale n'est pas vraiment prise en compte, si bien qu'une correction mathématique due à Sondack [95] est adoptée, sans justification réelle.

Étude des phases divisées

Il est connu, depuis fort longtemps [96-97] que la température du point triple d'un corps pur dépend du rayon de courbure des interfaces solide-liquide-gaz. En simplifiant beaucoup, la température du point triple de l'eau sera d'autant plus basse que ses cristaux seront petits [98].

Ceci est vrai pour des métaux [99], pour des cristaux [100, 101], ou pour des polymères pour lesquels la fusion, ou la température de transition, ou de surfusion [102], ou de transition vitreuse [103-105] sont fonction du rayon de courbure de leurs interfaces.

Thermoporosimétrie

Un application découlant de ce qui précède, mais inattendue de la DSC, est la thermoporosimétrie, appelée aussi thermoporométrie [106-108], c'est-à-dire la détermination des rayons et des volumes poreux.

Un solide poreux est imbibé d'un excès d'un liquide. Au refroidissement, c'est tout d'abord cet excès qui cristallise. La cristallisation du liquide peut se poursuivre dans les pores, par développement de ce cristal à l'intérieur du pore, dès que la température permet que son rayon de courbure soit égal au rayon du pore.

A partir de la variation de l'enthalpie ΔH sur un petit domaine de température dT , autour de la température T , il est possible d'établir dans le cadre de cette hypothèse :

- le rayon moyen du pore, donné par la température T et $T + dT$
- le volume total du liquide dans le pore de ce rayon, donné par la quantité de chaleur due à la cristallisation entre les températures T et $T + dT$.

Au réchauffage, si les pores sont très peu différents d'une sphère, leur rayon de courbure r est le même qu'au refroidissement et la capacité thermique apparente sera la même. Par contre, pour un pore de rayon ρ et de longueur l , le rayon de courbure r au refroidissement est $1/r = 2/\rho$, différent de celui

mesuré à l'échauffement $1/r = 1/\rho + 1/l \approx 1/\rho$. Les capacités thermiques apparentes seront différentes. Cet écart permet la détermination d'un facteur de forme des pores [109], qui tend vers 1 si les pores ont une forme proche de la sphère.

Les applications de cette méthode concernent, entre autres, la détermination de la tension interfaciale liquide-solide [110], la porosité de produits minéraux [111-113] ou de polymères [114], l'étude du frittage [115].

Émulsions

Plus généralement, la DSC permet l'étude des phases divisées telles les émulsions simples ou multiples [116-121], les couches minces [122-125] et les phénomènes de nucléation [125], etc.

Cinétique des transformations

L'établissement de relations entre la température, le temps, et le degré d'avancement d'une transformation a ouvert la voie aux études cinétiques. Les programmes de calcul, utilisés dans les appareils commerciaux, sont basés sur l'équation (5). L'équation de $f(\xi)$, est donnée par une expression générale due à Sestak [126, 127] :

$$f(\xi) = \xi^n (1 - \xi)^m (-\log(1 - \xi))^p \quad (8)$$

où l'un au moins des exposants est nul. Le plus souvent, $n = 0$, $p = 0$.

Cinétique isotherme

Le système est amené le plus rapidement possible à la température T où se déroulera l'expérience en isotherme. Dans certains cas, il est possible d'introduire directement la nacelle, dans le four.

Les équations utilisées seront celles de la cinétique isotherme.

Cinétique à vitesse de chauffe constante

L'étude est conduite en programmation linéaire de la température. Ces études reposent sur l'équation (4) et l'équation (5), dans le cas particulier où $f(\xi) = (1 - \xi)^n$, soit :

$$\frac{d\xi}{dT} = \frac{1}{\beta} (1 - \xi)^n A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (9)$$

En faisant le rapport de la dérivée seconde et première de cette équation, il vient :

$$T^2 \frac{\frac{d^2\xi}{dT^2}}{\frac{d\xi}{dT}} = \frac{n}{(1 - \xi)} T^2 \frac{d\xi}{dT} + \frac{E}{R} \quad (10)$$

Le premier terme est tracé en fonction du second. La pente donne l'ordre de la réaction, et l'ordonnée à l'origine donne l'énergie d'activation E .

Cinétique à différentes vitesses de chauffe

L'étude est conduite en effectuant plusieurs expériences à différentes vitesses de chauffe en programmation linéaire de

la température. La courbe de capacité configurationnelle donnée par (2) est un pic, caractérisé par son degré d'avancement ξ_m à la température de son maximum T_m . En ce point, Kissinger [132, 133] et Ozawa [134] ont utilisé le fait que la dérivée seconde de l'équation (9) s'annule. Puisque la vitesse de transformation n'est pas nulle, ils écrivent :

$$\frac{1}{\beta} n (1 - \xi_m)^{n-1} A \exp\left(-\frac{E}{RT_m}\right) = \frac{E}{RT_m^2} \quad (11)$$

Puisque ξ_m ne dépend pas de la vitesse de chauffe, en traçant :

$$\ln \frac{\beta}{T_m^2} = -\frac{E}{RT_m} + \text{cste} \quad (12)$$

il est possible d'obtenir E . La détermination de l'asymétrie de la courbe DSC permet de remonter à l'ordre de la réaction. Cette méthode a été généralisée [136]. Les méthodes de calcul s'appuient alors sur la simulation des courbes à partir de modèles [137].

La méthode isoconversionnelle due à Friedman [138] semble en plein développement. La fonction $f(\xi)$ est éliminée en mesurant la vitesse de la réaction pour la même valeur de ξ , à différentes températures. Les expériences sont effectuées pour différentes vitesses de chauffe.

Un domaine d'application important est l'étude de la sécurité des réactions chimiques [139]. Toutefois les études cinétiques sont très délicates, et leurs résultats doivent être acceptés avec beaucoup de prudence [140].

Applications analytiques

Une grande classe d'application est représentée par les applications analytiques de la DSC. Il existe en effet des cas où le signal calorimétrique peut être relié sans ambiguïté à une transformation d'un constituant particulier. La détermination de cette énergie permet de remonter à la masse de ce constituant.

Analyse

En utilisant l'enthalpie de la transition $\alpha \rightarrow \beta$ de la silice [141], il est possible, à partir de l'effet thermique ayant lieu dans un ciment, de remonter à la quantité de silice présente. De même la caractérisation de polymorphes cristallins de produits pharmaceutiques [142], ou bien de polymères [143, 144] peut être effectuée.

Produits pétroliers

Dans le cas de fluides pétroliers complexes, la DSC peut apporter beaucoup d'informations.

Tout d'abord, les gazoles [145], les bitumes [146], les bruts [147] ont un comportement thermique très semblable. Il est facile d'identifier une transition vitreuse, suivie d'un massif correspondant à la dissolution des fractions cristallisables qui ont précipité au refroidissement (figure 3).

Il est donc possible, à l'échauffement, de caractériser la matrice hydrocarbonée par sa température de transition vitreuse. Les expériences ont permis de déterminer la ligne

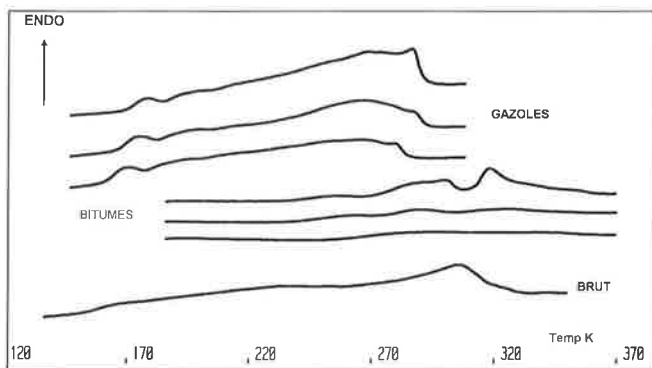


Figure 3 - Trace d'un brut, de 3 bitumes, et de 3 gazoles de diverses provenances.

de base. La mesure de la quantité de chaleur due à la dissolution des fractions cristallisées peut alors s'effectuer. Des expériences séparées donnent l'enthalpie de dissolution des n-paraffines dans les matrices pétrolières. Comme les fractions cristallisées sont composées en grande partie de ces n-paraffines, il est possible de remonter à la composition du mélange de départ [145, 146, 148], et même de pouvoir donner une répartition grossière de la longueur des paraffines.

Les produits pétroliers lourds tels les bitumes présentent, comme les polymères et pour des raisons similaires, des phénomènes de relaxation, c'est-à-dire que leurs propriétés dépendent du couple temps-température (figure 4). Ce comportement complique bien évidemment toutes les analyses, car il faut tout d'abord effacer l'ancien passé thermique, pour partir d'un état connu et reproductible.

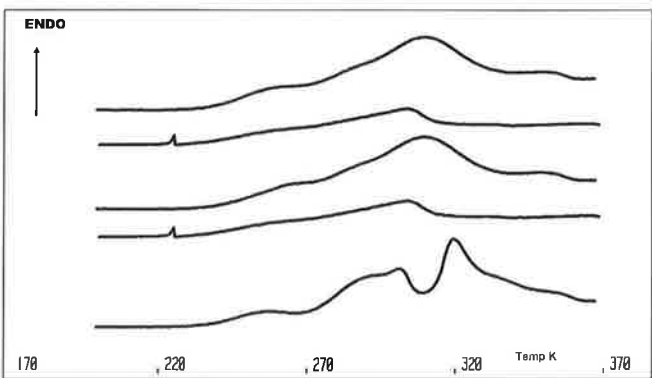


Figure 4 - Relaxation d'un bitume. Du bas vers le haut :
 - bitume après 24 heures à température ambiante, montée jusqu'à 373 K, à 3,5 K/min.
 - refroidissement à -3,5 K/min,
 - second chauffage à 3,5 K/min,
 - second refroidissement à -3,5 K/min.
 Les phénomènes sont reproductibles, si le passé thermique est le même. Le petit pic à basse température est probablement dû à la brisure du verre.

Dans le cas des gazoles, au refroidissement et en partant d'une phase homogène liquide, des cristaux apparaissent qui définissent la température de cristallisation commençante T_{cc} . L'expérience a prouvé [149] que cette température est celle du point de trouble normalisé (ASTM), mais elle est obtenue avec beaucoup plus de précision et de facilité que dans le cas de la norme.

La corrélation entre la quantité de paraffine précipitée au refroidissement et la température limite de filtrabilité (TLF) et le point d'écoulement (PE) a montré que la TLF et le PE

sont atteints quand, respectivement, 0,4 % ou 1 % de paraffine ont précipité.

Cette précision de la méthode analytique a autorisé l'étude et la mise au point d'additifs [151, 152], qui modifient la température du point de trouble en changeant les fonctions thermodynamiques de l'équilibre cristal-solution, ou bien en intervenant sur la taille des cristaux, donc sur leur solubilité.

Dans le cas des bitumes, constitués de molécules lourdes, la dissolution des fractions cristallisées au réchauffage s'accompagne de deux effets thermiques. L'étude particulière de la dissolution d'une n-paraffine pure [153] montre qu'elle s'effectue en deux étapes distinctes (figure 5).

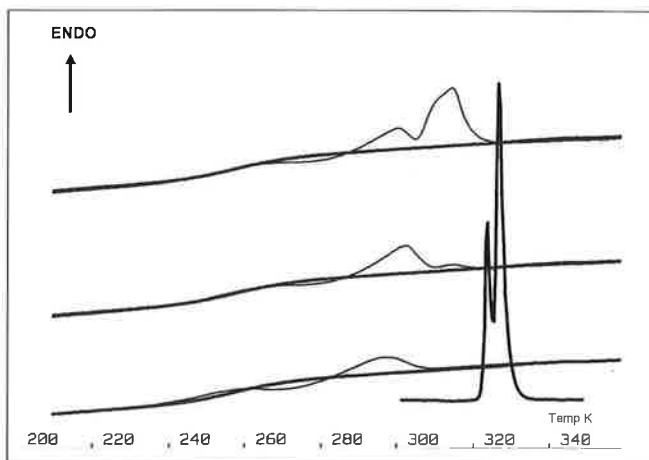


Figure 5 - Paraffines dans un bitume. Superposition des tracés d'un bitume pur, et de ce même bitume avec différentes quantités d'une n-paraffine pure : $C_{24}H_{50}$, dont la transition et la fusion sont représentées. De bas en haut : 2,51 %, 4,03 %, 7,01 % en poids. La dissolution se fait en une ou deux étapes, selon la concentration. Ceci est attribué à la formation de deux liquides.

Ceci ne peut être compris qu'en admettant qu'il existe deux liquides non miscibles dans lesquels la solubilité de la paraffine est différente. Cette hypothèse est confirmée par la thermomicroscopie à contraste de phase qui montre, en effet, la présence de deux liquides.

Programmation non linéaire de la température

La DSC présente l'inconvénient, important, de donner des résultats qui peuvent être fort loin de l'équilibre. C'est pourquoi une idée, simple dans son principe, est d'opérer en utilisant une programmation discontinue [154-156] de la température - c'est-à-dire en escaliers - et ainsi passer d'un état d'équilibre à un autre état d'équilibre.

L'équation (4) montre que la puissance thermique est la somme d'au moins deux termes qu'il paraît intéressant de séparer, et l'utilisation d'une vitesse de chauffe variable semble un bon choix.

Programmation en escaliers

L'expérience est constituée de rampes de température pendant une durée déterminée [157-159] suivies de paliers isothermes, donc d'escaliers de température de hauteur constante. Le signal est formé d'une succession de pics

caractérisés par leur surface, leur pente à l'origine et leur constante de temps (figure 6).

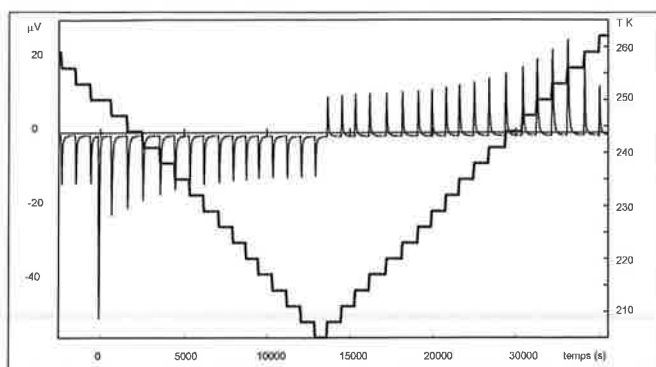


Figure 6 - Expérience en escaliers de température.

La courbe discontinue est la température, dont l'échelle est à droite. Précipitation, puis dissolution d'une paraffine dans une matrice pétrolière. Au refroidissement, deux pics identiques sont d'abord observés, dus à la capacité thermique de la solution C_{p_s} . Le troisième pic apparaît, dû à C_{p_s} puis en isotherme, la précipitation se produit. La solution était donc sursaturée. Pour les pics suivants, ces deux phénomènes sont confondus.

- La surface de chacun des pics permet la détermination de la capacité thermique apparente, avec une excellente précision [157].

- Une étude attentive de l'équation (2) montre que, lors du début de l'escalier, il est possible de séparer la capacité thermique vraie C_{p_s} de l'effet thermique $\Delta_{tr}H \frac{d\xi}{dT}$ [158]. La pente du pic p est donc donnée par l'équation (7).

- La retombée du pic contient, outre les constantes de temps dues aux capacités thermiques de l'appareil de mesure et des capacités thermiques du système étudié, la constante de temps de la transformation, donc des informations sur la cinétique de la transformation ayant lieu dans l'échantillon [160-162].

En raison de la possibilité d'approcher ou d'atteindre l'équilibre thermodynamique, dont un critère est la coïncidence des valeurs à l'échauffement et au refroidissement, l'utilisation de l'équation de Skau pour la détermination de la pureté (cf. le paragraphe ci-avant sur la détermination de la pureté) peut être faite d'une façon rigoureuse [163, 164].

Programmation en rampe + sinus

La commercialisation récente d'appareils conçus pour ajouter une modulation périodique à la rampe de température du four ou de la référence selon : $T = T_0 + \beta t + A_F \sin(\omega t)$ permet de créer une modulation de la température de l'échantillon [165-169], donc du signal calorimétrique, si les capacités thermiques (produit et référence) sont différentes. Le signal calorimétrique peut s'écrire sous la forme d'une partie modulée, déphasée par rapport à la modulation du four, et d'un niveau continu :

$$\Delta W = A_1 \cos(\omega t) + A_2 \sin(\omega t) + ct + d \quad (13)$$

Par un calcul simple [165, 170], il est possible d'extraire trois informations :

- Avec le niveau continu, la capacité thermique apparente : $\Delta W_c = ct + d = \beta C_p$

Cette capacité serait la même que celle observée à la vitesse de chauffe β sans modulation, sous réserve que le système chimique et l'appareil de DSC se comportent comme des systèmes linéaires.

- Avec la modulation, une capacité thermique complexe [171] :

$$C_c = C_r + j C^* \quad (\text{avec } j^2 = -1)$$

La partie réelle C_r est appelée « l'effet réversible », tandis que C^* est « l'effet non réversible ». Pour l'instant, la signification physique de C^* n'est pas clairement établie [172-174]. Notons qu'une interprétation thermodynamique et cinétique des phénomènes commence à se développer [175].

Cette méthode est sensible à des effets thermiques fonction du temps et de la température, c'est-à-dire de la fréquence, comme le prouvent les études de la transition vitreuse [176-178]. En prenant en compte la relation (4), il s'agit de transformations dont la constante de temps est de l'ordre de grandeur de la période de la modulation de la température.

La précision de la détermination de la capacité thermique est excellente, mais la réponse de l'appareil ne serait pas linéaire [170, 178-181].

A titre d'exemple est représenté le comportement thermique d'un gazole, avec les trois informations décrites ci-dessus (figure 7).

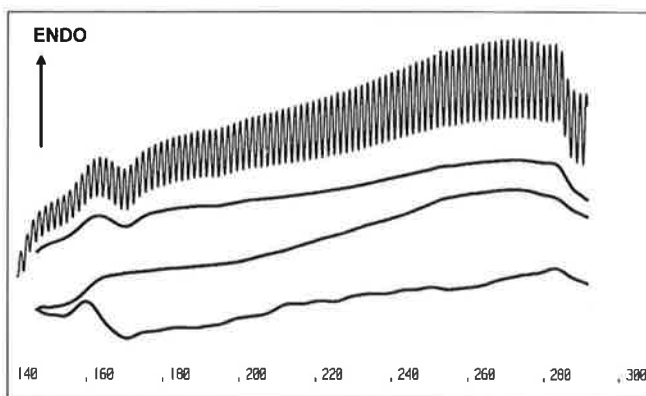


Figure 7 - Carburant diesel. Rampe (3,5 K/min) + modulation sinusoïdale (période 32 s, amplitude 2 K). En unités arbitraires, de haut en bas :

- l'expérience brute,
- le continu,
- l'amplitude (capacité thermique vraie),
- la tangente de l'angle du déphasage (effet thermique).

Si les cinétiques sont rapides, la distinction entre capacité thermique vraie et effet thermique n'est plus possible.

En partant de la température la plus basse, se manifestent successivement :

- La transition vitreuse : il y a une augmentation de C_p , un pic sur la partie « non réversible » et une augmentation analogue à celle observée sur C_p , mais à température plus élevée.

- Deux effets exothermiques très visibles sur C_p , mais qui disparaissent sur le signal « réversible », et sont sans action sur la partie « non réversible ». Ces deux effets sont donc indépendants de la température et il s'agit de cristallisation.

- A température plus élevée, tous les signaux se suivent, le système se comporte comme une capacité thermique vraie, car la vitesse d'évolution du système est rapide par rapport à la fréquence d'excitation.

Ces conclusions rejoignent celles exposées plus haut (cf. le paragraphe ci-avant sur les produits pétroliers) et les résultats de Hensel [182].

La modulation de température appliquée à la DSC est en plein développement [183], comme le prouve le grand nombre de publications consacrées à ce sujet.

Conclusion

En conclusion, la DSC est une technique d'analyse thermique qui a un très grand nombre d'applications, dans tous les domaines des matériaux et de la chimie.

La mise au point de normes [184] décrivant les performances, le mode de dépouillement des expériences rendent la DSC de plus en plus importante dans le domaine du contrôle industriel. De même son utilisation dans les domaines de l'agronomie (185-186) ou de la biochimie [187] mérite d'être signalée.

La détermination de la ligne de base est une difficulté très grande qui gêne considérablement l'interprétation des expériences, ou même peut induire des erreurs fondamentales. Il est cependant permis d'espérer que le chauffage non linéaire, associé à une analyse rigoureuse de l'ensemble des phénomènes mis en jeu (cf. le paragraphe ci-avant sur l'équation de la DSC), permettra d'apporter une solution au moins partielle à cette irritante question.

Références

- [1] Dollimore D., Thermal analysis, *Anal. Chem.*, **1992**, *64*, 147R-53R.
- [2] Brown M. E., Introduction to Thermal, *Techniques and applications*, Analysis Chapman and Hall, London, **1988**.
- [3] Wunderlich B., *Thermal analysis*, Academic Press Inc., New York, **1990**.
- [4] Mathot B.F., *Calorimetry and thermal analysis*, Hanser Publishers, Munich-Vienna-New York, **1994**.
- [5] Haines P.J., *Thermal methods of analysis*, Blackie Academic & Professional, London, **1995**.
- [6] Viney C., *Thermochim. Acta*, **1997**, *315*, 1-75 ; special issue : Progress in thermal analysis, techniques and applications.
- [7] Höhne G., Hemminger W., Flammersheim H. J., *Differential scanning calorimetry*, Springer-Verlag, Berlin, **1996**.
- [8] Bershtein V.A., Egorov V. M., *Differential scanning calorimetry of polymers*, Ellis Horwood, New York, **1994**.
- [9] Boersma S. L., A theory of differential thermal analysis and new methods of measurement and interpretation, *J. Am. Cer. Soc.*, **1955**, *38*, p. 281-83.
- [10] Tanaka S., Theory of power-compensated DSC, *Thermochim. Acta*, **1992**, *210*, p.67-76.
- [11] Schawe J.E.K., Höhne G.W.H., Schick C., Dynamic behavior of power-compensated DSC, Part 3, The influence of material properties (an error evaluation), *Thermochim. Acta*, **1994**, *244*, p.33-48.
- [12] Schawe J.E.K., Schick C., Höhne G.W.H., Dynamic behavior of power-compensated DSC. Part 4, The influence of changes in material properties, *Thermochim. Acta*, **1994**, *244*, p.49-59.
- [13] Watson E.S., O'Neil M.J., Brenner N., Principle of differential scanning calorimeter, *Anal. Chem.*, **1964**, *36*, p. 1233.
- [14] Dosch E. L., A scanning calorimeter based on a transistor junction, *Thermochim. Acta*, **1974**, *8*, p. 93-95.
- [15] King W.H., Camili C.T., Findeis A.F., Thin film thermocouples for DTA, *Anal. Chem.*, **1968**, *40*, p. 1330.
- [16] Ozawa T., A new method of quantitative differential thermal analysis, *Bull. Chem. Soc., Japan*, **1966**, *39* (10), p. 2071-2085.
- [17] Pacor P., Applicability of the Dupont 900 DTA apparatus in quantitative differential thermal analysis, *Anal. Chim. Acta*, **1967**, *37*, p. 200-208.
- [18] Höhne G.W., Bader A.E., Höhle St., Physical properties of a vacuum-deposited thermopile for heat measurements, *Thermochim. Acta*, **1995**, *251*, p. 307-317.
- [19] Calvet E., Emploi du microcalorimètre différentiel et à compensation par effet Peltier en analyse thermique différentielle quantitative, *J. Chim. Phys.*, **1962**, *59*, p. 319-323.
- [20] Calvet E., Gambino M., Michel M. L., ATD quantitative. Application aux orthophosphates monopotassique et monosodique, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1964**, p. 2208-2211.
- [21] Baxter R.A., A scanning microcalorimeter cell based on a thermoelectric disc - Theory and applications, *Thermal Analysis*, vol. 1, Academic Press, New York, London, **1969**.
- [22] Seybold K., Meisel T., Cservalfi T., Modeling of quantitative DTA equipment I, Electric analog approach, *J. Thermal Anal.*, **1979**, *15*, p. 93-99.
- [23] Mraw S.C., Mathematical treatment of heat flow DSC and DTA instruments, *The Review of Scientific Instruments*, **1982**, *53* (2), p. 228.
- [24] Claudy P., Commerçon J.C., Létoffé J.-M., Heat transfer in a disc-type DSC apparatus I - Experimental, *Thermochim. Acta*, **1983**, *65*, p. 45-251.
- [25] Claudy P., Commerçon J.C., Létoffé J.-M., Heat transfer in a disc-type DSC apparatus, II - Theoretical representation, *Thermochim. Acta*, **1983**, *68*, p. 305-316.
- [26] Jang G.W., Rajeshwar K., Equivalent-circuit modeling of a heat-flux DSC cell analysis of thermal resistance factors and comparison with experimental data, *Anal. Chem.*, **1986**, *58*, p. 416-421.
- [27] Jang G.W., Rajeshwar K., Computer simulation of DSC : influence of thermal resistance factors and simple optimization of peak resolution, *Anal. Chem.*, **1986**, *60*, p. 1003-1009.
- [28] Claudy P., Commerçon J.-C., Létoffé J.-M., Heat transfer in a disc-type DSC apparatus, III - Theoretical and experimental correction of the calorimetric signal in scanning mode, *Thermochim. Acta*, **1983**, *68*, p. 317-327.
- [29] Prigogine I., Defay R., *Thermodynamique Chimique*, Editions Desoer, Liège, **1950**.
- [30] Urbanovici E., Segal E., Procedures for deriving kinetic equations for the non-isothermal kinetics of heterogeneous decompositions, *ICTAC News*, **1994**, *1*, p. 13-35.
- [31] Nawada H. P., Discussion on the correctness of the rate expression for non isothermal kinetics, *Thermochim. Acta*, **1994**, *242*, p. 239-241.
- [32] Heuvel H. M., Lind K.C.J.B., Computer analysis and correction of DSC data for effects due to thermal lag and heat capacity change, *Anal. Chem.*, **1970**, *42*, p. 1044-1048.
- [33] Guttman C.M., Flynn J.H., On the drawing of the base line for differential scanning calorimetric calculations of heats of transition, *Anal. Chem.*, **1973**, *45*, p. 408-410.
- [34] Smith G.W., Base line construction for determination of transition enthalpies by differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1977**, *21*, p. 431-435.
- [35] Mraw S.C., Naas D.F., The measurement of accurate heat capacity by DSC, Comparison of DSC results on pyrite (100 K to 800 K) with literature values from precision adiabatic calorimetry, *J. Chem. Thermodynamics*, **1979**, *11*, p. 567-584.
- [36] Wiesener S., Woldt E., An algorithm for the reconstruction of the true specimen of a differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1991**, *187*, p. 357-362.
- [37] Hemminger W., Sarge S. M., Calibration as an aspect of quality assurance in differential scanning calorimetry (DSC) measurements, *Thermochim. Acta*, **1994**, *245*, p. 181-187.
- [38] Willocks P.H., Aspects of quality assurance within the industrial thermal analysis laboratory, *Thermochim. Acta*, **1995**, *256*, p. 1-9.
- [39] Höhne G.W.H., Cammenga H.K., Eysel W., Gmelin E., Hemminger W., The temperature calibration of scanning calorimeters, *Thermochim. Acta*, **1990**, *160*, p. 1-12.
- [40] Callanan J.E., Dermitt K.M., Westrum E.W., Fusion of mercury : a new certified standard for DSC, *J. Chem. Thermodynamics*, **1990**, *22*, p. 225-230.
- [41] Charsley E.L., Laye P.G., Richardson M., Feasibility study on the determination of accurate temperature values for the ICTA certified reference materials : potassium chromate, *Thermochim. Acta*, **1993**, *216*, p. 331-334.
- [42] Cammenga H.K., Eysel W., Gmelin E., Hemminger W., Höhne G.W.H., Sarge S. M., The temperature calibration of scanning calorimeters, Part 2, Calibration substances, *Thermochim. Acta*, **1993**, *219*, p. 333-342.
- [43] Höhne G.W.H., Schawe J., Schnick C., Temperature calibration on cooling using liquid crystal phase transitions, *Thermochim. Acta*, **1993**, *221*, p. 129-137.
- [44] Skoglund P., Fransson A., Accurate temperature calibration of differential scanning calorimeters, *Thermochim. Acta*, **1996**, *276*, p. 27-39.
- [45] Cammenga H.K., Steer A.G., Experimental investigations on factors influencing the calibration of heat flux calorimeters, *Thermochim. Acta*, **1993**, *229*, p. 15-25.
- [46] Sarge S.M., Gmelin E., Höhne G.W.H., Cammenga H.K., Hemminger W., Eysel W., The calorimetric calibration of scanning calorimeters, *Thermochim. Acta*, **1994**, *247*, p. 129-168.
- [47] Wolf G., Schmidt H.-G., Bohmhammel K., Differential scanning calorimetry, A reliable method of enthalpy calibration, *Thermochim. Acta*, **1994**, *235*, p. 23-29.
- [48] Sarge S.M., Hemminger W., Gmelin E., Höhne G.W.H., Cammenga H.K., Eysel W., Metrologically based procedures for the temperature, heat and heat flow rate calibration of DSC, *J. Therm. Anal.*, **1997**, *49* (2), p. 1125.
- [49] Richardson M.I., Report on the standardization workshop, 11th ICTA, **1996**, *J. Therm. Anal.*, **1997**, *49* (2), p. 1121-1125.
- [50] Mraw S.C., O'Rourke D., Accuracy of DSC for heat capacities of organic compounds at high temperatures, New method for enthalpy of fusion by DSC, *J. Chem. Thermodynamics*, **1981**, *13*, p. 199-200.
- [51] Tiers G.V.D., The reliable measurement of DSC onset points by internal referencing, Part 1, *Thermochim. Acta*, **1993**, *226*, p. 249-255.
- [52] Wies S., Geyer A., Eysel W., The limit of detection in differential scanning calorimetry, *J. Thermal Anal.*, **1992**, *38*, p. 277-287.
- [53] Grin P.G., Owren G.A., Machlum H.S., Accuracy analysis in flow calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1995**, *256*, p. 9-17.
- [54] Poessnecker W., Heat losses which cannot be compensated for and their contribution to the temperature dependence of calorimetric errors in dynamic differential calorimeters, *Thermochim. Acta*, **1993**, *229*, p. 97-109.
- [55] Diot M., Capacités thermiques, *Techniques de l'Ingénieur, Mesures et Contrôle*, **1993**, R 2970.
- [56] Hatakeyama T., Kanetsuna H., Thermal analysis of polymer samples by a Round Robin method, Part III, Heat capacity measurements by DSC, *Thermochim. Acta*, **1989**, *146*, p. 311-316.
- [57] Claudy P., Létoffé J.-M., Utilisation d'un capteur de haute sensibilité à la détermination précise de la capacité calorifique de 170 à 370 K par ACD, *Thermochim. Acta*, **1991**, *186*, p. 111-122.

- [58] Illeková E., Aba B., Kuhnát F.A., Measurements of accurate specific heats of metallic glasses by differential scanning calorimetry (DSC). Part I, Analysis of theoretical principles and accuracies of suggested measurement procedures, *Thermochim. Acta*, **1992**, *195*, p. 195-209.
- [59] Jin Y., Wunderlich B., Single-run heat capacity measurement by DSC : principle, experimental and data analysis, *Thermochim. Acta*, **1993**, *226*, p. 155-161.
- [60] Nakasone K., Takamizawa K., Shiohara K., Urabe Y., Simultaneous determination of the heat capacity and the heat of the transitions for long-chain compounds with a heat-flux type DSC, *Thermochim. Acta*, **1994**, *233*, p. 175-185.
- [61] Löwen B., Schulz S., Seippel J., Heat capacity measurement by calibration with dynamic correction of the calorimetric output signal of a thermopile heat conduction calorimeter, *Thermochim. Acta*, **1994**, *235*, p. 147-152.
- [62] Osawa T., Kanari K., Heat capacity measurement by differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1996**, *288*, p. 39-51.
- [63] White M.A., Characterization of solid-solid phase transitions : DSC versus adiabatic calorimeter, *Thermochim. Acta*, **1984**, *74*, p. 55-62.
- [64] Cammenga H.K., Steppuhn I.D., Polymorphic status of sorbitol : solution calorimetry versus DSC, *Thermochim. Acta*, **1993**, *229*, p. 253-256.
- [65] Lucci A., Tamaniini M., Battezzati L., Venturello G., Etude calorimétrique et cinétique de la recristallisation du cuivre par analyse calorimétrique différentielle (DSC), *J. Thermal Anal.*, **1978**, *14*, p. 93-97.
- [66] Gonthier-Vassal A., Zwaic H., Romain F., DSC study of 2-bromothiophene : a compound with three melting points, *Thermochim. Acta*, **1992**, *202*, p. 87-96.
- [67] Perrot B., Widmann G., Polymorphism by differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1994**, *234*, p. 31-39.
- [68] Tan S., Su A., Li W., Zhou E., The crystallization behavior of the metastable melts of poly(ethylene terephthalate) from the multiple melting process, *Macromol. Rapid Commun.*, **1998**, *19*, p. 11-14.
- [69] Xiaodong Zhang, Guanyi Shi, The effect of a β -nucleator on the crystallization and melting behavior of ethylene/propylene random and block copolymers, *Thermochim. Acta*, **1994**, *235*, p. 49-59.
- [70] Mathot V.B.F., *Thermochim. Acta*, **1994**, *238*, 1-459. Special issue : Thermal analysis and calorimetry in polymer physics.
- [71] Riga A.T., Patterson G.H., *Thermochim. Acta*, **1994**, *243*, 1-297. Special issue : Thermal characterization of polymers, chemicals and biological materials. A collection of papers presented at the 22nd North American Thermal Analysis Society Conference, Denver, Co, États-Unis, 19-22 September **1993**.
- [72] Hatakeyama T., Kanetsuna H., Thermal analysis of polymer samples by a Round Robin method, Part II, Factors affecting heats of transition, *Thermochim. Acta*, **1989**, *138*, p. 327-335.
- [73] Wang Ge, Harrison I.R., Polymer melting : thermal resistance effects in a DSC, *Thermochim. Acta*, **1993**, *230*, p. 309-317.
- [74] Haberfeld J.L., Reffner J.A., Thermal optical and DSC of chemically crosslinked polyethylene, *Thermochim. Acta*, **1976**, *15*, p. 307-313.
- [75] Gaune-Escard M., Bros J. P., Calorimetric determination of equilibrium phase diagram of inorganic systems, *Thermochim. Acta*, **1979**, *31*, p. 323-339.
- [76] Harran D., Jouanicou A., Détermination du prolongement métastable de la courbe de congélation du binaire glycérol-eau, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1976**, *11-12*, p. 1737-1742.
- [77] Harran D., Comportement thermique et courbe de transition vitreuse du binaire glycérol-eau, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1978**, *1-2*, 1-39, p. 44.
- [78] Harran D., Comportement thermique et courbe de transition vitreuse du binaire glycérol-eau, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **1978**, *1-2*, 1-39, p. 44.
- [79] Claudy P., Létoffé J.-M., Counieux J.J., Cohen-Adad R., Etude par ACD du domaine hors d'équilibre du système $x\text{LiCl}-(1-x)\text{H}_2\text{O}$ ($0 < x < 0,18$), *J. Thermal Anal.*, **1984**, *29*, p. 423-431.
- [80] Mehl P., Crystallization in glass-forming aqueous solutions during warming : numerical construction of non-isothermal DSC thermocurves during warming from isothermal data. Application to 42,5 % w/w 1,2 propanediol/water, *Thermochim. Acta*, **1993**, *223*, p. 157-165.
- [81] Murthy S.S.N., Kumar D., Glass formation in organic binary liquids studied using differential scanning calorimetry, *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, **1993**, *89*, p. 2423-2427.
- [82] Jones P., The results of a round-robin study conducted on glass transition temperature determinations using hydroxy-terminated polybutadiene polymers, *Thermochim. Acta*, **1993**, *212*, p. 123-129.
- [83] Flynn J.H., Thermodynamic properties from DSC by calorimetric methods, *Thermochim. Acta*, **1974**, *8*, p. 69-81.
- [84] Moynihan C.T., Eastel A.J., Eastel A.J., M.A., DeBolt, Dependence of fictive temperature of glass on cooling rate, *J. Am. Ceram. Soc.*, **1976**, *59*, p. 12-16.
- [85] Claudy P., Jabrane S., Létoffé J.-M., Annealing of a glycerol glass : enthalpy, fictive temperature and glass transition temperature change with annealing parameters, *Thermochim. Acta*, **1996**, *293*, p. 1-11.
- [86] Mehl M., The isothermal relaxation of the glassy state of 60 % w/w ethylene glycol in water : a possible nucleation process below the glass transition, *Thermochim. Acta*, **1993**, *226*, p. 27-32.
- [87] Mehl P.M., Calorimetric investigation of the glass transition and relaxation in 60:40 ethylene glycol:water, Part I, Isothermal annealing experiments, *Thermochim. Acta*, **1993**, *213*, p. 177-197.
- [88] Chen L.C., Spaepen F., How to use calorimetry to distinguish a microcrystalline structure from an amorphous structure, *Materials Science and Engineering*, **1991**, *A133*, p. 342-345.
- [89] Kiss G., Seybold K., Meisel T., Calorimetric test of purity. I - Analysis and description of the melting curve dH/dT versus temperature, *J. Thermal Analysis*, **1981**, *21*, p. 49-56.
- [90] Golonka G., Kaczala P., Lamy P., Siguret D., Détermination de la pureté des substances chimiques par ACD, *J. Thermal Analysis*, **1984**, *29*, p. 807-813.
- [91] Sarge S., Bauerecker S., Cammenga H.K., Calorimetric determination of purity by simulation of DSC curves, *Thermochim. Acta*, **1988**, *129*, p. 309-324.
- [92] Widmann G., Scherer O., A new program for DSC purity analysis, *J. Thermal Analysis*, **1991**, *37*, p. 1957-1964.
- [93] Calvet T., Tauler E., Cuevas-Diarte M.A., Housty J.R., Mondieig D., Haget Y., Van Miltenburg J.C., Application of the « shape-factors method » to purity analysis of compounds by thermal methods, *Thermochim. Acta*, **1992**, *204*, p. 271-280.
- [94] Bader R.G., Schawke J.E.K., Höhne G.W.H., A new method of purity determination from the shape of fusion peaks of eutectic systems, *Thermochim. Acta*, **1993**, *229*, p. 85-96.
- [95] Sondack D.L., Simple equation for linearisation of data in DSC purity determinations, *Anal. Chem.*, **1972**, *44*, p. 888.
- [96] Prigogine I., Defay R., Tension superficielle et adsorption, Editions Desoer, Liège, **1951**.
- [97] Goodrich F.C., Algebraic method in capillary thermodynamics, *Trans. Faraday Soc.*, **1968**, *64* (12), p. 3403-3415.
- [98] Brun M., Lallemand A., Quinson J.-F., Eyraud C., Changement d'état liquide \leftrightarrow solide dans les milieux poreux. II - Etude théorique de la solidification d'un condensat capillaire, *J. Chim. Phys.*, **1973**, *70* (6), p. 979-989.
- [99] Berman R.P., Kurzon A.E., The size dependence of the melting point of small particles of indium, *Can. J. Physics*, **1974**, *11*, p. 923-929.
- [100] Finotello D., Qian S.H., Iannacchione G. S., AC calorimetric studies of phase transitions in porous substrates, Superfluid helium and liquid crystals, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 303-316.
- [101] Martinie B., Troccaz M., Claudy P., Létoffé J.-M., Etude des transformations liquide \leftrightarrow solide \leftrightarrow solide de l'iode d'argent divisé, *J. Phys. Chem. Solids*, **1987**, *48*, p. 943-946.
- [102] Hotta Y., Hiraoka R., Yamaoka T., Effect of particle size and polarity of long-chain molecules in polymeric films on the supercooling temperature, *High Perform. Polym.*, **1997**, *9*, p. 369-383.
- [103] Jackson C.L., McKenna G.B., Vitrification and crystallization of organic liquids confined to nanoscale pores, *Chem. Mater*, **1996**, *8*, p. 2128-2137.
- [104] Jackson C.L., McKenna G.B., The melting behavior of organic materials confined in porous solids, *J. Chem. Phys.*, **1990**, *93* (12), p. 9002-9011.
- [105] Jackson C.L., McKenna G.B., The glass transition of organic liquids confined to small pores, *J. Non-Crystalline Solids*, **1991**, *131-133*, p. 221-224.
- [106] Brun M., Lallemand A., Lorette G., Quinson J.-F., Richard M., Eyraud C., Changement d'état liquide - solide dans les milieux poreux. I - Etude expérimentale de la solidification de l'eau et du benzène, *J. Chim. Phys.*, **1973**, *70* (6), p. 973-978.
- [107] Brun M., Lallemand A., Quinson J.-F., Martinie B., Rossignon J., Raseneur B., Eyraud C., Changement d'état liquide solide dans les milieux poreux, III - Application à une méthode calorimétrique de détermination du spectre des rayons de pores, *J. Chim. Phys.*, **1973**, *70* (6), p. 990-996.
- [108] Quinson J.-F., Brun M., Lallemand A., Eyraud C., Détermination de la tension superficielle liquide-solide γ_{lg} par une méthode thermique, *C.R. Acad. Sci., Paris*, **1977**, *284B*, p. 405-408.
- [109] Brun M., Lallemand A., Quinson J.-F., Eyraud C., A new method for the simultaneous determination of the size and the shape of pores : the thermoporometry, *Thermochim. Acta*, **1977**, *21*, p. 59-88.
- [110] Quinson J.-F., Brun M., Letoffé J.-M., Claudy P., Développement de la méthode thermique de mesure de la tension superficielle liquide-solide, *J. Thermal Analysis*, **1983**, *28*, p. 87-93.
- [111] Bantia N., Pigeon M., Lachance L., Calorimetric study of freezable water in cement paste, *Cement and Concrete Research*, **1989**, *19*, p. 939-950.
- [112] Ishikiyama K., Todoki M., Evaluation of water in silica pores using differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1995**, *256*, p. 213-226.
- [113] Beddoe R.E., Setzer M.J., Phase transformation of water in hardened cement paste. A Low-temperature DSC Investigation, *Cement and Concrete Research*, **1990**, *20*, p. 236-242.
- [114] Price D.M., Bashir Z., A study of the porosity of water-plasticised polyacrylonitrile films by thermal analysis and microscopy, *Thermochim. Acta*, **1995**, *249*, p. 351-366.
- [115] Lallemand A., Quinson J.-F., Eyraud C., Etude du frittage par thermoporométrie, *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **1975**, *280B*, p. 329-332.
- [116] Dumas J.P., Clausse D., Broto F., A study of thermograms obtained through differential scanning calorimetry of an emulsion of a supercooled liquid, *Thermochim. Acta*, **1975**, *13*, p. 261-275.
- [117] Sonatra D., Gabrielli G., Guarini G., Thermal analysis of water in oil microemulsions, *Phys. Sci.*, **1989**, *41*, p. 207-215.
- [118] Potier L., Raynal S., Seiler M., Grossiord J.-L., Clausse D., Study of state transitions within multiple W/O/W emulsions using calorimetry (DSC), *Thermochim. Acta*, **1992**, *204*, p. 145-155.
- [119] Haandrikman G., Daane G.J.R., Kerkhof F.J.M., Van Os N.M., Microcalorimetric investigation of the solubilization of water in reversed micelles and water-in-oil microemulsions, *J. Phys. Chem.*, **1992**, *96*, p. 9061-9068.
- [120] Dumas J.-P., Zeraoui Y., Strub M., Heat transfer inside emulsions. Determination of the DSC thermograms. Part I - Crystallization of the undercooled droplets, *Thermochim. Acta*, **1994**, *236*, p. 227-237.
- [121] Dumas J.-P., Zeraoui Y., Strub M., Heat transfer inside emulsions. Determination of the DSC thermograms. Part II - Melting of the crystallized droplets, *Thermochim. Acta*, **1994**, *236*, p. 239-248.
- [122] Bakouche O., Gerlier D., Létoffé J.-M., Claudy P., Phase separation of miscible phospholipids by sonication of bilayer vesicles, *Biophys. J.*, **1986**, *50*, p. 1-4.
- [123] Taylor K.M-G., Morris R.M., Thermal analysis of phase transition behaviour in liposomes, *Thermochim. Acta*, **1995**, *248*, p. 289-301.
- [124] Aquilano D., Cavalli R., Gasco M.R., Solid lipospheres obtained from hot microemulsions in the presence of different concentrations of cosurfactant : the crystallization of stearic acid polymorphs, *Thermochim. Acta*, **1993**, *230*, p. 29-37.

- [125] Ganguly S., Adishesaiah K.S., Ice nucleation in emulsified aqueous salt solutions : a DSC study, *Colloids and Surfaces*, **1992**, *66*, p. 105-111.
- [126] Sestak J., Study of the kinetics of the mechanism of solid-state reactions at increasing temperatures, *Thermochim. Acta*, **1971**, *3*, p. 1-12.
- [127] Sestak J., Beggren G., Study of the kinetics of the mechanism of solid-state reactions at increasing temperatures, *Thermochim. Acta*, **1971**, *3*, p. 1-12.
- [128] Romanetti R., Zahra C., Détermination du modèle thermocinétique d'un phénomène par convolution avec la fonction d'appareillage, Optimisation des paramètres de ce modèle, *Thermochim. Acta*, **1975**, *12*, p. 343-351.
- [129] Vyazovkin S., Kinetic information and models used for its extraction, *Thermochim. Acta*, **1992**, *200*, p. 461-466.
- [130] Reich L., Use of databases in the kinetics analysis of two parallel first order reaction, *Thermochim. Acta*, **1994**, *231*, p. 177-184.
- [131] Jing-Song Liu, Xian-Cheng Zeng, An-Min Tian, Yu Deng, Thermokinetic research method for first-order reactions, *Thermochim. Acta*, **1994**, *231*, p. 39-47.
- [132] Kissinger H.E., Variation of peak temperature with heating rate in differential thermal analysis, *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, **1956**, *57*, p. 217-221.
- [133] Kissinger H.E., Reaction kinetics in differential thermal analysis, *Anal. Chem.*, **1957**, *29*, p. 1702-1706.
- [134] Ozawa T., Kinetic analysis of derivate curves in thermal analysis, *J. Thermal Anal.*, **1970**, *2*, p. 301-324.
- [135] Ozawa T., A modified method for kinetic analysis of thermoanalytical data, *J. Thermal Anal.*, **1976**, *9*, p. 369-373.
- [136] Llopiz J., Romero M.M., Jerez A., Laureiro Y., Generalization of the Kissinger equation for several kinetic models, *Thermochim. Acta*, **1995**, *256*, p. 205-211.
- [137] Sbirrazzuoli N., Simulations for evaluation of kinetic methods in differential scanning calorimetry. Part 2 - Effect of additional noise on single-peak methods, *Thermochim. Acta*, **1996**, *273*, p. 169-184.
- [138] Friedman H.L., *J. Polym. Sci.*, **1965**, *50*, p. 183.
- [139] Bosch H.W., Schliephake V., Safety assessment for polyetherol production using reaction kinetic data, *Thermochim. Acta*, **1993**, *225*, p. 189-199.
- [140] Brown M., Flynn R.M., Flynn J.H., Report on the ICTA Kinetics Committee (August 1992 to September 1994), *Thermochim. Acta*, **1995**, *256*, p. 477-483.
- [141] Norton G.A., The determination of quartz using differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1994**, *237*, p. 295-304.
- [142] Giron D., Thermal analysis and calorimetric methods in the characterisation of polymorphs and solvates, *Thermochim. Acta*, **1994**, *248*, p. 1-59.
- [143] Knappe S., Urso C., Applications of thermal analysis in the rubber industry, *Thermochim. Acta*, **1993**, *227*, p. 35-42.
- [144] Ten Brinke G., Oudhuis L., Ellis T.S., The thermal characterization of multi-component systems by enthalpy relaxation, *Thermochim. Acta*, **1994**, *238*, p. 75-98.
- [145] Bosselet F., Letoffe J.-M., Claudy P., Valentin P., Etude du comportement thermique des n-alcane dans des milieux hydrocarbonés complexes par analyse calorimétrique différentielle. II - Détermination du taux de n-alcane contenu dans un gazole, Détermination du point de trouble, *Thermochim. Acta*, **1983**, *70*, p. 19-34.
- [146] Albert M., Bosselet F., Claudy P., Letoffe J.-M., Lopez E., Neff B., Comportement thermique des bitumes routiers. Détermination du taux de fractions cristallisées par analyse calorimétrique différentielle, *Thermochim. Acta*, **1984**, *84*, p. 101-110.
- [147] Claudy P., Letoffe J.-M., Orrit J., Chagué B., Crude oils and their distillates : Characterization by differential scanning calorimetry, *Fuel*, **1988**, *67*, p. 58-61.
- [148] Létoffé J.-M., Claudy P., Garcin M., Volle J.-L., Crude oils : Evaluation of crystallized fractions of crude oils by differential scanning calorimetry. Correlation with gas chromatography, *Fuel*, **1995**, *74-1*, p. 92-95.
- [149] Claudy P., Letoffe J.-M., Neff B., Damin B., Diesel fuels : Determination of onset crystallization temperature, pour point and filter plugging point by differential scanning calorimetry. Correlation with standard test methods, *Fuel*, **1986**, *65*, p. 861-864.
- [150] Gimzewski E., Audley A., Monitoring wax crystallisation in Diesel using differential scanning calorimetry (DSC) and microcalorimetry, *Thermochim. Acta*, **1993**, *214*, p. 149-155.
- [151] Bosselet F., Letoffe J.-M., Claudy P., Damin S.B., Maldonado P., Etude du comportement thermique des n-alcane dans des milieux hydrocarbonés complexes par analyse calorimétrique différentielle. IV - Etude de l'action d'additifs abaissant le point de trouble, *Thermochim. Acta*, **1983**, *70*, p. 49-62.
- [152] Claudy P., Létoffé J.M., Bonardi B., Vassilakis D., Damin B., Interactions between n-alkanes and cloud point-cold filter plugging point depressants into a Diesel fuel. A thermodynamic study, *Fuel*, **1993**, *72-6*, p. 821-827.
- [153] Claudy P., Planche J.-P., Létoffé J.M., Martin D., Thermal behavior of asphalt cements, *Thermochim. Acta*, **1998**, *453* (4), p. 1-11.
- [154] Synger J., Automated, stepping differential calorimeter for the analysis of purity, *Anal. Chem.*, **1975**, *47*, p. 1380-1384.
- [155] Simonsen K.A., Zaharescu M., A new differential thermal analysis method, *J. Thermal Analysis*, **1979**, *15*, p. 25-35.
- [156] Regelsberger M., Wernhardt R., Rosenberg M., Fully automated calorimeter for small samples with improved sensitivity, *J. Phys. Sci. Inst.*, **1986**, *19*, p. 525-532.
- [157] Mraw S.C., Naas D.F., The measurement of accurate heat capacity by DSC. Comparison of DSC results on pyrite (100 K to 800 K) with literature values from precision adiabatic calorimetry, *J. Chem. Thermodynamics*, **1979**, *11*, p. 567-584.
- [158] Claudy P., Commerçon J.-C., Létoffé J.-M., Quasi static study of the glass transition of glycerol by DSC, *Thermochim. Acta*, **1988**, *128*, p. 251-260.
- [159] Kerr W.L., Reid D.S., The use of stepwise differential scanning calorimetry for thermal analysis of foods, *Thermochim. Acta*, **1994**, *246*, p. 299-308.
- [160] Finholt J.E., The temperature jump method for the study of fast reactions, *J. Chem. Ed.*, **1968**, *6*, p. 394-397.
- [161] Winkler H., Progrès récents dans l'étude des réactions chimiques rapides par les techniques de relaxation, *Endeavor*, **1974**, *33* (119), p. 73-79.
- [162] Zuda A., The technique of step heating applied to thermal analysis, *Thermochim. Acta*, **1974**, *8*, p. 217-219.
- [163] Staub H., Perron W., New method of purity determination by means of calorimetric differential thermal analysis, *Anal. Chem.*, **1974**, *46*, p. 128-130.
- [164] Kiss G., Seybold K., Meisel T., Calorimetric test of purity. II Comparison of dynamic and stepwise measuring technique, *J. Thermal Analysis*, **1981**, *21*, p. 57-66.
- [165] Reading M., Hahn B. K., Crowe B., Method and apparatus for modulated differential analysis, US patent 5224775, 6 July 1993.
- [166] Sauerbrunn S., Crowe B., Reading M., Modulated differential scanning calorimetry, *American Laboratory*, **1992**, *8*, p. 44-47.
- [167] Reading M., Elliot D., Hill dV.L., A new approach to the calorimetric investigation of physical and chemical transitions, *J. Thermal Analysis*, **1993**, *40*, p. 949-955.
- [168] Reading M., Elliot D., Hill V.L., Some aspects of the theory and practice of modulated differential scanning calorimetry, *J. Thermal Analysis*, **1993**, *40*, p. 949.
- [169] Gill P.S., Sauerbrunn S.R., Reading M.J., Modulated differential scanning calorimetry, *J. Thermal Analysis*, **1993**, *40*, p. 931-939.
- [170] Claudy P., Létoffé J.-M., Heat transfer in a disc-type DSC apparatus. IV Applicability of the coupled cells model to periodic temperature modulation, *J. Thermal Anal.*, **1998**, *53*, p. 737-749.
- [171] Wunderlich B., Jin Y., Boller A., Mathematical description of differential scanning calorimetry based on periodic temperature modulation, *Thermochim. Acta*, **1994**, *238*, p. 277-293.
- [172] Jones K.J., Kinshott L., Reading M., The origin and interpretation of the signals of MTDSC, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 187-200.
- [173] Höhne G.W.H., Remark on the interpretation of the imaginary part C'' of the complex heat capacity, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 121.
- [174] Reading M., Elliot D., Hill V.L., Some aspects of the theory and practice of modulated differential scanning calorimetry, Proc. 21th North American Thermal Analysis Society, **1992**, p. 145-150.
- [175] Schawe J.E.K., Principles for the interpretation of temperature-modulated DSC measurements. Part 2 : A thermodynamic approach, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 111-124.
- [176] Donth E., Korus J., Hempel E., Beiner M., Comparison of DSC heating rate and HCS frequency at the glass transition, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 239-250.
- [177] Weyer S., Hensel A., Korus J., Schick C., Broad band heat capacity spectroscopy in the glass-transition region of polystyrene, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 251-256.
- [178] Korus J., Beiner M., Busse K., Kahle S., Unger R., Donth E., Heat capacity spectroscopy at the glass transition in polymers, *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 99-110.
- [179] Hatta I., Muramatsu S., High precision heat capacity measurement by dynamic differential scanning calorimetry, Japan, *J. Appl. Phys.*, **1996**, *35*, p. L858-L860.
- [180] Wunderlich B., Boller A., Okazaki I., Kreitmeier S., Linearity, steady state and complex heat capacity in modulated differential scanning calorimetry, *Thermochim. Acta*, **1996**, *282/283*, p. 143-155.
- [181] Ozawa T., Kanari K., Linearity and non-linearity in DSC : a critique on modulated DSC, *Thermochim. Acta*, **1995**, *253*, p. 183-188.
- [182] Zanier A., Jäckle H.W., Heat capacity measurement of petroleum fuels by modulated DSC, *Thermochim. Acta*, **1996**, *287*, p. 203-212.
- [183] Schick C., Höhne G.W.H., *Thermochim. Acta*, **1997**, *305*, p. 1-378. Special Issue : Temperature modulated calorimetry.
- [184] ISO/1357, 1 - Plastiques - Analyse calorimétrique différentielle DSC - Principes généraux, 2 - Transition vitreuse, 3 - Température et enthalpie de fusion et cristallisation, 4 - Détermination de la capacité thermique massique, 5 - Polymérisation et cinétique, 6 - Temps d'induction, 7 - Cinétique de cristallisation.
- [185] Schiradi A., *Thermochim. Acta*, **1994**, *246* (2), p. 249-439. Special issue : Applications of calorimetry and thermal analysis to food systems and processes.
- [186] Ford J.L., *Thermochim. Acta*, **1995**, *251*, p. 1-357. Special issue : Pharmaceuticals and thermal analysis.
- [187] Kemp R.B., Schaarschmidt B., *Thermochim. Acta*, **1995**, *250* (2), p. 215-381. Special issues, Papers presented at the ninth conference of the international society for biological calorimetry, Berlin-Schmerwitz, 27-31 mai 1994.

Les sciences à l'école primaire

Marc Julia ancien président de la SFC, **Nicole Leray** membre de la commission interdivisions Enseignement de la SFC

L'Actualité Chimique présente, ci-dessous, les opérations contribuant à la formation scientifique et technique des enfants. Les lecteurs sauront ainsi, même si celles-ci sont trop brièvement décrites, que des personnes de bonne volonté se sont mises au travail pour aider les enseignants et animateurs, avec l'aide des pouvoirs publics. Ils verront aussi le très beau travail qui a été fait et qui se poursuit. Peut-être pourront-ils y apporter une contribution ? Elle sera toujours la bienvenue

Quelle perception le grand public a-t-il de la chimie ? Le plus souvent, il ignore le rôle fondamental de la chimie dans le concert des disciplines scientifiques, les réalisations de l'industrie chimique et son importance dans notre univers quotidien, pour ne voir et souvent combattre que les aspects néfastes de cette science que sont les pollutions et les armes chimiques. Un minimum de connaissances de cette discipline est indispensable à la formation du citoyen du XXI^e siècle. Les jeunes enfants n'échappent pas à cette règle, surtout s'ils ont l'occasion d'entendre parler de la chimie comme une industrie qui pollue, qui empoisonne et de voir représenter les usines chimiques (alors qu'elles sont très différentes de nos jours), avec une fumée plus ou moins colorée, synonyme de toxicité et de mal vivre !

Comment amener les enfants, et plus tard les adultes, à engager un dialogue avec la nature, à apprendre à la connaître, c'est-à-dire à pouvoir prévoir ses réactions dans un nouveau contexte et comment les préparer à leur rôle de citoyen dans un monde technique et industriel ? La réponse se trouve dans la nécessité d'introduire, dans la formation qu'ils recevront à l'école primaire, une initiation aux sciences et aux techniques de bonne qualité. C'est par l'observation, la réflexion, l'expérimentation, la critique constructive, le dialogue, que l'enfant fera connaissance avec le monde réel, aura moins peur des objets scientifiques, techniques et industriels de son environnement et apprendra à le

respecter. Dans le même temps, étant mieux informé et amené à une vision plus réaliste du monde, il portera sur son environnement matériel un regard plus pertinent et sera mieux apte à se défendre contre les pollueurs. Il sera prêt à s'engager dans la vie comme un citoyen adulte. La chimie, science et industrie, a trop souffert (et souffre encore trop) du mépris entretenu par et chez les ignorants pour ne pas saluer avec enthousiasme toute initiative œuvrant dans ce sens.

De tout temps, certains instituteurs ont engagé dans leurs classes des projets et des activités scientifiques tout à fait remarquables. On constate cependant que, pour la majorité des élèves du primaire, l'enseignement scientifique occupe une trop faible part dans leur formation et reste essentiellement livresque et théorique. Même si les instructions récentes (programmes de 1985, puis de 1995) préconisent un enseignement scientifique conçu comme une initiation à la démarche expérimentale au service d'une culture générale ouverte à la connaissance scientifique (*BO* du 9 mars 1995), la formation de nos élèves du primaire comporte dans les faits un grand absent... l'éveil aux sciences et à la technologie. Les programmes de ces classes se caractérisent par l'abandon des références disciplinaires et préconisent une ouverture des enfants à l'observation du monde : entre 2 et 7 ans, l'enfant découvre le monde, monde de la matière et des objets et monde du

vivant, puis entre 8 et 10 ans, on introduit de manière explicite les sciences et la technologie, unité et diversité du monde vivant, ciel et terre, matière et énergie, objets et réalisations technologiques. Ces propositions devraient permettre de répondre aux deux questions que nous avons posées, mais nous constatons que trop d'instituteurs et professeurs d'école (souvent issus des disciplines littéraires) hésitent à attaquer ces thèmes par crainte de n'avoir pas assez de connaissances et de ne pas savoir enseigner ces disciplines. Ainsi, dans la formation des citoyens du XXI^e siècle, pour ceux de nos jeunes qui n'entreprennent pas des études scientifiques ou techniques, une trop faible part est laissée à l'ouverture aux sciences expérimentales, physique, chimie ou biologie... On a pu parler, sans exagérer, d'illettrisme scientifique.

Ce constat étant posé, il est donc apparu essentiel à certains d'amener les jeunes enfants à s'intéresser aux sciences expérimentales dès leur plus jeune âge, c'est-à-dire à l'école maternelle et primaire. Plusieurs initiatives émanant de personnalités du monde scientifique et industriel, d'universitaires, de structures associatives ont vu le jour avec pour objectif de relever ce défi. Ces associations opèrent dans le cadre scolaire ou périscolaire, dans le cadre de clubs ou de centres de vacances. La pédagogie diffère suivant les initiatives mais toutes ont finalement le même objectif, à savoir amener les écoliers dès leur plus jeune âge, à

observer le monde réel, à expérimenter, à analyser les résultats, à réfléchir aux conclusions, à dialoguer et à rédiger un compte rendu d'expériences. Les activités qu'elles proposent sont très variées et couvrent des domaines scientifiques larges. La chimie n'est pas absente de leurs préoccupations.

En France, quatre structures agissent dans cet esprit ; ce sont, d'une part, Les Petits Débrouillards et La Main à la Pâte qui agissent dans un cadre pluridisciplinaire, et Chimie la Classe et Graine de Chimiste qui proposent des activités spécialisées en chimie. Enfin, une association européenne Chemistry for Life, propose un partenariat ayant pour objectif de permettre au grand public et aux jeunes générations de mieux comprendre et apprécier l'importance de la chimie dans notre vie quotidienne. Cette association s'est orientée vers une approche muséologique. Pour la France, ce sont le Palais de la Découverte et la Cité des Sciences qui se sont engagés dans l'opération européenne Chemistry for Life. Leur travail dans ce domaine sera présenté ultérieurement dans ce journal.

Les petits débrouillards

Née au Québec en 1979-1980, la Fédération des Petits Débrouillards compte actuellement 18 pays membres, principalement en Europe et en Amérique du Sud, Afrique du Nord, Asie, Québec. L'Association Nationale des Petits Débrouillards, créée en 1986, est affiliée à cette fédération. En ce qui concerne la France, neuf associations régionales sont liées par convention avec l'association nationale. Un comité de parrainage comportant des personnalités du monde scientifique parmi lesquels P.-G. de Gennes, A. Jacquart, H.

Reeves et des représentants d'organismes tels que la Cité des Sciences et de l'Industrie, le Palais de la Découverte, assure le lien avec le monde scientifique. L'association reçoit le soutien des ministères de l'Éducation nationale, de la Jeunesse et des Sports, de la Culture et de la Ville. Dans chaque région se tissent des liens avec les partenaires institutionnels régionaux : conseils régionaux et généraux, préfectures, mairies. Enfin, d'autres partenaires (EDF, Fondation Caisse d'Épargne, Édition Albin Michel jeunesse...) ont des liens avec l'association nationale.

Dans ce contexte, Les Petits Débrouillards mettent en avant deux grandes priorités :

- Redonner le goût de l'interrogation, de la curiosité, par une approche fondée non plus sur l'acquisition de savoirs scientifiques plus ou moins abstraits mais sur la démarche expérimentale et méthodologique.

- Réconcilier les individus avec les sciences afin qu'ils soient en mesure de comprendre et d'aborder les questions de société qu'elles posent. Il s'agit là d'une reconquête de citoyenneté.

Cette approche sera d'autant plus pertinente et efficace qu'elle se placera tôt dans le parcours scolaire des élèves, c'est-à-dire entre 6 et 12 ans. En France, les activités des petits débrouillards sont nombreuses :

- **Les clubs Petits débrouillards** réunissant une fois par semaine, en temps de loisir, les enfants de 6 à 12 ans (groupes d'une douzaine d'enfants).

- **Des centres de vacances** (durant 15 à 20 jours) et des mini-stages (durant 5 jours) centrés sur un projet pédagogique adapté à l'âge des enfants.

- **Des ateliers périscolaires** se déroulant le plus souvent en dehors des

heures de classes. L'organisation de ces ateliers est très souple ; une grande initiative est laissée aux organisateurs pour répondre à l'attente des enfants. Ils réunissent, en général, une douzaine d'enfants autour d'un projet pédagogique adapté. Chaque atelier fonctionne d'une heure et demie à trois heures suivant la formule. Dans un centre donné, il peut être organisé, durant une année, de trois à trente ateliers.

- **Interventions en milieu scolaire** : généralement à la demande d'un enseignant, ce type d'atelier permet un travail pédagogique approfondi. Ces interventions permettent d'établir un vrai partenariat entre l'enseignant et l'animateur de l'association.

- **Des animations événementielles** et ponctuelles sont menées tant sur le plan national (journées de l'environnement, festival de Chamonix, Sciences en fête...) que sur le plan régional (festivals, fêtes d'écoles, expositions locales, Exposciences).

- **Des actions de formation** à la démarche scientifique à l'intention des animateurs Petits Débrouillards

Le *tableau I* présente le bilan de l'activité de l'association nationale durant l'année 1997. Ces quelques données chiffrées permettent d'évaluer l'activité et le rayonnement des Petits débrouillards.

Les thèmes abordés touchent tous les domaines des sciences : chimie, physique, mécanique, biologie, mathématiques. Ce sont les enfants qui choisissent leur sujet après une période de travail guidé par leur animateur. En ce qui concerne la chimie, les thèmes abordés sont très variés : on apprend à classer les produits suivant leur dureté, leur densité, leur miscibilité, leur état physique. On s'initie à l'étude élémentaire des matériaux, des matières plastiques et des pro-

Tableau I - Les activités des clubs Petits débrouillards en 1997

Activité	Nombre d'enfants	Durée	Nombre d'heures d'animation*
Les clubs	680	62 journées	3114
Les centres de vacances et mini-stages	1 816	396 journées	3168
Les ateliers périscolaires	44 440	4 642 ateliers	6963
Les interventions en milieu scolaire	6 706	204 ateliers	816
Animations ponctuelles	63 050	686 journées	4116

* Ces chiffres correspondent aux heures d'animation rémunérées par l'Association. Ils ne comportent pas les nombreuses heures assurées bénévolement.

duits naturels. On se familiarise avec les transformations par réactions chimique, thermique ou mécanique.

L'encyclopédie pratique des Petits Débrouillards est née de la rencontre entre l'association et les Éditions Albin Michel. Elle regroupe les thèmes initiés lors des nombreuses activités de l'association. Chaque volume offre un ensemble d'expériences et de connaissances permettant aux enfants de s'initier aux sciences et de s'interroger de manière raisonnée et pertinente sur tout ce qui les entoure et provoque leur questionnement. Citons les titres des six premiers volumes parus cette année : *A la découverte de l'eau*, *L'invisible*, *Vivre de mille manières*, *Les secrets de l'air*, *planète terre*, *Le monde des extrêmes*.

Chacun de ces volumes comporte quatre chapitres présentés sous forme de fiches faciles à manipuler que les enfants s'approprient facilement. Une *fiche introduction* situe le domaine abordé. Une quinzaine de fiches décrivent les expériences à réaliser soi-même avec du matériel simple, que l'on trouve chez soi. Le chapitre se termine par une *fiche histoire* et une *fiche futur* montrant que les sciences et leurs applications ne sont pas figées dans le temps mais toujours en perpétuelle évolution. La chimie est présente dans la plupart des volumes, et tout particulièrement dans ceux qui traitent de l'eau, de l'air et dans *Vivre de mille manières*.

L'Association Les Petits Débrouillards, animée par une cinquantaine de permanents et environ 700 animateurs vacataires, propose donc aux enfants des activités scientifiques motivantes dans des domaines variés. Grâce au dynamisme de ses animateurs, s'engageant bien au-delà des heures rétribuées par l'association, les divers ateliers, clubs et centres de vacances contribuent largement à développer l'éveil scientifique des élèves de l'enseignement primaire. Par ailleurs, la publication, à partir de 1998, d'une encyclopédie regroupant les activités réalisées dans les ateliers contribuera à répandre la pédagogie de l'association au-delà des écoles, municipalités et centres de vacances initiés par les petits débrouillards.

- Contact : A Keledjian, Les Petits Débrouillards, Halle aux Cuirs 75930 Paris Cedex19
Tél. : 01.40.05.75.57. Fax : 01.40.05.79.21.

Graine de chimiste

Graine de chimiste est une association qui a vu le jour en 1991. Issue des travaux de recherche du Groupe de Recherche en Didactique de la Chimie de l'Université P. et M. Curie, cette association regroupe une dizaine d'étudiants scientifiques formés à l'animation, quatre enseignants chercheurs et des anciens animateurs entrés dans la vie professionnelle (enseignement, recherche, industrie). Elle anime des ateliers interactifs en sciences expérimentales, développe des projets pédagogiques dans les classes en collaboration avec les enseignants et intervient dans les formations d'adultes. Elle a tissé des partenariats, avec de nombreuses composantes du monde éducatif : université P. et M. Curie, ministère de l'Éducation nationale, des écoles et collèges, des centres de loisir, des industriels.

Les objectifs de l'association sont :

- démystifier la chimie,
- donner à chacun l'occasion de mieux comprendre le monde qui l'entoure,
- initier les enfants, adolescents, grand public à une démarche scientifique par une animation à caractère ludique,
- exploiter le potentiel gestuel des enfants dès leur plus jeune âge,
- valoriser l'enfant en situation d'échec scolaire et lui donner confiance,
- former à la citoyenneté :
 - en aidant à mieux comprendre les informations médiatiques, à décoder les étiquettes des produits en vente dans les supermarchés par exemple,
 - en initiant des actions de prévention (pollution de l'eau, de l'air) en motivant sur la sécurité, l'hygiène corporelle, le soin, le rangement.

Graine de Chimiste s'adresse donc à un public large allant de l'école maternelle jusqu'à la fin du collège (5 à 14 ans), voire le grand public. La zone d'action est essentiellement située en Ile-de-France, mais peut être aussi basée en province, après une formation locale d'animateurs. Les activités se déroulent dans le cadre scolaire, périscolaire, dans les centres de loisirs ou des villages vacances, lors de manifestations culturelles. L'action peut être soit ponctuelle pour un objectif particu-

lier comme la sensibilisation à la chimie d'un public ciblé soit sous forme d'une action prolongée. Ce peut être, par exemple, l'acquisition de savoir et de savoir-faire ou bien une progression dans une démarche d'autonomie ou d'expression orale. Lorsque l'intervention se place dans le contexte de l'école, il est suggéré aux instituteurs d'exploiter dans d'autres disciplines comme les mathématiques, le français, la lecture, les arts plastiques, le travail effectué avec Graine de Chimiste.

Depuis 4 ans, l'association se tourne beaucoup vers des publics difficiles : ZEP de banlieue parisienne ou même milieu carcéral. Le support reste évidemment la chimie, mais les objectifs relèvent plus de la dimension sociale que de la formation aux sciences. Les jeunes concernés ayant le plus souvent des difficultés de communication, le contenu des animations s'appuie sur des exigences d'acquisition de vocabulaire, une rigueur dans le choix des mots à employer.

Un atelier fonctionne avec environ 10 participants et dure de 30 minutes à 1 heure selon le thème et l'âge des participants. Tous les thèmes sont choisis dans la vie de tous les jours. Chaque participant s'investit personnellement dans l'action en manipulant sous la responsabilité de l'animateur. Beaucoup de thèmes aboutissent à la préparation d'un produit que chacun peut emporter chez lui comme témoignage de son vécu. Cette association souhaite donner à chacun l'occasion de s'ouvrir à la chimie et de mieux comprendre le monde qui l'entoure. Elle vise, à travers la chimie, à initier à une démarche scientifique ancrée sur une animation à caractère ludique, à exploiter le potentiel gestuel des enfants dès leur plus jeune âge. Lors de cette approche de la chimie, l'élève est amené à effectuer une démarche scientifique, acquiert un savoir-faire, prend conscience de valeurs utiles aussi bien dans une démarche scientifique que dans la vie de tous les jours.

Graine de chimiste propose des ateliers sur les thèmes suivants : la détergence (découverte de la détergence ; fabrication d'un liquide vaisselle), l'hygiène corporelle (fabrication d'un dentifrice ou d'un bain moussant), les cosmétiques (fabrication d'une crème

de beauté ou d'un lait solaire), le jeu (fabrication d'une pâte élastique du type slime), la cuisine (fabrication de crêpes ou de la mousse au chocolat), les saveurs (étude scientifique des saveurs ou de la saveur sucrée), l'eau (traitement de production d'eau potable, goût des eaux de boisson), l'acidité (pH de quelques produits courants, rôle du pH en agriculture).

L'association propose en outre des activités plus diversifiées :

- En 1998, une exposition interactive et itinérante conçue sur dix panneaux, intitulée l'eau de la planète à la maison, apporte à chacun des éléments scientifiques pour comprendre les enjeux liés aux ressources en eau et à leur usage par la société humaine.

- Depuis deux années, un nouveau type d'animation a été créé ; il s'agit des divertissements. Les élèves se trouvent confrontés à un jeu, une énigme : une situation qui permet d'acquérir des connaissances tout en donnant une apparence purement ludique.

- Actuellement, le thème de l'air fait l'objet d'organisation de classes air avec différents partenaires.

- Enfin, des spectacles au cours desquels un scénario, dont le thème peut varier, est illustré par des réactions chimiques spectaculaires.

L'association fonctionne avec 5 ou 6 étudiants animateurs et une animatrice-formatrice responsable des projets. Le public concerné en 1997 a été de 5 900 participants dont 600 élèves de l'école maternelle, 3 532 élèves de l'école primaire, 591 élèves des collèges et 36 enseignants en formation. La part restante représente les divers publics adultes

Les moyens financiers qui permettent de gérer l'association proviennent essentiellement des prestations perçues pour les animations d'ateliers. Quelques aides sont reçues de la part du ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie, et de quelques industries chimiques. L'association bénéficie d'une situation privilégiée à l'université Pierre et Marie Curie qui met gracieusement un local à sa disposition.

Contact : J. Thibaut, Graine de Chimiste, Université Pierre et Marie Curie, boîte 67, 4, place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05. Tél./Fax : 01.44.27.30.71.

Chimie la Classe

Chimie la Classe est née d'une initiative prise par les directeurs communication de vingt-cinq entreprises de l'industrie chimique. Un cabinet de relations publiques, le GERCOM, a été créé pour suivre l'opération et en a assuré la totale mise en place depuis 1994 jusqu'à ce jour avec l'aide de la Société de Chimie Industrielle. Les chambres syndicales régionales des industries chimiques ont participé au développement de l'opération, au niveau local.

Partant du constat que la chimie est une science créative, capable de nourrir les hommes, de les soigner, d'améliorer leur qualité de vie tout en protégeant la nature, ils ont décidé de lancer un programme d'information visant à redonner à la chimie sa citoyenneté et, ainsi, de transmettre au public une image positive de la chimie. S'étant adressé à l'Association des Maires de France pour initier une action vers le grand public, il leur a été suggéré d'orienter cette initiative vers les enfants des écoles et tout particulièrement les élèves de CM1 et CM2, de leur faire découvrir la chimie de tous les jours et de les sensibiliser à la démarche scientifique et à la recherche. Le ministère de l'Éducation nationale, grâce à l'aide des rectorats et des inspecteurs de l'Éducation nationale a facilité l'accès aux écoles de France. Un kit pédagogique destiné aux enseignants souhaitant participer à cette action a été réalisé et largement distri-

bué dans les classes concernées. Ils trouvent dans ce document toutes les indications utiles pour mener à bien les séquences proposées.

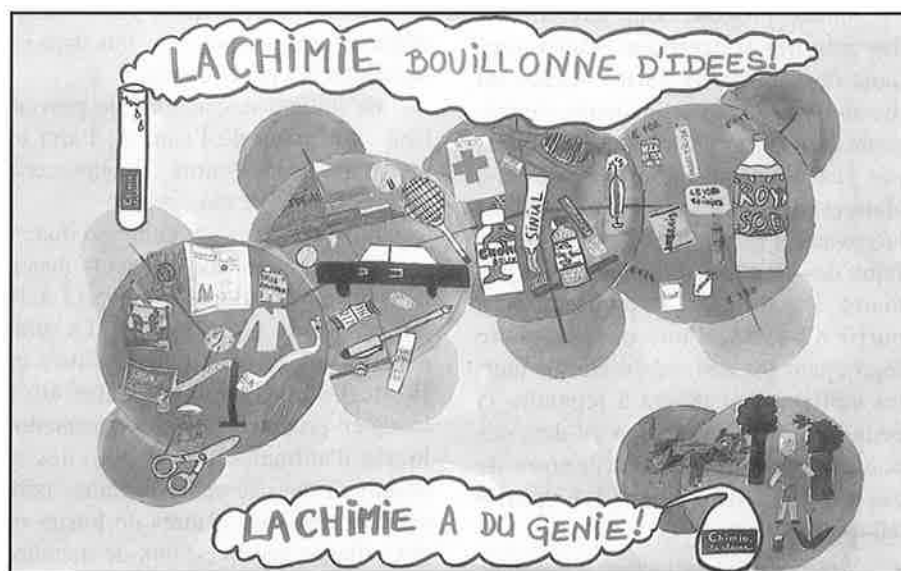
En 1994, ce sont des écoles de l'académie de Rouen (Eure et Seine Maritime) qui, les premières, ont participé à cette opération. Cette action de très grande envergure menée pendant 5 années scolaires consécutives, avec la participation des 25 entreprises de l'industrie chimique et un budget de 21 millions de francs, a concerné, cette année, les 36 000 communes de France, soit environ 60 000 classes et plus d'un million d'élèves de CM1 et CM2. Le *tableau II*, ci-après, présente les données concernant cette opération durant les cinq années scolaires 1994-1999.

Le kit pédagogique mis à la disposition des intervenants participant à cette action comporte une documentation permettant à l'instituteur d'organiser avec sa classe plusieurs séances de travail sur un mode à la fois ludique et didactique. Il comporte :

- Un livre du maître sur le thème La chimie dans notre univers quotidien

- Des fiches destinées aux élèves, portant sur les thèmes suivants : la chimie dans la maison, la chimie dans les loisirs, la chimie dans l'agriculture et l'alimentation, la chimie dans la nature inanimée, la chimie dans la nature animée, la chimie et l'environnement, la chimie et la santé.

- Deux posters pour la classe : la chimie dans notre environnement quotidien, la chimie et l'environnement



Poster réalisé par une classe dans le cadre de Chimie la Classe. DR.

Tableau II – La participation à Chimie la Classe de 1994 à 1999.

Année	Académie	Communes	Classes	Élèves	Classes récompensées
1994-1995	Rouen	1 421	1 500	38 850	10
1995-1996	Strasbourg, Besançon, Lyon, Grenoble	5 566	12 000	310 800	29
1996-1997	Lille, Marseille, Nice, Nancy-Metz	4 845	9 500	24 6050	22
1997-1998	Bordeaux, Créteil, Paris, Versailles, Amiens, Reims	7 807	15 347	422 204	53
1998-1999	Clermont-Ferrand, Dijon, Nantes, Caen, Rennes, Montpellier, Toulouse, Poitiers	16 560	17 200	370 000	(à venir)
Total	25 académies	36 199	56 547	1 387 904	

Les activités pédagogiques proposées invitent les élèves à une découverte active de la chimie par des observations, des enquêtes, des expériences, des recherches et des jeux. Chaque fiche comporte des observations, un certain nombre de pistes de recherche, des informations concernant le thème et des expériences, toujours très simples à réaliser et ne nécessitant aucune compétence préalable en chimie et aucun matériel de laboratoire. Les questions de sécurité et de pollution sont abordées tout au long de ces fiches et amènent les enfants à une prise de conscience des problèmes actuels concernant notre environnement. Par ailleurs, un questionnaire amusant « *inoffensif ou dangereux ?* » vient compléter les informations contenues dans les fiches.

Pour chaque classe, quatre thèmes sont abordés et la durée moyenne d'utilisation du kit est de plus de 5 heures. A l'issue du travail, les élèves sont appelés à s'exprimer en réalisant un poster collectif concrétisant ce qu'ils ont retenu. Un concours national du meilleur poster est organisé chaque année. Le jury est composé d'industriels de la chimie, de membres de l'Éducation nationale, de représentants des collectivités locales et de journalistes. Les lauréats (114 classes entre 1994 et 1998) se sont vu offrir un séjour découverte d'une semaine sur la péniche *Environnement en classe « sciences, vie et nature »*.

En s'adressant à des écoliers de 9 à 11 ans, les promoteurs de Chimie la Classe ont ciblé une période privilégiée du développement de l'enfant - le moment où il découvre les propriétés du monde qui l'entoure, l'analyse, l'observe et commence à expérimenter. Il

est mieux en mesure de répondre aux questions concernant la place de la chimie dans le monde qui l'entoure et son rôle dans la protection de l'environnement, autant de questions posées au citoyen de ce début de XXI^e siècle.

- Contact : G. Brugère, GERCOM, 89-93, avenue Paul Vaillant Couturier, 94250 Gentilly. Tél. : 01.49.08.58.68.

La Main à la Pâte

Cette opération est née d'une initiative de G. Charpak, revenu enthousiasmé des États Unis où il avait vu dans certaines écoles une opération de sensibilisation aux sciences physiques. Un livre collectif publié en 1996, *La Main à la Pâte* a marqué le démarrage de cette opération. En 1996-1997, le ministère de l'Éducation nationale a lancé l'opération dans 344 classes (60 écoles dans 5 départements). Trois académiciens, G. Charpak, Y. Quéré, P. Léna jouent un rôle de premier plan dans le développement de cette opération et mobilisent autour de ces actions, la communauté scientifique, les enseignants, la presse et les médias. Constatant que l'enseignement des sciences à l'école primaire est un enseignement obligatoire auquel tous les élèves ont droit et que des programmes existent, La Main à la Pâte s'inscrit dans cette logique et propose une méthodologie adaptable à toutes les rubriques du programme : une dynamique de production d'activités scientifiques et technologiques réalisables en classe. Un groupe national d'accompagnement a été mis en place par la direction des écoles pour assurer le suivi de l'opéra-

tion, aider les enseignants et les soutenir dans la réalisation d'activités scientifiques suivant la pédagogie proposée par La Main à la Pâte. Une aide logistique se matérialisant par la production de documents et un site Internet, une aide d'ordre pédagogique et didactique est également apportée par l'INRP et les IUFM. Les enseignants impliqués dans cette activité sont également souvent accompagnés par des scientifiques, chercheurs, étudiants des grandes écoles, formateurs des IUFM, membres de l'Inspection. En 1997 ont été créés les prix La Main à la Pâte, décernés sous l'égide de l'Académie des sciences, auxquels de très nombreuses écoles se sont portées candidates.

En 1997-1998, ce sont 21 départements, soit près de 3 000 classes, qui se sont engagés dans cette opération. Il n'a été prévu aucune extension de cette opération en 1998-1999, l'accent étant mis sur la consolidation. Ce seront donc, environ 100 000 enfants qui, cette année, seront concernés par l'opération La Main à la Pâte.

Le travail ne se conçoit pas indépendamment de l'univers familier de l'élève. Les activités, choisies parmi les thèmes proposés dans les programmes, doivent avoir des rapports avec les centres d'intérêt de l'élève, en référence avec son monde culturel. Autant que possible une sensibilisation des parents à ces activités est vivement souhaitée. Par conséquent, à l'intérieur des programmes recommandés dans les trois cycles de l'enseignement primaire, l'enseignant a toute latitude pour traiter un ou plusieurs thèmes, avec l'objectif d'initier l'élève à la démarche expérimentale au service d'une culture géné-

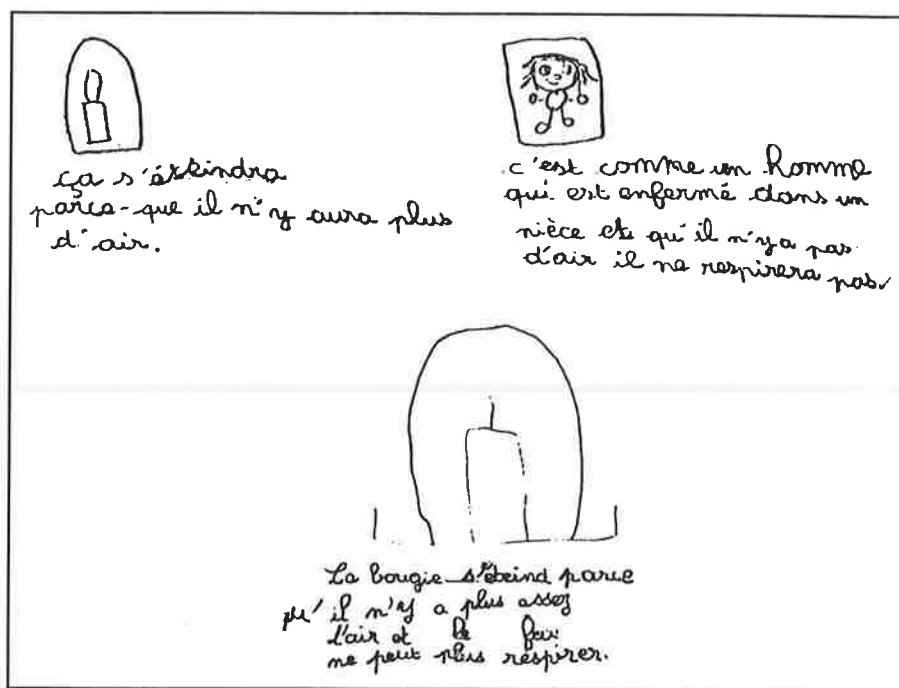
rale ouverte à la connaissance scientifique. Ces nouveaux programmes se caractérisent donc par un abandon des références disciplinaires, physique, chimie, biologie. Les thèmes proposés dans le cadre de La Main à la Pâte (fiches de documentation, documents publiés sur Internet) ne déterminent pas un contenu d'enseignement ; celui-ci demeure défini par les programmes en vigueur. Nous avons relevé des activités liées aux changements d'état, à l'eau, à l'air, à la notion de solution et de mélange ; la chimie est présente dans ces thèmes. Par ailleurs, dans d'autres thèmes liés à la physique (électricité, astronomie, magnétisme météorologie, mécanique) ou à la biologie (vie animale, corps humain, reproduction, vie végétale) des connaissances de chimie peuvent être abordées.

Quelle que soit l'activité proposée dans la classe, la méthode utilisée conduit à :

- **Observer et manipuler** le monde réel et non pas un monde abstrait simulé sur un ordinateur... ou même simplement décrit dans des documents écrits (livres et fiches), ou oraux (films). Grâce à l'expérimentation, l'élève se familiarise avec le monde qui l'entoure, acquiert des savoirs et du savoir-faire, effectue une première approche de la démarche scientifique, apprend à communiquer ses résultats, à dialoguer avec les autres.

- **Consigner le résultat de leurs observations** dans un cahier d'expérience. Ce cahier est le cahier personnel de l'enfant, dans lequel il décrit ses découvertes, ses hésitations et ses observations scientifiques. Il doit y intégrer des documents collectifs élaborés en classe ou distribués par le maître. C'est le témoin du cheminement de l'enfant qui doit gérer son cahier de manière autonome, avec ses mots. Ce recours à l'écrit conduit l'élève à préciser ce qu'il vient d'apprendre. Ce cahier est le point de départ d'autres questionnements, donc d'autres activités.

Le rôle du maître est fondamental ; c'est lui qui doit organiser la communication, guider l'action, favoriser le travail individuel et le travail en groupe, faciliter les discussions et organiser le débat, aider les élèves à expliciter leurs conceptions. Chemin faisant, il doit savoir laisser les élèves faire des erreurs



La combustion de la bougie. Avec l'aimable autorisation des éditions Aster (n°18, p. 109).

(ne pas confondre, erreur et faute !), puis, dans ce cas, les aider à vérifier par l'expérience que leurs conceptions ne sont pas exactes et trouver la solution. Dans la pédagogie préconisée par La Main à la Pâte, le cahier d'expériences concrétise le passage de l'observation à l'écriture ; le rôle du maître dans le suivi et la gestion de ces cahiers d'expériences est fondamental.

Dix principes ont été retenus comme constitutifs de la Main à la Pâte. Les six premiers caractérisent la démarche pédagogique, les suivants insistent sur le réseau apportant les aides nécessaires pour amorcer une action dans la classe. Nous les rapportons ici, en guise de conclusion.

- Les enfants observent un objet ou un phénomène du monde réel, proche et sensible et expérimentent sur lui.

- Au cours de leurs investigations, les enfants argumentent et raisonnent, mettent en commun et discutent leurs idées et leurs résultats, construisent leurs connaissances, une activité purement manuelle ne suffisant pas.

- Les activités proposées par le maître sont organisées en séquences en vue d'une progression des apprentissages. Elles relèvent des programmes et laissent une large part à l'autonomie des élèves.

- Un volume minimal de deux heures par semaine est consacré à un même

thème pendant plusieurs semaines. Une continuité des activités et des méthodes pédagogiques est assurée sur l'ensemble de la scolarité.

- Les enfants tiennent chacun un cahier d'expériences avec leurs mots à eux.

- L'objectif majeur est une appropriation progressive, par les élèves, de concepts scientifiques et de techniques opératoires, accompagnée d'une consolidation de l'expression écrite et orale.

- Les familles et/ou le quartier sont sollicités pour le travail réalisé en classe.

- Localement des partenaires scientifiques (universités, grandes écoles) accompagnent le travail de la classe en mettant leurs compétences à disposition.

- Localement, les IUFM mettent leur expérience pédagogique et didactique au service de l'enseignant.

- L'enseignant peut obtenir auprès du site Internet des modules à mettre en œuvre, des idées d'activités, des réponses à ses questions ; il peut aussi participer à un travail coopératif en collaborant avec ses collègues, des formateurs, des scientifiques.

Le lecteur trouvera dans le *Bulletin de l'Union des Physiciens* n° 806, juillet, août, septembre 98) beaucoup d'informations sur les aspects pédagogiques et didactiques de cette opération.

- Contact : Site Internet : <http://www.inrp.fr/Lamap>

Insertion professionnelle. Se préparer à l'emploi : Pourquoi ? Comment ?

Michelle Delporte* secrétaire section Nord du GFP, correspondant SUAIO pour la chimie

Tout le monde est conscient des problèmes liés à la situation de l'emploi. Si l'on regarde les chiffres de l'Apec, 6 % des inscrits sont de niveau bac + 6 ou 7. La recherche d'emploi dure en moyenne 5 mois malgré une bonne mobilité des candidats puisque 60 % trouvent un travail dans une région différente de celle où ils ont obtenu leur diplôme (*Courrier Cadres*, nov 98).

En général, les jeunes diplômés ont une connaissance des premières étapes du recrutement (CV, lettre de candidature). C'est l'entretien qui ouvre les portes de la vie professionnelle et les points faibles se situent davantage à ce niveau. Qu'est-ce qu'un entretien ? : une rencontre avec l'entreprise, au cours de laquelle le recruteur cherchera à vérifier la bonne adéquation entre le candidat et le poste. La stratégie du candidat consiste à prouver qu'il présente les caractéristiques souhaitées tant au point de vue savoir, savoir-faire et savoir être. A niveau de diplôme équivalent, chaque candidat est différent. Les expériences professionnelles, la culture personnelle, les centres d'intérêt, l'élocution, c'est ce qui décidera le recruteur à engager un candidat plutôt qu'un autre.

Tout entretien nécessite une préparation sérieuse :

- **Établir un projet personnel** et pouvoir l'explicitier en le recentrant dans le cadre du poste proposé et de l'activité de l'entreprise

- **Rechercher un maximum d'informations** concernant l'entreprise, le poste pour se sentir à l'aise au

cours de la discussion, être en phase avec l'interlocuteur et capable d'intervenir en posant les questions pertinentes au bon moment. Un certain nombre de recruteurs reconnaissent qu'ils éliminent les candidats qui manquent d'intérêt, ceci étant manifesté par l'absence de questions.

- **Apprendre à parler de soi** dans une présentation globale incluant la formation, les expériences professionnelles, les traits de personnalité. Il est important de connaître ses caractéristiques, ses compétences, ses points forts et pouvoir les étayer avec des faits concrets tirés des stages ou des loisirs. Il est également intéressant, au niveau de l'entretien, de mettre en avant les valeurs personnelles qui peuvent être un atout professionnel.

Tout ceci ne s'improvise pas. La recherche d'emploi exige maintenant un travail préparatoire important. Une bonne information augmente sérieusement les chances. Le rôle de l'enseignant ne s'arrête peut-être plus à la délivrance du diplôme. Actuellement, il faut également apprendre à nos doctorants à réussir leur entrée dans la vie professionnelle. A l'université de Lille 1, un certain nombre de moyens et de structures existent déjà :

Les sessions de techniques de recherche d'emploi organisées par le SUAIO (service Universitaire d'Accueil, d'Information et d'Orientation). L'objectif est d'apprendre à argumenter un projet professionnel, de travailler les techniques de recherche d'emploi, de rencontrer des recruteurs industriels ou cabinets de recrutement. Ces sessions proposent également un travail sur le bilan personnel (savoir, savoir-faire, savoir être), et une visite du centre de

ressources documentaires de l'université pour trouver l'information dans les annuaires d'entreprises, rapports d'activité, fiches métiers, fiches fonction, ouvrages, articles de presse, etc.

Les simulations d'entretien organisées par le Relais Malakoff (association loi de 1901). A Lille, une centaine d'entretiens ont été réalisés en 97/98. Lors des bilans, les partenaires du relais situent les problèmes au niveau de la mise en valeur de la candidature et d'une méconnaissance importante de la vie industrielle.

Les "*Doctoriales*" pilotées par l'association Bernard Grégory et le SUAIO sont une initiative d'adaptation des docteurs aux entreprises. Le programme comporte des études de gestion de projet, de gestion de l'innovation, de la connaissance des fonctions de l'entreprise, ainsi que la connaissance des carrières.

Deux séminaires ont eu lieu en 1998 avec chaque fois une soixantaine de participants en 2e année de thèse.

L'accroissement important du nombre de doctorants fait que nous assistons à une demande de plus en plus importante de ce public. Le problème se pose au niveau de l'augmentation des moyens essentiellement en terme de personnes pour l'encadrement. Il serait important de réfléchir rapidement aux possibilités d'intéresser davantage d'enseignants à ce type d'activités, ce qui donnerait des possibilités de poursuivre et de développer ces actions.

* Laboratoire de chimie macromoléculaire Université des Sciences et Technologies de Lille 59655 Villeneuve d'Ascq cedex

Histoire de la chimie dans la civilisation arabo-musulmane

Mohab-Eddine Brik* chercheur

Summary : *History of chemistry in Arabo-muslim civilisation*

Al-kimya is the Arabic name given to a pseudo-science which concerns attempts to transform base metals to gold or silver. This scientific and metaphysic discipline is in relationship with metallurgy procedures, perfume distillation techniques as well as esoterism, spirit and cosmos. However, the alchemy experiments using philosopher's stone to transmute metals, has paradoxically and for the great happiness of scientists the development of metallurgy. Many chemical reacts with a great importance have been prepared like sulphuric acid, nitric acid, chloride acid, regale water and so on. The works of Arabic scientists like Jabir and Razi (known in west as Geber and Rhazes), have contributed to the development of this discipline and influenced a generation of Muslim and after, European chemists. Some of them are genuine charlatans and other are serious scientists. For many centuries the history of alchemy has been also the history of chemistry.

Mots clés : *Histoire, alchimie, chimie, civilisation, islam, arabe.*

Key-words : *History, alchemy, chemistry, civilisation, islam, arabic.*

Alcool, alcali, savon, arsenic, safran, sucre, sirop, tutie, élixir, naphta, antimoine, attar, natron, soda, borax, kermès, anil, alambic, alchimie, etc., ces mots si familiers et si utilisés dans la littérature chimique moderne sont de source et d'origine arabe. Mais alors quels sont les apports et les contributions de la pensée arabo-musulmane dans le développement de cette science ? Pour répondre à cette question et remonter à la source philologique de ces mots, il serait nécessaire de rappeler brièvement la chronologie historique qui a permis à cette science de devenir ce qu'elle est maintenant.

Durant la période anté-islamique, les Arabes vivaient dans un environnement tribal, confrontés à des luttes quotidiennes, tantôt à la recherche de l'herbe et de l'eau, tantôt à la poursuite d'une vengeance ancestrale. Cette situation a créé une instabilité dans la vie sociale et surtout une indifférence vis-à-vis des sciences. Les Arabes négligèrent la philosophie et se désintéressèrent des problèmes du cosmos et de l'univers. Leurs connaissances scientifiques reposaient essentiellement sur les traditions et les expériences coutumières. En

médecine, ils utilisèrent les herbes, certaines plantes sauvages ainsi que la magie et la sorcellerie. En astronomie, ils savaient déjà reconnaître certaines étoiles, déterminer leurs positions et prédire les changements climatiques. Ce pseudo-savoir, plutôt astrologique, les a conduits à adorer le Soleil, la Lune et bien d'autres divinités anciennes.

Quant à la chimie, elle était quasiment inexistante pour des raisons diverses, liées surtout au climat et à l'environnement hostile. En effet, les terres arabes étaient désertiques, dépourvues d'eau et de végétation, ce qui excluait d'emblée le développement d'une science expérimentale comme la chimie. L'apparition de l'Islam en 610 a complètement bouleversé les données sociologiques et créé une dynamique nouvelle. A la mort du prophète Mahomet en 632, une tâche importante

fut accomplie non seulement au niveau de la propagation du message divin mais au niveau de l'unification des tribus arabes en une nation homogène et puissante. En même temps, la Perse, l'Asie mineure, la Syrie, la Palestine, l'Égypte, le Maghreb et l'Espagne furent soumis à l'état musulman. En abolissant les barrières et en réunissant sous une même religion, et une même langue littéraire et scientifique toutes les civilisations d'un vaste espace allant des frontières de la Chine à l'Atlantique, l'Islam eut une influence unique dans l'histoire de l'humanité. En effet, ces territoires étaient le berceau de civilisations anciennes très raffinées. Les Arabes assimilèrent rapidement la culture et le savoir des nations et des peuples conquis. La nationalité musulmane a pris le dessus et le terme arabe a acquis un sens linguistique plutôt qu'un

* Cet article est extrait de la conférence plénière donnée à l'occasion des 20^e Journées de la Société Tunisienne de Chimie (7-9 novembre 1998, Mahdia, Tunisie).

* Laboratoire de chimie structurale organique, bât. 410, CNRS, URA 1384, université Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex.
Tél. : 01.69.15.70.17. Fax : 01.69.15.81.05.
E-mail : habbrick@icmo.u-psud.

sens strictement ethnologique. Aussitôt, l'état islamique instauré et ses bases consolidés, les Arabes encouragèrent, l'écriture et la lecture. Des écoles, des librairies et des hôpitaux furent construits à travers tout l'empire musulman. Ainsi, les Arabes s'adonnèrent à la pratique des mathématiques, de la philosophie, de l'astronomie, de la médecine, de la pharmacie et de la chimie. En même temps, les savants et les érudits furent invités dans les cités musulmanes sans distinction de nationalité ni de race. Les manuscrits grecs sont recherchés, traduits, étudiés et commentés. Des villes comme Bagdad et Damas devinrent des centres intellectuels par excellence dans le monde, détrônant ainsi les villes d'Alexandrie en Égypte et de Djundishapour et Edessa en Asie mineure. Partant du connu à l'inconnu, décrivant avec précision les phénomènes, ne jamais accepter comme vérité ce qui n'a pas été vérifié par l'expérience, tels étaient les principes fondamentaux défendus et revendiqués par les maîtres de la science arabo-musulmane.

Traduction et assimilation du savoir ancien

L'arabe étant la langue du Coran, elle est devenue la langue de la vie quotidienne de ces peuples de Bagdad à Cordoue remplaçant ainsi l'araméen, le copte, le grec et le latin. Prétextant l'impossibilité pour une civilisation de s'épanouir si les sciences devraient être étudiées dans une langue connue seulement de quelques savants, les califes musulmans encouragèrent la traduction de la science des Grecs, de l'Inde, du Proche Orient et en ont fait l'élément moteur de leurs politiques. Trois califes abbassides se sont illustrés en respectant et en accordant aux sciences une place importante dans la vie sociale musulmane :

- Le calife al-Mansur (754-775) fondateur de la ville de Bagdad et réorganisateur de l'administration de la cité musulmane.
- Le légendaire calife Harun-al-Rashid (766-809) contemporain de Charlemagne (742-814), roi des Francs. Il fut également le fondateur de l'une des plus importantes bibliothèques du

monde musulman, la bibliothèque de la sagesse (*Khizanat-al-hikma*).

- Enfin al-Ma'mun (813-833), le fondateur de la maison de la sagesse (*Bayt-al-hikma*), une sorte d'académie des sciences à l'image de celles inaugurées en Europe à la fin du XVIII^e siècle.

Les trois encouragèrent le travail des traducteurs qui, avec un zèle sans égal, ont mis à nu les trésors du savoir grec. Avec la traduction des sciences en arabe, la barrière culturelle entre les savants et les peuples fut abolie, le savoir devint à la portée de tous et la langue arabe à son tour s'enrichit de nouveaux termes empruntés à d'autres langues. Parmi les chefs de file des traducteurs, Huna'in ibn Ishaq (mort en 808), un chrétien nestorien connaissant plusieurs cultures et maîtrisant parfaitement le grec, le perse et l'assyrien. Nommé maître (*cheikh*) à la maison de la sagesse, par le calife al Ma'mun, il passa son temps à voyager en quête de manuscrits anciens. Dans ce domaine, on lui doit surtout la traduction des livres d'Euclide en mathématiques et ceux d'Archimède, d'Appolonius, ainsi que les écrits d'Aristote. Sa traduction est caractérisée par un respect inégalé du sens linguistique et une fidélité vis-à-vis du contenu exact des textes. D'autres traducteurs se sont illustrés dans ce domaine, comme Yahia ibn Ouda et surtout Thabit ibn Qura à qui on doit la traduction de la célèbre composition mathématique *Almageste* (*al-Majisti*) de Ptolémée.

Origine et source d'al-kimya arabe

L'origine du mot *kimya* est très controversée, et la plupart des hypothèses avancées sont plus ou moins convaincantes. Pour certains, le mot a une origine égyptienne *kamé* qui veut dire noir. Le mot grec *cheo* indique deux choses : Égypte est la terre noir et l'alchimie est la science des Égyptiens. Le noir, indique la façon dont est faite la transmutation, autrement dit, l'art de traiter le métal noir pour produire des métaux précieux. Pour d'autres, le mot *chem* pourrait provenir du grec *chemeia* qui veut dire fusion, c'est-à-dire l'art de faire fondre l'or et l'argent. Des textes byzantins indiquent que l'empereur

byzantin Dioclétien (245-313) ordonna en 290 la destruction des livres égyptiens en relation avec la *chemeia*, c'est-à-dire en relation avec la fusion de l'or et de l'argent. Dans son livre « Les clés de la science » (*kitab mafatih al ouloum*), Abu Abdallah Mohamed al Katib al Khawarizmi (auteur arabe mort en 976), défendait la source arabe du mot *kimya*. En effet, le mot provient du verbe arabe *kama*, *akma* ou *yakmi* et qui veut dire cacher ou rendre secret. Le mot évolua vers *al-kimya* après addition du préfixe *al* par les Arabes, et enfin le chimiste Irlandais Robert Boyle (1627-1691) introduisit le mot « chemistry » pour désigner la chimie moderne et la différencier ainsi de l'alchimie c'est-à-dire *al-kimya*.

La date exacte de la naissance de l'alchimie est inconnue. Les plus anciens écrits alchimiques connus actuellement datent du III^e et IV^e siècle. Cependant, tous les historiens de la chimie s'accordent à dire que la chimie est originaire d'Alexandrie en Égypte et a comme source culturelle la civilisation hellénistique. En effet, Alexandrie était à cette époque le centre intellectuel par excellence dans le monde. Il se peut que la chimie soit née d'un mariage tripartite entre la philosophie grecque, le savoir égyptien et le mysticisme religieux des peuples du Moyen-Orient, y compris l'influence chinoise basée sur le *Taosim* et qui entend comprendre la voie de la nature (Tao « moyen » ou « voie »).

Les Musulmans apparaissent dans l'histoire au VII^e siècle ; en même temps, l'alchimie a pris le pas dans la pensée arabo-musulmane. Juste après, le premier contact a eu lieu dans la ville d'Alexandrie en Égypte où les traditions alchimiques existaient déjà quelques siècles avant J.-C. L'alchimie musulmane a pris sa source dans les écrits grecs et le nombre de mots utilisés par les Arabes atteste cette affiliation. La transmission a eu lieu en partie grâce aux contacts avec les traducteurs chrétiens, nestoriens et perses. L'influence perse se manifesta surtout dans le domaine linguistique à travers l'abondance des mots techniques que recèlent la littérature alchimique arabe. Cela laisse entendre, sans doute, que le canal perse est à l'origine de l'aboutissement de l'alchimie en Islam et il n'est

pas alors étonnant de remarquer qu'un grand nombre d'alchimistes éminents soient d'origine persane. Cette similitude dans les pratiques laisse penser que les trois écoles ont une même et unique source. Ainsi, Pythagore, le philosophe grec, est souvent mentionné dans les écrits arabes. Al Jildaki parle de lui comme le premier maître (*mu'allim al-awwal*) parce qu'il a acquis la science des textes hermétiques. Jabir le considère comme un auteur alchimique et parle de *Ta'ifat Fthaghurus*, une école pythagoricienne, ainsi que du livre des ajustements (*Kitab almu'sahhat*). Al Tughra'i le mentionna plusieurs fois et se référa à son traité sur « les nombres naturels ». Des fragments de texte, qui lui sont attribués, pourraient provenir aussi de Turba Philosophorum [1].

Jadis, le mot arabe *al-kimya* était utilisé pour désigner à la fois l'alchimie et la chimie. Les travaux des savants arabes contribuèrent au développement de la chimie moderne et exercèrent une influence dominante sur des générations de Musulmans et par la suite d'Européens. Leurs disciples furent nombreux, certains étaient de véritables charlatans, d'autres des scientifiques sérieux. Les travaux arabes en alchimie décrivant les procédés et le matériel utilisés dans *al-kimya* sont nombreux. Entre le VIII^e et le XII^e siècle, le niveau des connaissances précises des substances chimiques et de l'équipement était tel que l'on peut, désormais, associer légitimement la chimie expérimentale aux Arabes. Parmi les grands noms de cette discipline on distingue :

- **Khaled ben Yazid ben Mu'awiya** (635-704 ap. J.-C.). Il fut le premier prince musulman à s'intéresser à l'alchimie après avoir été écarté du califat par son oncle Merwan ibn al hakim. Il a reçu sa formation du prêtre alexandrin Marianus. Ses expériences avaient pour objectif la préparation de l'élixir et la transmutation des métaux. Ses écrits furent nombreux mais la plupart obscurs, mystiques et allégoriques [2].

- **Ja'fir as sadek** (700-766 ap. J.-C.). Ce fut un théologien et un excellent professeur. Parmi ses élèves, le grand Jabir ibn Hayyan connu en occident sous le pseudonyme Geber. Grâce à lui, l'alchimie a pu retrouver une place honorable parmi les sciences en vogue à cette époque [2]. En effet, à cause de

sa relation avec la sorcellerie et la magie, l'alchimie était considérée comme une science occulte. Elle était située dans les basses catégories des sciences de l'époque et indigne des grands savants.

- **Jabir ibn Hayyan** (730-810 ap. J.-C.). Grand chimiste musulman, connu en Occident sous le nom de **Geber**, est l'un des chefs de file de l'alchimie arabe. Son vrai nom est Abu Musa Jabir ibn Hayyan al-azadi. Il est l'auteur de beaucoup d'écrits dont la majorité est encore sous forme de manuscrits non traduits ni étudiés. Il était déjà connu des alchimistes du Moyen Age, grâce à la traduction en latin de son livre *Summa Perfectionis* (*Kitab al-Khalis*) [3] mais c'est au chimiste français Marcelin Berthelot (1826-1907) qui, lors d'un voyage en Égypte en 1869 pour l'inauguration du canal de Suez, s'est intéressé à l'histoire de la chimie arabe. Dès son retour, il publia plusieurs textes arabes avec leurs traductions dans un livre monumental « La chimie au moyen âge » [4-5]. Son jugement envers Jabir fut à la fois sévère, en le décrivant comme mystique et allégorique, et en même temps, flatteur en affirmant que Jabir est pour la chimie ce qu'Aristote est pour la logique. Cependant, d'autres traités non encore traduits le montrent rationnel et nous y trouvons d'excellentes méthodes de recherche chimique. Depuis les travaux de Julius Ruska [2], E. J. Holmyard [6] et Paul Krauss [7], les œuvres et écrits de Jabir sont mieux connus et étudiés.

Sa théorie sur la formation géologique des métaux, connue sous le nom de la théorie du soufre/mercure, est un exemple de cette démarche scientifique. Son principe stipule que les six métaux (or, argent, plomb, fer, cuivre, étain), déjà connus des alchimistes, diffèrent essentiellement par la différence de leurs contenus en soufre et mercure. Jabir admet la théorie aristotélicienne concernant la composition de la matière en terre, air, eau et feu, mais il la développa suivant différentes voies en essayant surtout de la corriger et enfin de la compléter. Une de ses importantes contributions à la théorie chimique fut sans doute son point de vue sur la formation des métaux. Pour comprendre proprement ses conceptions, il est inté-

ressant de revenir sur les écrits d'Aristote dont le contenu sur la philosophie de la nature est universellement accepté dans ses principes fondamentaux par la majorité des savants musulmans.

En effet, la philosophie grecque a toujours essayé d'expliquer la nature physique du monde uniquement par des spéculations théoriques et sans vérification expérimentale. Pourtant, le rejet permanent des grecs pour le travail manuel exclut tout effort de recherche pour expliquer les faits scientifiques. Malgré tout, ces théories restèrent la base de toutes les recherches scientifiques jusqu'à l'émergence de la civilisation arabo-musulmane. Selon Aristote, l'existence de la « première matière » est à la base de la formation de toute substance du monde terrestre. Sur cette première matière, une variété de forme pourrait être édiflée. L'interaction de la matière et de la forme donne lieu aux quatre éléments, feu, air, eau et terre, qui à leur tour et à travers une variété de combinaisons produisent tout les objets matériels. En un sens, ces éléments représentent ce qu'on peut considérer aujourd'hui comme les propriétés physiques. Une prépondérance de la terre dans un corps donne naissance à un solide. L'eau tend à produire les liquides en substances susceptibles d'être fondues, alors que l'air représente les principes de la combustion. Le changement dans les proportions de ces éléments entraîne un changement dans la forme de la première matière et ainsi de suite. Dans cette théorie, n'importe quelle substance pourrait être changée en une autre substance si les conditions nécessaires sont réunies.

Ainsi, quand deux des quatre qualités de la matière sont mélangées ensemble avec une substance, il forment un composé du premier degré, c'est-à-dire un élément selon les équations suivantes :

Feu = chaleur + sécheresse + substance

Air = chaleur + humidité + substance

Eau = frigidité + humidité + substance

Terre = frigidité + sécheresse + substance

Jabir modifia les idées aristotéliciennes des quatre éléments en supposant que les métaux sont composés de

deux constituants intermédiaires : le soufre et le mercure. Bien que ceux-ci soient à leur tour formés par les substances actuelles dont les propriétés sont parfaitement bien connues, et représentent les principes de base de la combustibilité et de la liquidité qui rendent possible la combustion et la fusion.

Selon cette nouvelle théorie, les exhalations emprisonnées dans le cœur de la terre ne se transforment pas immédiatement en minéraux et métaux mais subissent une conversion intermédiaire. La sécheresse est convertie en soufre alors que l'humidité est convertie en mercure, et ce n'est seulement qu'à partir de la combinaison du soufre et du mercure que les métaux se forment. La raison pour laquelle différents métaux existent, résulte souvent de l'impureté du soufre et du mercure et de leurs combinaisons dans des proportions inégales. Par contre, s'ils sont purs, alors ils se combineront dans un équilibre naturel. Le produit ainsi formé n'est autre que l'un des métaux les plus parfaits, à savoir l'or. Quelques défauts ou impuretés donneraient la formation de l'argent, du plomb, de l'étain, du fer, du cuivre. Comme tous les métaux sont essentiellement composés des mêmes constituants que l'or, les accidents dus à la combinaison pourraient être éliminés par un traitement adéquat. De tels traitements sont l'objectif de l'alchimie. Bien sûr, cette théorie nous paraît aujourd'hui absurde à l'image de la théorie du phlogistique de Georg Ernst Stahl (1660-1734) au XVII^e siècle, mais il faut se rendre compte que le niveau des connaissances chimiques de l'époque laisse prévaloir de telles considérations. En effet, la chimie venait juste de passer des spéculations dialectiques aux applications expérimentales. Ainsi, l'idée de la transmutation des métaux a le mérite de provoquer d'incessantes expériences, mais malheureusement les alchimistes ont tendance à trop exagérer leur théorie. De plus, à Alexandrie, les croyances mystiques concernant la gnose, le néoplatonisme et le mysticisme religieux ont eu un effet néfaste sur les sciences expérimentales, l'alchimie devient ainsi de moins en moins une matière de recherche expérimentale et de plus en plus un sujet obscur où les spéculations et les pratiques superstitieuses prenaient

souvent le dessus. En apportant quelques modifications à la théorie aristotélicienne, de façon à la rendre moins imprécise, la nouvelle théorie suggérée par Jabir a survécu et cela jusqu'au début de l'émergence de la chimie moderne au XVIII^e siècle

Pourtant les applications pratiques ne sont pas pour autant négligées ; Jabir décrit les processus de fabrication de l'acier et de purification de certains métaux. Il prépara des teintures pour les vêtements et le cuir. Il utilisa le vernis pour protéger le fer et rendre imperméables les vêtements. Il donna le secret pour la préparation d'une encre lumineuse pour l'écriture des manuscrits en or (marcassite). Il savait concentrer l'acide acétique par distillation du vinaigre et d'autres substances organiques.

On doit à Jabir la préparation de diverses substances comme le carbo-

nate de plomb, l'arsenic et l'antimoine à partir de leurs sulfures, ainsi que l'utilisation du dioxyde de manganèse dans la fabrication du verre.

• **Abu Bakr Mohammed ibn Zakariyya al Razi** (864-933 ap. J.-C.). Presque un siècle s'écoula après la mort de Jabir avant qu'un digne successeur ne vît le jour. Il s'agit du chimiste, physicien et médecin Abu Bakr Mohammed ibn Zakariyya al Razi (connu en Occident sous le nom de **Rhazès**). Razi est né en 864 à Raghā, une ville située sur la côte de la mer Caspienne. Dans sa jeunesse, il s'intéressa à la musique, la littérature, la philosophie, la magie et l'alchimie. Après sa première visite à Bagdad, à l'âge de 30 ans, il s'intéressa sérieusement à l'étude de la médecine sous la direction d'un grand médecin juif (Ali ibn Sahl) converti à l'islam et appartenant à la fameuse école du tabaristan. Razi a

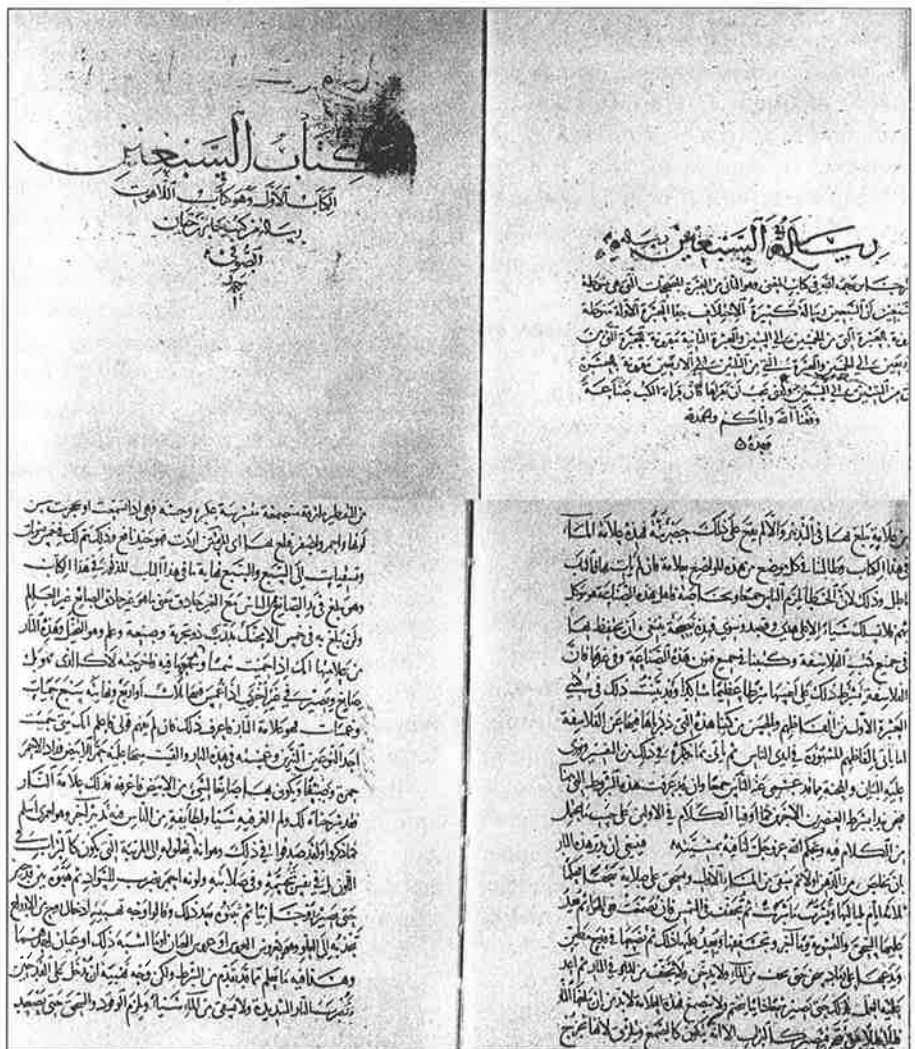


Figure 1 - Manuscrit « Livre des soixante dix » (kitab assab'in) de Jabir datant du VIII^e siècle (bibliothèque de l'Institut du Monde Arabe à Paris).

montré une connaissance du sujet telle qu'il a rapidement surpassé son maître en écrivant une centaine de livres de médecine. Il a également composé 33 traités sur les sciences naturelles, les mathématiques, l'astronomie et plus de 45 en philosophie, logique et théologie [8]. Avec le livre des secrets, il atteint le sommet de son art. Razi est d'une importance exceptionnelle dans l'histoire de la chimie. Dans ses livres, il a été fait mention pour la première fois de la classification systématique des faits observés et vérifiés concernant les substances chimiques et les réactions. Les appareils sont décrits soigneusement et dépourvus de mystère et d'ambiguïté. La classification des substances chimiques est faite selon un schéma précis. En effet, Razi devint célèbre en chimie grâce à son manuscrit le livre des secrets (*kitab al-asrar*) [9] dont le succès fut prodigieux. Traduit et étudié minutieusement en Occident, il exerça une influence considérable sur le développement de la chimie. Ce livre est divisé en deux parties : dans la première, il donna la classification des substances utilisées dans ses expériences ; et, dans la seconde, il décrit l'équipement utilisé pour la fusion et servant à divers procédés de chauffage et de traitement des substances chimiques (*tadbîr*).

Les substances sont divisées en quatre classes :

1. Les substances terrestres (*al aqqr al tourabiyya*) : ce sont des substances minérales, divisées à leur tour en six catégories.

a- Les esprits (*al arwah*) : mercure, ammoniac, sulfate d'arsenic, soufre.

b- Les corps (*al ajsad*) : l'or, l'argent, le cuivre, le fer, l'étain, le plomb.

c- Les pierres (*al ahjar*) : la pyrite ou disulfure de fer (*marqashita*,) ; oxyde de fer (*dawhi*) ; oxyde de zinc (*tutia*) ; azurite ou carbonate de cuivre basique de couleur bleu (*Azourd*) ; malachite ou carbonate de cuivre basique de couleur marron foncée (*dahin tij*) ; turquoise, hématite, oxyde d'arsenic (*bayad al zarnikh*) ; sulfure de plomb (*kohl*) ; mica, asbestos (amiante), gypse (*al gypse*), verre (*al zoudjaj*).

d- Les vitriols (*al-zajat*) sont des sulfates comme : sulfate de zinc (*qalqadis*), sulfate de fer (*qalqand*), jaune

(*qulqutar*), rouge (*sawri*), sulfate d'aluminium et de potassium ou aluns (*al shubub*), acide sulfurique connu sous le nom d'huile de vitriol (*zayt al zaj*).

e- Borax (*al bawariq*).

f- Les sels (*al amlah*), chlorure de sodium (*milh al houlouw ou milh al ta'am*), chlorure de potassium (*milh al balout*), sulfate de magnésium (*milh al mor*), sulfate de sodium (*milh as 'sakh-ri*).

2. Substances végétales.

3. Substances animales : cheveux, cerveau, sang, lait, urine, corne, œuf, coquille.

A ces substances naturelles, nous ajoutons un nombre de composés artificiels préparés *al razl* : litharge ou oxyde de plomb, vert-de-fris, oxyde de cuivre, oxyde de zinc, cinabre, soude caustique et d'autres alliages.

Razi ordonna également une liste d'appareils utilisés en chimie. Elle est divisée en deux classes :

- I) Matériel de fusion et de calcination : fourneau de forgeron (*kour*), soufflet (*minfakh ou ziqq*), creuset (*Botaqah*), vases à filtration (*but-barbut*), louche (*Milaqah*), tenailles (*Masik*), cisailles (*muqâti*), marteau (*Mokassir*), lime (*mibrad*), moule en fer semi-cylindrique (*rât*).

- II) Matériels et appareils utilisés dans les procédés alchimiques (*tadâbîr*) : cucurbite (*qar*), alambic (*ambiq*), vase réceptacle (*qabilah*), aludel (*othâl*), cornue (*aqdah, qadâh*), cristallisateur de verre (*kizân, kouz*), flacons (*qinnâna*), fioles (*qawârîr*), fiole d'eau de rose (*ma'wardiyyah*), chaudron dans lequel les substances sont dissoutes (*bar-niyâh*), vaisselles de faïence (*qudour*) à couvercle (*mikabbât*), grand four (*tannour*), petite étuve (*mawqid*), réchaud (*kanoun*), mortier (*mihras*), pilon (*nissâb*), casserole en fer (*miqlât*), tamis (*minkhal*), filtre (*Râwouq*), filtre fait d'une cuvette (*kouz*).

Il est intéressant de faire remarquer que la liste est exhaustive, mais Razi compléta le sujet en donnant des détails sur les métaux servant à fabriquer les appareils et, en général, il a fourni les mêmes informations qu'on peut trouver de nos jours dans les manuels de laboratoire. La préparation de la soude caustique en est un exemple représentatif de la qualité et la fiabilité de la description. Selon Razi (extrait du livre

d'Ahmad Y. al-Hassan et de Donald R. Hill) [10] :

Prenez un mann (1 kg environ) d'alcali blanc et une quantité égale de chaux, et versez dessus (c'est-à-dire sur le mélange) sept fois sa quantité en eau et faites bouillir jusqu'à ce qu'il soit réduit de moitié. Purifiez-le (par filtration ou décantation) dix fois. Placez-le ensuite dans des fines coupes d'évaporation (kizâm) puis accrochez-les dans des vases à bec (chauffés). Remettez ce qui s'en sépare (dans la coupe), soulevez-la progressivement et mettez à l'abri de la poussière tout ce qui s'égoutte des cuvettes dans les vases à bec, et coagulez-le en sel.

Le (*natroune*) est le nom arabe utilisé pour désigner le sodium. Le passage de ce mot en Europe, s'est traduit par natron (anglais, allemand et français). Selon M. R. Feldman [11], les Allemands désignaient la soude caustique par natronlauge (natronlye). Le chimiste L. W. Gilbert, professeur à l'université de Halle et Leipzig, proposa le nom natronium pour l'élément sodium. Berzelius réduira le nom pour devenir enfin natrium et donna le symbole Na à l'élément sodium 23, universellement adopté par les chimistes.

• **Al Kindi** (801-865 ap. J.-C.). Abu Youssef ben sabbah al Kindi est né à Kouffa. Il étudia la philosophie, l'astronomie, la musique et la chimie à Bagdad, où il rédigea 4 manuscrits dont : « Le livre sur la variété des diamants » (*anwa'a al jawahir*) et « Le livre sur la variété des épées et du fer » (*anwa'a al souyouf wa al hadid*). Cependant, le plus important et le plus intéressant fut sans doute le livre de la chimie des parfums et de la distillation (*kitab kimya al-itr wa tas'idat*) [12]. Son contenu est une description des techniques de distillation avec un style jamais égalé. En effet, la distillation était un procédé classique dans la chimie arabe et tout les historiens s'accordent à dire que cette technique est une invention arabe. Dans ce domaine, Al-Kindi est passé maître en la matière. Il a décrit un ensemble de matériels et de procédés utilisés pour la distillation de l'alcool, l'eau de rose, le vin, l'extraction des huiles des graines de coton, de la moutarde, etc.

Le traité d'al Kindi contient 107 méthodes et recettes destinées spéciale-

ment à l'usage des fabricants. L'industrie du parfum devint alors une véritable spécialité dans les cités musulmanes de Damas à Cordoue. Quant au manuscrit « le livre de mise en garde contre les arnaques des chimistes » (*kitab a tanbih ilya khida'a al kimyia iyin*), al Kindi essaya d'assainir la chimie du mensonge et de l'imposture de la part de certains chimistes peu scrupuleux.

• **Al Maj'riti** (950-1007 ap. J.-C.). Il a vécu à Cordoue sous le règne du calife al-Hakim II (961-976). Son nom est Maslama ben Ahmad connu sous le nom d'Al Maj'riti du nom de la ville de Madrid où il est né. Il a appris la science en Orient où il étudia et commenta les écrits des frères de la pureté (*Ikhwan al safa*). Il était connu surtout comme mathématicien car il a entièrement révisé les tables d'astronomie perse. En chimie, il a accompli un travail important, consigné dans deux livres : « La classe du savant » (*Rutbat' al-Hakim*) et « Le but du savant » (*Ghayat al-Hakim*). Le dernier a été traduit en espagnol en 1252 sur ordre d'Alphonse X, dit le sage ou le savant, roi de Castille (1252 à 1284). Le manuscrit est devenu par la suite très populaire en latin sous le nom de Picatrix [136].

• **Abu al Mansour al Mouwafik** (vers 1000 ap. J.-C.). Selon George Sarton (*Introduction à l'histoire de la chimie*) [14] et E. J. Holmyard (*Makers of chemistry*) [15], Abu al Mansour al Mouwafik est probablement l'un des chimistes arabes les plus rigoureux dans ses expériences et les plus minutieux dans ses écrits. Son manuscrit « Le livre des remèdes » (*Al abnia fi haqaiq al adwiya*) [16] est une belle illustration de son savoir-faire en chimie. Il décrit une variété de plantes et donna différentes méthodes d'extraction de médicaments et drogues. Il fut le premier à différencier le carbonate de sodium (*natroune*) et le carbonate de potassium (*qli*) [10].

• **Les frères de la pureté (Ikhwan al safa)** (vers 1000 ap. J.-C.). C'est une association secrète dont les membres étudièrent la philosophie, la métaphysique, la théologie, l'astronomie, la musique, la géographie, la géométrie, les mathématiques, etc.

Leur doctrine est basée sur le rationnel et la non acceptation de ce qui n'est

pas démontré. Cette association est justement derrière la controverse des écrits publiés sous des pseudonymes. C'est le cas de certains écrits de Jabir traduits en latin et connus en Europe sous pseudo-écrits de Geber (Jabir).

• **Ibn Sina** (980-1037 ap. J.-C.). Il est connu en Occident sous le nom d'**Avicenne**, et est sans doute l'un des plus grands esprits du XI^e siècle. Perse, originaire de l'Ouzbékistan, il fut à la fois, astronome, philosophe, poète et musicien, mais il est surtout connu comme médecin. Son livre le « Canon » (*al qanoun fi al tibb*) [17] traduit en latin est resté une référence jusqu'au début du XVIII^e siècle où il a influencé et surtout contribué à la naissance de la médecine européenne. Ibn Sina était connu pour l'indépendance de son esprit. Il a magistralement étudié et commenté les écrits de Platon et d'Aristote. En chimie, il fut probablement le premier à démentir la possibilité de transmutation des métaux en donnant une explication scientifique et rationnelle. Selon son élève et biographe Abu Oubeyd al Jouz Jani, Avicenne a écrit 15 manuscrits répartis dans 77 volumes et 22 lettres.

• **Abu al Rayhan al Birouni** (973-1050 ap. J.-C.). Originaire de la Perse et contemporain d'Avicenne, al Birouni fut un grand pharmacien à l'image de son manuscrit « Le livre de pharmacie » (*kitab essaydala*), une sorte de dictionnaire des médicaments repertoriés en différentes langues avec leurs méthodes de préparation et leurs références. De plus, il a publié un autre manuscrit, « Le livre des pierres précieuses » (*kitab al jamahir fi ma'arif al jawahir*) [18]. Dans cet ouvrage, al Birouni donna une description des pierres précieuses, une analyse du verre, ses procédés de préparation ainsi qu'une étude minutieuse sur les densités de certains métaux. Cette dernière a été reprise et vérifiée par al Khazini (mort en 1155) dans son manuscrit « Le livre de la balance de la sagesse » (*kitab mizân al hikma*) [19].

• **Abu al Quassim al Iraki** (mort en 1184 ap. J.-C.), alchimiste et ardent défenseur de l'idée de la transmutation des métaux. Il a rédigé un grand nombre de manuscrits dont, le « Livre des connaissances acquises dans la culture de l'or » (*kitab al ilm al mouk-*

tassib fi zira'ati a dahib) [20], le « Livre les yeux des vérités et de la découverte des méthodes » (*kitab ouyoun el hakaik wa kashf a taraik*) et le « Livre du trésor enfui » (*kitab al kenz edafin*).

• **Ibn al Bitar** (1190-1248 ap. J.-C.). Né à Malaga en Espagne, il passa toute sa vie à la recherche des plantes médicinales. Il fut l'un des plus grands encyclopédistes du monde musulman. En effet, on lui doit la découverte d'un grand nombre de drogues et de médicaments décrits dans le livre « Recueil des différents médicaments » (*al Jami'e fi al adwiya al moukhtalifa*), une sorte de catalogue contenant 14 000 espèces végétales médicamenteuses. Quant au manuscrit *al majmou'a al moufrada*, Ibn al Bitar décrit les médicaments par catégorie et selon leur efficacité à guérir les maladies. Les historiens arabes le considèrent comme le fondateur de la phytochimie.

• **Al Tughra'i** (1063-1120 ap. J.-C.). Considéré comme l'un des grands alchimistes après Jabir. Ses expériences étaient basées sur les techniques de distillation. Parmi ses écrits « Le livre des lampes et des clés » (*Kitab al-Masabih wa-al-mafatih*), et « Les clés de la miséricorde et les lampes de la sagesse » (*Mafatih al-rahma wa masabihh al-hikma*). Il est mort exécuté pour abjuration envers la religion.

• **Aidamir al Jildaki** (?-1342 ap. J.-C.). Originaire de Jildak, une ville située en Asie mineure, Al Jildaki est l'un des chefs de file de l'alchimie du XIV^e siècle. Parmi ses contributions, la préparation du savon et surtout l'amélioration de sa qualité par addition de produits chimiques pour diminuer l'effet de la soude. Il est parmi les premiers alchimistes à mettre en garde les gens contre les dangers dus aux gaz échappés des réactions. Ses écrits furent nombreux et variés ; une grande partie est restée sous forme de manuscrits non encore étudiés. Son commentaire sur les travaux de son prédécesseur Abu al Quassim consigné dans le manuscrit « Le livre de la cultivation de l'or » (*kitab zira'at al tahib*) est probablement un des classiques dans la littérature de l'alchimie arabe.

Jusqu'à l'époque de Jabir, la chimie était sans forme ni contenu. Malgré sa mauvaise réputation, ses objectifs et ses buts restèrent nobles, et cela grâce au

solide savoir technique des artisans et aux efforts scientifiques des savants comme Jabir et Razi. Ils ont réussi à hisser la chimie parmi les disciplines respectées comme l'astronomie, les mathématiques et surtout à la débarrasser des préjugés en relation avec la sorcellerie et la magie. Les faits expérimentaux ont permis l'émergence de théories rationnelles et raisonnables. Les procédés techniques sont décrits et les substances chimiques soigneusement étudiées et caractérisées. D'autres méthodes ont été améliorées et leurs buts bien compris comme la distillation (*taktir*), la sublimation (*tas'id*), le grillage (*tchwiya*), la coction (*tabkh*), l'amalgamation (*talghim*), le lavage (*ghasl*), la calcination (*taklis*), la cération (*tachis*), la dissolution (*tahlil*). Dans la dissolution, Razi décrit huit méthodes de soumission des substances à ce procédé, parmi lesquelles, l'utilisation des acides ou eaux vives (*al-miyah al-haddah*), l'association (*tamzij*), la fixation (*aqd*). La purification des métaux par copulation a permis dans certains cas d'atteindre un degré élevé de purification.

A partir de l'étude globale d'*al-kimya* arabe, certains historiens considèrent les alchimistes musulmans et plus particulièrement Jabir et al Razi comme les plus brillants esprits que le monde ait connu jusqu'au début de la science moderne en Europe avec Galilée (1564-1642), Robert Boyle (1627-1691) et Newton (1642-1727). Jabir et Razi étaient tout les deux de dignes successeurs des philosophes grecs du VII^e et IV^e siècles avant J.-C. que l'humanité a connu dix neuf siècles après la mort d'Aristote. Leurs mérites résident dans le rejet des pratiques mystiques et astrologiques et ne prennent en compte que des choses prouvées et démontrées par l'expérience et les tests.

Al-kimya en Europe

Presque toute trace de la science et de la philosophie grecque a été perdue en Europe après la chute de Rome. L'alchimie a complètement disparu et pourtant, entre les XI^e et XII^e siècles, la renaissance de cette science a eu lieu grâce aux efforts des savants musulmans. En effet, en Espagne et en Sicile où les Arabes et les Européens étaient en contact permanent, de nouvelles écoles de traduction ont vu le jour.

Plusieurs érudits se sont consacrés à la recherche, la collection et ensuite la traduction des écrits arabes, d'abord en latin, puis dans toutes les langues européennes. Parmi ces esprits, l'Espagnol Arnaud de Vileneuve (1238-1311), le moine franciscain anglais Roger Bacon (1210-1292) et l'Allemand Albert le grand (1193-1280) qui ont accompli un vrai travail encyclopédique rassemblant tout le savoir de l'époque.

Mais ce n'est seulement qu'à la suite des travaux du chimiste français M. Berthelot [21] sur l'alchimie que plusieurs recherches basées sur des textes originaux ont été découvertes et publiées. Depuis, l'intérêt pour l'alchimie arabe n'a cessé de progresser grâce aux efforts et aux travaux de chercheurs comme E. Von Lippman [22], G. Sarton [14], F. Sezgin [23], E. J. Holmyard [24], C. J. Singer [25] et spécialement P. Kraus [7] dont le travail sur Jabir ibn Hayyan est probablement un des classiques dans ce domaine. Il a ainsi fait allusion aux traductions, aux théories alchimiques, aux recherches sur l'élixir, aux expériences de laboratoire et au matériel utilisé ; le tout étant magistralement documenté. Selon certaines estimations, il existe actuellement, et cela en dépit de la destruction et de la perte, environ 25 000 manuscrits rédigés en langue arabe et qui se trouvent dans différentes bibliothèques du monde. Ce chiffre ne tient pas compte des collections non répertoriées. *Al-kimya* n'a pas encore livré ses secrets !

Références

[1] Ruska J., *Turba philosophorum*, Springer-Verlag, Berlin, 1931, réimpression, id., 1970 (368 pages).
 [2] Ruska J., *Arabishen Alchemisten*, C. Winter, Heidelberg, 2, 1924.
 [3] Geber, *The Summa perfectionis of Pseudo-Geber*, A critical edition and study, by Newman W. R., E.J. Brill, Leiden, New York, 1991 (785 pages).
 [4] Berthelot M., *Histoire des sciences (la chimie au moyen âge)*, Imprimerie nationale, Paris, 3v, 1893.
 [5] Berthelot M., *Archéologie et histoire des sciences*, avec publication nouvelle du papyrus de Leyde et impression originale du Liber de septuaginta de Geber Jabir ibn Hayyan, 1906, réédition, Philo Press, Amsterdam, 1968 (377 pages).
 [6] Holmyard E. J., *The works of Geber*, Dnt ; Dutton, London, New York, 1928 (264 pages).
 [7] Krauss P., *Jabir ibn Hayyan, Contribution à l'histoire des idées scien-*

tifiques dans l'islam, éd. Les Belles Lettres, Paris, 1986 (406 pages).

[8] Ibn al-Nadim, Muhammad ibn Ishaq, *Kitab al-Fihrist (le livre de la biographie biographique)*, édité par Yusuf Ali Tawil, Dar al-Kutub al-'Ilmiyah, Beyrou, Liban, 1996 (792 pages).
 [9] Razi, Abu Bakr Muhammad ibn Zakaria, *Kitab al-asrar, Raz'h-yi san'at-i kimiya*, Publication de l'université de Téhéran, 1970, 9 (629 pages).
 [10] Al-Hassan Ahmad Y., Hill Donald R., *Sciences et Techniques en Islam*, Unesco et Edifira, Paris, 1991 (293 pages).
 [11] Feldman M. R., *Chem. Edu.*, 1980, 57, p. 877.
 [12] Al-Kindi, *Buch uber die Chemie des Parfums und die Destillationen (al-Itr Wat-Tas'idat)*, 1948, réédité par Garbers K., Nendeln, Liechtenstein, 1966 (59 pages).
 [13] Al Majriti Maslamah ibn Ahmad, *Picatrix (kitab Ghayat al hakim)*, von Pseudo-Majriti, traduit de l'arabe à l'allemand par Ritter H., Plessner M., Warburg, Londres, Université de Londres, 1962 (435 pages).
 [14] Sarton G., *Introduction to the history of science*, édité par Williams et Wilkins Company, Baltimore, 3, 1947.
 [15] Holmyard E.J., *Makers of Chemistry*, Oxford, The Clarendon Press, 1931 (314 pages).
 [16] Abu al Mansur Muwaffaq ibn Ali, *Al-Abniyah an haqayiq al a-dwiyah*, Intisharat-i Bunyad Farttang, Téhéran, Iran, 1966 (97 pages).
 [17] Avicenne, *Al Qanun fi al-tibb li Ali ibn al Husayn ibn Sina*, , Dar al-Fikr, Beyrou, Liban, 4v, 1994.
 [18] Al Birouni, Muhammad ibn Ahmad, *Kitab al-jamahir fi ma'rifat al-jawahir, The book most comprehensive in knowledge on precious stones (al Biruni's book on mineralogy)*, Hijra council, Islamad, Pakistan, 1989 (355 pages).
 [19] Al Khazini, Abd al Rahman, *Mizan al-hikma*, édité par Intisharat-i Bunyad-i Farhang-i, Téhéran, Iran, 1967 (153 pages).
 [20] Abu al-Kassim Muhammad ibn Ahmad al-Iraqi, *Book of knowledge concerning the cultivation of gold (Kitab al'ilm al-moktassib fi zira'at adha-dhab)*, traduit et édité par Holmyard E. J., Geuthner P., Paris, 1923 (51 pages).
 [21] Berthelot M., *Les origines de l'Alchimie*, Paris, G. Steinheil, 1885, Rép. Lib. Sci et Arts, Paris, 1938.
 [22] Von Lippman E. O., *Enslsteing und ausbreitung der Alchemie*, Springer, Berlin, 1919-31.
 [23] F. Sezgin, *Geshichte das arabishen Schrifftums*, E. J. Brill, Leiden, 1970 (490 pages).
 [24] Holmyard E. J., *Chemistry to the time of Dalton*, University Press, London, Oxford, Milford. H, 1925 (pages 128).
 [25] Singer C. J., *A history of technology*, édité par Singer C., Clarendon Press, Oxford, 8, 1954-1984.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Recherche

SPIRAL, au GANIL (Caen) : un nouvel outil dédié à la physique nucléaire en Europe

La production de faisceaux d'ions radioactifs ouvre des perspectives aussi bien pour l'étude de la structure de la matière qu'en astrophysique nucléaire. C'est dans ce but qu'a été conçu le projet SPIRAL (système de production d'ions radioactifs accélérés en ligne) au sein du GANIL (grand accélérateur national d'ions lourds) à Caen. En novembre dernier, le cyclotron de l'ensemble SPIRAL, CIME (cyclotron d'ions à moyenne énergie) a accéléré un premier faisceau stable d'argon 40, en attendant l'autorisation (délivrée par la Direction de Sécurité des Installations Nucléaires, la DSIN) de produire et d'accélérer des faisceaux radioactifs. Il s'agira alors de conduire et d'accélérer des ions aux durées de vie extrêmement brèves, de leur point de production à la cible des physiciens, en une fraction de seconde et sur une distance supérieure au km. Les scientifiques disposeront alors d'un outil unique permettant de faire progresser les connaissances de la structure du noyau de l'atome et d'apporter des réponses à quelques questions fondamentales.

Une nouvelle molécule antidiabétique

La 4-hydroxyisoleucine, acide aminé isolé à partir des graines du fénugrec (*Trigonella foenum graecum* L.), légumineuse du pourtour méditerranéen et d'Asie, s'est révélée capable de réguler la glycémie (c'est-à-dire le taux de sucre présent dans le sang) chez le rat. Ce résultat a été obtenu par des chercheurs montpellierains du Laboratoire de recherches sur les substances naturelles végétales-Montpellier II, du Laboratoire de biotechnologie-pharmacologie (CNRS-Montpellier I-Sanofi Pasteur) et du Laboratoire de pharmacologie-Montpellier I. Cette molécule, qui n'existe ni chez l'homme, ni chez l'animal, et dont les propriétés insulino-stimulantes ont été mises en évidence dès 1991, a fait l'objet de plusieurs dépôts de brevet internationaux. Le mécanisme d'action de cette molécule antidiabétique est différent de celui des seuls agents insulino-stimulants utilisés actuellement dans le traitement de cette affection, les sulfonylurées. L'action thérapeutique de la 4-hydroxyisoleucine, si elle se confirmait chez l'homme, ouvrirait des grandes perspectives thérapeutiques comme alternative aux

*"Cet essai est un
coup de maître"*

**"Cette œuvre mérite
un prix, et pourtant
elle est gratuite"**

*"Tout ce que vous vouliez
savoir sur le phosgène :
il suffit de le demander"*

**"Une molécule
experte expliquée
par un expert à
des experts"**

*"L'intégrale en 2
volumes : à découvrir
d'urgence"*

**"A lire sur la plage cet été,
quand vos concurrents
bronzeront idiots"**

**"Le phosgène :
quel talent !"**

*"La critique est unanime :
un chef d'œuvre !"*

**"Page 35, j'ai pleuré sur
le schéma de la préparation
des dérivés d'oxazinone
et d'oxazinedione avec
du chlorure de palmitoyle"**

sulfonylurées qui présentent des effets secondaires hypoglycémiant, parfois graves. Le développement pharmaceutique de cette molécule originale est envisagé dans le cadre d'un projet de création d'entreprise en Languedoc-Roussillon.

• Gérard Ribes, Laboratoire de biotechnologie-pharmacologie, Montpellier. Tél. : 04.67.54.25.41. E-mail : ribes@sc.univ-montpl.fr

Nouveautés relevées dans la littérature

• La réduction des acides carboxyliques aliphatiques et aromatiques en aldéhydes est une opération encore difficile bien que des solutions utilisant des dérivés d'acides soient connues.

Un groupe de l'université Waseda à Tokyo (A. Yamamoto, I. Shimidzu, K. Nagayama) a réussi à réduire les acides carboxyliques en aldéhydes par l'hydrogène en présence du catalyseur Pd(PPh₃)₄ après conversion en anhydride mixte avec l'acide pivalique. Les doubles liaisons carbone-carbone sont inchangées.

(*Chem Letters*, **1998**, p. 1143)

• L'analogie entre les liaisons C-H et les doubles liaisons C=C et plusieurs réactions de carbures saturées ont conduit à se demander depuis longtemps si des alcanes pourraient être des ligands dans des complexes de métaux de transition.

En enregistrant le spectre RMN d'une solution de CpRe(CO)₃ dans le cyclopentane pendant l'irradiation avec une lumière UV-visible (amenée dans le tube par une fibre optique), on voit apparaître les signaux d'une nouvelle structure CpRe(CO)₂cyclopentane.

(S. Geflikis, G E Ball, *J. Am. Chem. Soc.*, **1998**, 120, p. 9953)

• L'allylation écologique (sans sous-produits) d'anions carbonés stables a été réalisée. Les carbures acétyléniques sont transformés par addition élimination de palladium dans l'acide acétique en complexes π -allyl acétoxy palladium *in situ*. Le réactif (dinitrile, cyano ester, bisulfone) n'a pas besoin de base stoechiométrique.

(I. Kadota, A. Shibuya, H. S. Gyoung, Y. Yamamoto, *J. Am. Chem. Soc.*, **1998**, 120, p. 10262).

Ceci est à rapprocher d'un résultat de G. Giambastiani et G. Poli, Florence (*J. Org. Chem.*, **1998**, 63, p. 9608) : les acétates allyliques peuvent allyler les malonates, etc., sans bases avec palladium (0), et triphénylphosphine.

• On pensait autrefois qu'il ne fallait pas faire deux choses à la fois et que les réactions radicalaires ne donnaient que des résines. Pourtant, il est possible de réaliser des « cascades » de réactions (pas moins de 11 étapes dans le cas présent) qui permettent la synthèse diastéréosélective de systèmes quinaniques (à trois cyclopentanes) à partir d'un précurseur aliphatique.

(M. Malacria, P. Devin, L. Fensterbank (Paris), *J. Org. Chem.*, **1998**, 63, p. 6764)

• Alkylation de carbonyles « à la Ponndorf-Verley ». Le transfert d'un résidu acétylényle ou cyanure analogue à celui de l'hydrure dans la réaction modèle est effectué par le (biphénylène dioxyméthyl) (ou *t*-butoxy) aluminium.

(T. Ooi, T. Miura, K. Maruoka, *J. Am. Chem. Soc.*, **1998**, 120, p. 10790)

Les chercheurs suédois peu satisfaits de leur formation

Selon une étude réalisée par la Fédération suédoise de l'enseignement supérieur (Sveriges universitets-och hoegskolefoerbund), plus de 5 000 doctorants, autant de titulaires de doctorat et de « licencié » (équivalent du DEA) et près de 500 employeurs aussi bien du secteur public que privé ont été interrogés sur la formation de chercheur en Suède. Les résultats montrent que la plupart des doctorants et des docteurs souhaitent que la formation soit élargie au management de projets, à la coopération et à la communication (technologies de l'information). Près de 50 % considèrent que la formation dispensée n'est pas suffisante pour une carrière en dehors de l'université. 37 % des doctorants pensent que les responsables des études ne sont pas toujours à la hauteur de leur tâche, ce qui prolonge inutilement la durée des travaux de thèse. Par ailleurs, si les industriels acceptent le diplôme d'ingénieur, les universités n'ont pas encore réussi à imposer celui de docteur sur le marché du travail.

Source : SvD, 12 janvier 1999.

Enseignement

La charte des thèses sur Internet

Pour la première fois, les relations entre doctorants et directeurs de thèse, de laboratoire ou d'école doctorale font l'objet d'un texte réglementaire fixant les droits et les devoirs de chacun pour le bon déroulement des thèses et une meilleure prise en compte de l'avenir professionnel des docteurs.

Des sites Internet sont à disposition pour vous renseigner :

- Le *Journal Officiel* du 11 septembre 1998 : <http://www.legifrance.gouv.fr>
- Le *Bulletin officiel du ministère de l'Éducation nationale de la Recherche et de la Technologie* du 1er octobre 1998 : <http://www.education.gouv.fr/bo/1998/36>
- La Guilde des doctorants : <http://garp.univ-bpclermont.fr/guilde>

Mastères spécialisés à l'école des Mines d'Alès

Dans le cadre des formations post-diplôme, l'école des Mines d'Alès propose deux mastères spécialisés : le mastère nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) et le mastère sécurité industrielle et environnement (SIE). Ces formations sont destinées aussi bien aux jeunes diplômés qu'aux cadres confirmés.

- Le **mastère NTIC**, réalisé en partenariat avec l'Institut Systémia, se compose d'une formation de 6 mois (bases de données, réseaux et télécoms, Internet/Intranet, Java/HTML, technologies objets, échange de données informatisé, commerce électronique...), accompagnée de 6 mois de projet professionnel en entreprise.

La rentrée a lieu en octobre 99. L'admission s'effectue sur dossier et entretien. Limite d'inscription : 21 juin 1999 (1re session) et 30 août 1999 (2e session).

Contacts : Pierre Runtz. Tél. : 04.66.38.70.47. E-mail : Pierre.Runtz@site-eeerie.ema.fr

- Le **mastère SIE**, créé en 1988, est une formation de 12 mois, dont un stage de 9 mois, qui s'adresse aussi bien à de jeunes diplômés qu'à des cadres confirmés. Elle a, en effet, été conçue pour pouvoir être suivie tout en maintenant une activité professionnelle.

La rentrée a lieu en octobre 99. L'admission se fait sur dossier et entretien. La limite d'inscription est fixée au 30 avril 1999 (1re session) et au 30 août (2e session).

• Contacts : Gilles Dusserre. Tél. : 04.66.78.27.52. E-mail : Gilles.Dusserre@ema.fr

Le Grand Prix Chimique Européen 1999

En 1999 se déroulera le 5e Grand Prix Chimique Européen. Ce concours est réservé aux jeunes en formation dans les métiers de la chimie (niveau III/IV). Il a lieu tous les deux ans. Le premier concours s'est déroulé en 1991 à Stuttgart en Allemagne, le second en 1993 à Strasbourg, le troisième en 1995 à Sonderborg au Danemark et, le quatrième en 1997, à Rotterdam aux Pays-Bas.

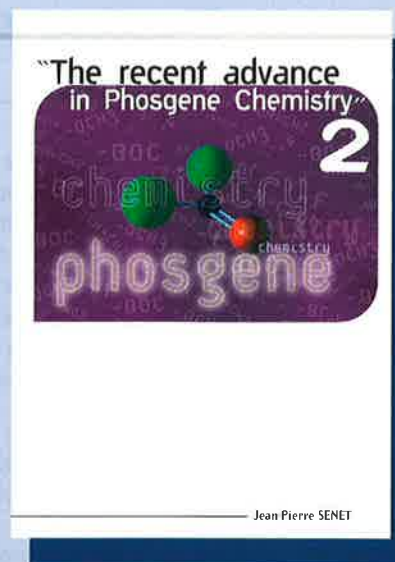
Cette année, il se déroulera à Budapest (Hongrie) à la fin du mois d'août. Les huit pays qui ont participé en 1997 seront à nouveau présents : Allemagne, Danemark, France, Hongrie, République tchèque, Slovaquie, Slovénie et Pays-Bas. La Norvège participera pour la première fois. Les organisateurs hongrois espèrent la participation d'autres pays de l'Europe de l'Est.

Comme pour les concours précédents, chaque pays organisera une sélection nationale qui permettra de déterminer les représentants des différents pays. En France, cette sélection sera proposée aux élèves des sections terminales STL CL (chimie des laboratoires).

La particularité de ce concours est justement de réaliser des épreuves sans préparation particulière, ce qui permet de mieux comparer les formations dans les pays participants.

• Renseignements : A. Mathis, Comité français d'organisation du Grand Prix Chimique, Lycée Jean Rostand, 18, bd de la Victoire, 67084 Strasbourg Cedex. Tél. : 03.88.14.43.50 [poste 312].

Découvrez le tout nouveau dérivé du Phosgène : le tome 2



ISOICHEM
GROUPE SNPE

SNPE Chimie
GROUPE SNPE

Le tome 1 vous avait dévoilé une grande partie des avancées qui feront référence sur le phosgène. Découvrez avec le tome 2 la suite et la fin des résultats de recherches réalisées par les équipes du Groupe SNPE.

Nom : _____
Prénom : _____
Société : _____
Activité : _____
Adresse : _____
Ville : _____
Code postal : _____
Pays : _____
Tél : _____

Pour obtenir gratuitement le tome 2 du livre "The recent advance in Phosgene Chemistry", merci de bien vouloir remplir et retourner ce coupon en y joignant votre carte de visite à :

Groupe SNPE - Direction Communication
12 quai Henri IV - 75181 Paris Cedex 04 - France
Vous pouvez également commander par Internet :
<http://www.snpe.com>

Un musée pour les plastiques

Un musée pour les plastiques, le National Plastics Center & Museum, a été créé à Leominster (Massachusetts) sous l'impulsion du professeur Richard S. Stein de l'université du Massachusetts à Amherst. Le but est de faire connaître tous les aspects des plastiques et leur utilité aussi bien aux adultes qu'aux enfants d'âge scolaire. Des conférences et des démonstrations sont effectuées comme au Palais de la Découverte, à Paris.

Une exposition itinérante du musée, transportée par plusieurs vans, parcourt également les États-Unis. Dans le même esprit, un CD-Rom, *The World of Plastics* devrait être mis en vente pour un prix très modique. Il est interactif et s'adapte aux matériels IBM et Macintosh. *L'Actualité Chimique* suivra cette affaire pour renseigner ses lecteurs sur des développements possibles en France.

Distinctions

Maurice Gomel à l'honneur

Le conseil d'administration de la Société Française de Chimie, réuni à Paris, le 27 janvier 1999, tient à exprimer ses plus vives félicitations au professeur Maurice Gomel, de l'université de Poitiers, pour son exceptionnelle activité tant en ce qui concerne l'enseignement de la chimie (Recodic*, 1976), (Cudme*, 1978), (Sesdic*, 1985), (Mapes*, 1988) qu'en ce qui concerne l'évaluation des enseignements (Réseau Cimes** créé en 1998 auquel participent déjà plus de 60 présidents d'université).

Il fut titulaire du prix de la division « Enseignement de la chimie » qui lui a été décerné l'année de sa création en 1976. La Royal Society of Chemistry lui a attribué la médaille Nyholm en 1993 en tant que son premier récipiendaire non anglophone. Ces deux distinctions ont souligné la notoriété du Professeur Gomel dans le domaine des sciences de l'éducation, celui-ci ayant déployé pendant plus de vingt années une activité exemplaire que la Société Française de Chimie tient aujourd'hui à honorer.

J.-B. Donnet
Ancien président

*Recodic : Réseau interuniversitaire de chimistes francophones, Sesdic : Service Enseignements Supérieurs Didactiques de la Chimie, Cudme : Centre Interuniversitaire de production d'outils multimédia pour l'enseignement de la chimie, Mapes : modules pour l'amélioration pédagogique des enseignements supérieurs.

** Cime : réseau de coopération interuniversitaire sur les méthodes d'évaluation.

Les lauréats du prix Roberval 1998

La remise officielle du prix Roberval, le prix du livre et de la communication en technologie, a eu lieu en décembre 1998. Les lauréats en ont été :

- **Prix grand public**, récompensant un ouvrage consacré à la technologie, accessible à un large public et qui favorise la réflexion sur la technologie dans ses rapports avec la science, la culture et la société : Pierre Barboza pour *Les nouvelles images* (Cité des Sciences et de l'Industrie/Somogy).

- **Prix enseignement supérieur**, récompensant un manuel destiné à l'enseignement supérieur et de la technologie : Étienne Guyon et Jean-Pierre Hulin pour *Granites et fumées : un peu d'ordre dans le mélange* (Éditions Odile Jacob), avec une mention spéciale à Joseph Lieto pour *Le génie chimique à l'usage des chimistes* (Éditions Technique et Documentation Lavoisier).

- **Prix télévision**, récompensant un document audiovisuel télédiffusé et concernant la technologie : Ramdane Issaad, Akéla Sari pour *Jongleurs d'atomes* (Productions Point du Jour-diffusion la Sept/Arte), avec une mention spéciale à Martine Allain-Regnault, François de Closets, Laure Baudouin pour *Savoir Plus Santé : dépanner le cerveau* (Coproductio France 2/17 juin Productions-diffusion France 2).

- **Prix Multimédia**, récompensant un document multimédia destiné à un large public et traitant d'un sujet technologique : Pierre-François Boselli, *Le génie d'Édison* (Éditeur TLC-Edusoft).

• **Prix Roberval**, UTC, BP 60319, 60206 Compiègne Cedex. Tél. : 03.44.23.43.58. Fax : 03.44.23.52.19. E-mail : Prix.Roberval@utc.fr. Serveur : <http://www.utc.fr/evenements/roberval/index.html>

Swheel, moteur thermique jetable et recyclable, lauréat du prix de la Fondation Rhône-Poulenc

Le 15 décembre 1998, Antoine Chassaing, chef du projet et ingénieur de l'École des Mines d'Alès, Stéphane Levasseur, électronicien et ingénieur de l'ENSSAT, et Christine Chassaing, assistante d'ingénieur, recevaient le prix de la Fondation Rhône-Poulenc, en vue d'aider de jeunes scientifiques de moins de 35 ans à créer leur entreprise.

L'entreprise qui portera le nom de SIMA (Science et Ingénierie du Muscle Artificiel) poursuit actuellement le développement Swheel, en travaillant sur la mise au point du matériau de base de la poche déformable, sur la réalisation de la commande électronique, sur l'augmentation de la puissance du moteur, ainsi que sur son adaptation à d'autres produits que l'automobile.

Swheel est le nouveau moteur thermique jetable, recyclable et économique, moteur de l'an 2005, intégré dans chaque roue du véhicule. L'idée de ce projet a été développée depuis un an dans la pépinière d'entreprises de l'École des Mines d'Alès.

Sa réalisation est basée sur le principe d'un muscle artificiel à partir d'une tresse en Kevlar et d'un tube en silicone. Ce groupe translucide fonctionne au GPL, sans huile, sans aucune pièce de précision.

Revue

BULLETIN DE L'UDP

Sommaire du n° 809
(décembre 1998)

Cahier n° 1

- Éditorial, par Jacqueline Tinnès
- Expériences sur la décomposition et la recomposition de la lumière blanche, par R. Jouanisson
- L'arc-en-ciel : observations et expériences, par R. Jouanisson
- Analyse et synthèse spectrale pour l'étude des sons naturels et musicaux, par D. Beaufile, B. Caillaud
- La parachimie de la pourpre : teinte en cuve de fibres textiles aux colorants des mollusques, par T. Karmous, A. Alatrache, N. Ayed
- Une application du langage Maple à la physique : la simulation d'interférences lumineuses - Première et deuxième partie, par M. Dourlent
- Une application du langage Maple à la physique : la simulation de la diffraction à l'infini et de son couplage avec les interférences, par M. Dourlent
- Difficultés d'apprentissage du concept d'oxydoréduction. Deuxième partie, par

M. Soudani, D.Cros

- Femmes en physique (M.N. Bussac, C. Hermann)
- Utiliser un logiciel de géométrie dans l'enseignement de la physique, par Jean Winther
- Les entreprises agréées pour l'élimination des DTQD, par A. Mathis

Cahier n° 2

- Sujets des sciences physiques des baccalauréats technologiques, session 1998
- Énoncés des épreuves du concours général sciences et technologies de laboratoire, épreuves de physique et de chimie du laboratoire et des procédés industriels

Sommaire du n° 810
(janvier 1999)

- Physique-chimie au collège, par J. Jourdain
- Désirs de science, désirs de vie, par P. Léna
- Blaise Pascal, un nouvel Archimède ?, par M. Faget
- Le ciel en 1999, par J.P. Caussil, P. Simonnet
- Du côté de la recherche en didactique : Un TP « résolution de problèmes » sur l'électricité en quatrième, par O. Soudani,

M. Soudani, D. Cros

- TP en fiches : Lois en électricité quatrième, par D. Launer, C. Vivier, M.T. Launay, V. Jaouen, Stéphane Jucquois, Karine Plumet
- Méthode pour des TP disciplinés en ZEP..., par O. Lefebvre
- Des lois en puzzle, par Dany Launer
- Nouveaux programmes de troisième au fil du BUP, par J. Jourdain, S. Betton
- La mise en place de « La Main à la Pâte » dans une circonscription, par L. Adam
- « La Main à la Pâte », une équipe raconte..., par Mmes Joly, Zarragoza et les instituteurs
- A propos de mon expérience dans le cadre de « La Main à la Pâte », par J.P. Bourbigot
- La couleur à l'école élémentaire, par M. Saint-Georges, C. Comte
- Chimie et couleurs, par J. Cipan, J. Sourisseau
- Dosage automatisé économique : l'écoburette, par Ph. Mugel, C. Pravda
- Peut-on enseigner la thermodynamique après le tout électrique ?, par M. Padeloup

Livres

THE RECENT ADVANCE IN PHOSGENE CHEMISTRY

Jean-Pierre Senet

Ouvrage édité par le groupe
« Société Nationale des Poudres et Explosifs »
Ter volume

Cet ouvrage de 175 pages et 276 références est le premier des deux tomes qui seront consacrés à la chimie et aux réactions du phosgène et de ses dérivés.

Ce premier volume est dédié à l'utilisation du phosgène et de ses dérivés comme constituants de nouvelles molécules. Le second volume portera sur l'utilisation du phosgène comme réactif chimique.

Après un rappel du rôle de Jean-Baptiste Dumas dans la chimie du phosgène, découvert par John Davy en 1810, l'auteur poursuit son introduction par des données sur la toxicité, par quelques informations économiques (production de

phosgène et répartition par utilisations), et enfin par des tableaux récapitulatifs des grandes réactions du phosgène.

Le second chapitre très court (2 pages) rappelle les propriétés physiques et la réactivité chimique (action de nucléophiles sur le carbonyle, et réactions électrophiles) du phosgène.

L'ouvrage est en fait le troisième chapitre intitulé « Phosgene and derivatives as building blocks » divisé lui-même en quatre parties :

1) Les réactions du phosgène sur les carbones dans lesquelles les réactions du phosgène et de chloroformiates sur les aromatiques et les éthers vinyliques sont décrites (5 pages).

2) Les réactions sur les sites oxygènes ou soufrés font l'objet de la seconde partie (50 pages) :

- Chimie des chloroformiates de phénols et d'alcools avec une mention particulière sur le rôle des catalyseurs.

- Réaction du phosgène sur des substrats tels que le glycérol, les époxydes, les aldéhydes (formation de α -chloro chloroformiate), chimie des vinyl chloroformiate, vinyl carbonate, vinyl carbamate.

Dans cette partie, une importante discussion est consacrée aux sels de guanidinium, catalyseurs de réactions du phosgène qui ont été très étudiées à la SNPE.

3) Réactions sur des sites azotes (69 pages) :

- Réactions du phosgène avec les amines, les imines, les oxazolinées.

- Réactions des 1-chloroalkylchloroformiates sur L amine et utilisation en synthèse des 1-chloroéthylcarbamate.

- Chimie des 1-chloroalkylcarbonates.

- Réactions du phosgène sur les carbamates, les urées, les amides, les sulfonamides.

4) Formation de cycles ; entre deux oxygènes (carbonates), entre un oxygène

et un azote (benzoxazolones, oxazolidinone...), entre deux azotes (imidazolones...).

La lecture de ce livre est intéressante à plusieurs titres. Tout d'abord, en raison du grand nombre d'informations qu'il contient, informations rédigées de manière critique par un grand spécialiste. Ensuite, parce que c'est un témoignage de plus de 25 ans de travail d'une équipe industrielle dans le domaine. Le style de la rédaction le montre, en particulier la saga de la synthèse des 1-alcénylchloroformiates et autres vinyl carbonate et vinyl carbamates, avec la description des démarches infructueuses, la collaboration avec l'équipe de Penn State University et enfin les résultats, se lit comme un passage de roman.

Enfin, le large champ des applications avec de très nombreux exemples précis de synthèse de principes actifs dans le domaine de la pharmacie, du phytosanitaire, etc. et de synthèse de nouveaux monomères (pour verres artificiels, lentilles de contact...) est source d'enrichissement pour le lecteur.

On aura compris que je recommande vivement la lecture de cet ouvrage en attendant avec impatience le second volume.

Le deuxième tome vient de paraître. Ces deux ouvrages peuvent être demandés à la SNPE (voir publicité p. 39).

Bernard Sillion

LIVRES PARUS

- **Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry** (6^e édition, CD-Rom) John Wiley and Sons, 1998
- **Calixarenes revisited** par C.D. Gutsche relié, 250 p., 55 £ The Royal Society of Chemistry, 1998
- **Handbook of chemistry and physics** 79th edition 1998-1999 2464 p., 1 017 FF CD-Rom 1999, 904 FF Special student edition, 392 FF Springer-Verlag
- **The analytical chemistry of carbohydrates. Photometry, chromatography and electrophoresis** Günther Bonn, Heimo Scherz 355 p., 178 DM Georg Thieme Verlag, 1998
- **Thermodynamics of chemical processes** Gareth Price Broché, 90 p., 5,99 £ Oxford Science Publications, 1998
- **Identification spectrométrique de composés organiques (5^e édition)** Silverstein, Basler, Morill traduction de la 5^e édition américaine par E. Larue, revue par A. Schanck, 422 p., 320 FF (enseignants : 192 FF) DeBoeck Université
- **Organic synthesis. The science behind the art** W. A. Smit, A. F. Bochkov, R. Caple Broché, 475 p., 25 £ The Royal Society of Chemistry, 1998
- **Biopolymers from renewable resources** D.L. Kaplan Relié, 417 p., 1 048 FF Springer-Verlag, 1998
- **Advances in molecular structure research** Sous la direction de Magdolna Hargittai, Istvan Hargittai Volume 3, 346 p., 109,50 \$ Jai Press, 1998
- **Solid sample analysis** U. Kurfürst Relié, 423 p., 935 FF Springer-Verlag, 1998
- **High performance liquid chromatography** Sandy Lindsay Version disquette, 150 £ John Wiley & Sons, 1998
- **Handbook of liquid crystals** D. Demus, J. Goodby, G.W. Gray, H.-W. Spiess, V. Vill Vol. 1 : **Fundamentals**, 920 p., 250 £ Vol. 2A et 2B : **Low molecular weight liquid crystals I et II**, 500 et 550 p., 180 £ et 180 £ Vol. 3 (1998) : **High molecular weight liquid crystals**, relié, 540 p., 180 £ Les 4 volumes : 2 000 p., 585 £ Rapra Technology Ltd, 1998
- **Advances in gas-phase ion chemistry** Nigel G. Adams, Lucia M. Babcock Volume 3, 376 p. Jai Press, 1998
- **Analyse et traitement physicochimique des rejets atmosphériques industriels. Émissions, fumées, odeurs et poussières** Maria Popescu, Jean-Marie Blanchard, Jean Carré Relié, 880 p., 995 FF Tec & Doc-Lavoisier, 1998
- **Crime scene to court : The essentials of forensic science** P.C. White Broché, 362 p., 19,95 £ The Royal Society of Chemistry, 1998
- **A brief history of cocaine** Steven B. Karch Broché, 202 p., 159 FF Springer-Verlag, 1998
- **The polymer lexicon, acronyms and abbreviations used in the rubber and plastics industries** Relié, 216 p., 50 £ Rapra Technology Ltd, 1998
- **European plastics directory 1998** (9th edition) 110 £ (CD-Rom : 120 £) Rapra Technology Ltd, 1998
- **Thermodynamique, application au génie chimique et à l'industrie pétrolière** Jean Vidal Relié, 520 p., 680 FF Éditions Technip, 1997
- **Procédés de transformation** Pierre Leprince Relié, 768 p., 790 FF Éditions Technip, 1998
- **Lubrifiants et fluides pour l'automobile** Jean Ayel, Maurice Born Broché, 272 p., 420 FF Éditions Technip, 1998
- **La collecte et le traitement des déchets** Broché, 150 FF ARPE Midi-Pyrénées-Ademe, 1998
- **Identification spectrométrique de composés organiques** R.M. Silverstein, G.C. Basler, T.C. Morill Broché, 430 p., 320 FF DeBoeck Université, 1998
- **Heterocyclic chemistry I. Principles, three and four-membered heterocycles** R.R. Gupta, M. Kumar, V. Gupta Relié, 422 p., 637 F Springer, 1998

Rappel des manifestations organisées par la Société Française de Chimie ou sous son parrainage

Séminaires en électrochimie

Bordeaux

15 avril 1999

Spectroélectrochimie par micro-spectroscopie Raman confocale, par Frédéric Bonhomme (LPCM).

27 mai 1999

Blanchiment de pâtes à papier électroassisté, par Denis Deffieux (Institut du Pin).

24 juin 1999

Solid-state voltammetry, analytical characterization of mixed-valence materials, par Pawel Kulesza (université de Varsovie).
(*L'Act. Chim.*, fév. 1998, p. 63)

- Renseignements : Alexander Kuhn. Tél. : 05.56.84.65.73. E-mail : kuhn@iagp.enscpb.u-bordeaux.fr

11-15 avril 1999

4th International Symposium on polymers in dispersed media

Lyon

(*L'Act. Chim.*, août-septembre 1998, p. 98)

- N. Bernier. Tél. : 04.72.72.83.60. E-mail : PDM@ens-bma.cnrs.fr

26-28 avril 1999

Chimie physique : Nancy 1899

Nancy

(*L'Act. Chim.*, oct. 1998, p. 100)

- Archives-Centre d'Études et de Recherche Henri Poincaré, Université de Nancy. Tél. : 03.83.96.70.83

3-5 mai 1999

Stepi 5

Montpellier

Division Matériaux polymères et élastomères

(*L'Act. Chim.*, nov.-déc. 1998, p. 47)

- Marc Abadie. Tél. : 04.67.54.78.25. E-mail : abadie@univ-montp2.fr

12-14 mai 1999

9^e MIEC - Multimedia et informatique pour l'enseignement de la chimie

Bruxelles (Belgique)

(*L'Act. Chim.*, août-septembre 1998, p. 99)

- J.P. Rabine. Tél. : 04.92.07.61.23. E-mail : rabine@hermes.unice.fr

14-15 mai 1999

1st French-Italian Symposium on asymmetric synthesis

Maratea (Italie)

(*L'Act. Chim.*, novembre-décembre 1998, p. 60)

- C. Bonini. Tél. : +39 (971) 474219.. E-mail : bcll3sci@unibas.it

17-19 mai 1999

XXIX^e Congrès du Groupe Français des Pesticides : aspect multiple des produits phytosanitaires

Périgueux

(*L'Act. Chim.*, fév. 1998, p. 63)

- D. Dhier. Tél. : 05.53.35.24.29. Fax : 05.53.02.58.80. E-mail : epca@perigord.tm.fr

18-21 mai 1999

XVI^e JIREC (Journées de l'innovation et de la recherche pour l'enseignement de la chimie)

Saint-Nazaire

(*L'Act. Chim.*, fév. 1998, p. 62)

- P. Gressier. Fax : 02.40.37.39.95. E-mail : JIREC99@cnrs-irn.fr
Serveur : <http://www.cnrs-irn.fr/JIREC99.html>

27 mai 1999 :

Chimie des climats

Paris

Conférence de la section Ile-de-France, par M. Balkanski (LMCE, Saclay).

(*L'Act. Chim.*, fév. 1998, p. 62)

- J. Fraissard. Tél. : 01.44.27.60.13. Fax : 01.44.27.55.36. E-mail : jfr@ccr.jussieu.fr

27-28 mai 1999

1^{re} Rencontres franco-belges de chimie organique

Houffalize (Belgique)

(*L'Act. Chim.*, oct. 1998, p. 100)

- Véronique Garin. Tél. : +32 (2) 650.30.39. E-mail : vgarin@ulb.ac.be

1-4 juin 1999

Journées d'électrochimie

Toulouse

(*L'Act. Chim.*, oct. 1998, p. 100)

- Secrétariat des JE99. Fax : 05.61.55.61.39.

E-mail : savall@ramses.ups-tlse.fr

20-25 juin 1999

Conférence internationale sur les isotopes stables et les effets isotopiques

Carry-le-Rouet

(*L'Act. Chim.*, juillet 1998, p. 48)

- R. Boschiero. Tél. : 01.69.08.57.19. E-mail : boschiero@drecam.cea.fr

27-30 juin 1999

Photoprocesses in molecular assemblies

Dourdan

Division Chimie physique
(*L'Act. Chim.*, novembre-décembre 1998, p. 59)

- Dimitra Markovitsi. Tél. : 01.69.08.46.44. Serveur : <http://www-drecam.cea.fr/photo/processes>

5-9 juillet 1999

IV^e Conférence Paul Sabatier pour la catalyse :

Oxygen and catalytic activation

Strasbourg

Division Catalyse
(*L'Act. Chim.*, nov.-déc 1998, p. 59)

- G. Maire. Tél. : 03.88.41.60.54.

6-8 juillet 1999

Stage pédagogique GFP - Chimie de l'élaboration du matériau polymère

Haubourdin

(*L'Act. Chim.*, novembre-décembre 1998, p. 59)

- M. Delporte. Tél. : 03.20.43.47.51. E-mail : gfp-secnord@univ-lille1.fr

18-22 juillet 1999

OMCOS 10 : 10^e Symposium IUPAC de chimie organométallique orienté vers la synthèse organique

Versailles

(*L'Act. Chim.*, fév. 1998, p. 64)

- C. Iannarelli. Fax : 01.47.71.90.05. E-mail : c2s@club-internet.fr

- J.-P. Genet. Tél. : 01.44.27.67.43. Fax : 01.44.07.10.62. E-mail : genet@ext.jussieu.fr
Serveur : <http://www.enscp-jussieu.fr/omcos>

30 août-3 septembre 1999

5th Intern. Symposium on heterogeneous catalysis and fine chemicals

Lyon

(*L'Act. Chim.*, mars 1998, p. 43)

- Pierre Gallezot. Tél. : 04.72.44.53.86.

5-9 septembre 1999

Euro-Fillers'99 : Charges et polymères

Villeurbanne

(*L'Act. Chim.*, août-septembre 1998, p. 98)

- J.F. Gérard. Tél. : 04.72.43.83.83.

5-10 septembre 1999

4th European Congress on catalysis Europacat-IV

Rimini (Italie)

(*L'Act. Chim.*, oct 1998, p. 100)

- Lucio Forni. Fax : +39 (02) 70638129. E-mail : forn@rs6.csrsc.mi.cnr.it

6-9 septembre 1999

16^e Journées françaises de spectrométrie de masse

Nancy

(*L'Act. Chim.*, novembre-décembre 1998, p. 60)

- P. Henner. E-mail : henner@ensaia.u-nancy.fr

27-31 octobre 1999

5th FGIPS Meeting in inorganic chemistry

Toulouse

(*L'Act. Chim.*, novembre-décembre 1998, p. 60)

- G. Balavoine. Tél. : 05.61.33.31.65.

18-19 novembre 1999

Nourrir les hommes, hier et demain. Apports de la chimie

Paris

Club d'Histoire de la chimie
(*L'Act. Chim.*, janvier 1999, p. 51)

- Chantal Iannarelli. Tél. : 01.47.71.90.04. E-mail : c2s@club-internet.fr

Calendrier des manifestations à venir

30 mars-1er avril 1999

SEP'99 : Techniques séparatives et couplages

Lyon

Organisé à l'initiative du Laboratoire de Chimie analytique de l'IUT-Orsay, du Laboratoire Environnement et Chimie analytique ESPCI-Paris, du Laboratoire des Sciences analytiques Université Lyon I, et de l'AfSep (Association Française des Sciences séparatives), ce congrès comporte 9 sessions : Méthodes électrophorétiques, techniques couplées, spéciation, chimométrie, environnement, médicaments, miniaturisation, méthodes séparatives, protéines.

Prix Sep 99 : 2 prix seront attribués aux meilleures affiches le jeudi 1er avril à l'occasion de la clôture de SEP 99.

- Renseignements : Euradif, BP 111, 38243 Meylan Cedex. Tél. : 04.76.52.32.02. Fax : 04.76.52.24.50 E-mail : contact@euradif.com

31 mars-1er avril 1999

11e Rencontres scientifiques et technologiques des industries alimentaires : les produits alimentaires et l'eau

Nantes

- Renseignements : Bernard Revuz, Agoral, 1, avenue des Olympiades, 91744 Massy Cedex. Tél. : 01.69.93.50.81. Fax : 01.69.93.50.44. E-mail : agoral@ensia.inra.fr

9-10 avril 1999

Entretiens européens de la technologie

Bruxelles (Belgique)

- Renseignements : Secrétariat général des ET 99, Network Communication, 25, rue de Ponthieu, 75008 Paris. Tél. : 01.53.53.07.79. Fax : 01.53.53.07.77. E-mail : m.elziere@infonie.fr Serveur : www.centraliens.fr

10-15 avril 1999

Relativistic effects in heavy element chemistry and physics

Acquafredda di Maratea (Italie)

- Renseignements : J. Hendekovic, European Science Foundation, Office of European Research Conferences (Euresco), 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

13-15 avril 1999

Atelier international sur l'analyse, les méthodologies de traitement et la réhabilitation des sols pollués

Villepinte

Cet atelier se tiendra dans le cadre de l'exposition Interchimie 99.

- Renseignements : Ineris, BP n° 2, 60550 Verneuil-en-Halatte. Tél. : 03.44.55.66.77. Fax : 03.44.55.66.99. E-mail : ineris@ineris.fr

24-30 avril 1999

Stereochemistry

Bürgenstock (Suisse)

- Renseignements : J. Hendekovic, European Science Foundation, Office of European Research Conferences (Euresco), 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

4 mai 1999

L'expertise et la contrefaçon

Paris

Ce colloque est organisé par la Société des Experts Chimistes de France à l'occasion du 5^e Salon des laboratoires d'essais (Astelab 99).

- Renseignements : Société des Experts Chimistes de France, 23, rue du Commandant Jean Duhail, 94120 Fontenay-sous-Bois. Tél. : 01.48.76.17.24. Fax : 01.48.76.60.15.

22-27 mai 1999

Catalysis in membrane reactors

Ravello (Italie)

- Renseignements : J. Hendekovic,

European Science Foundation, Office of European Research Conferences (Euresco), 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

6-12 juin 1999

14th summer School on coordination chemistry

Polanica-Zdroj (Pologne)

Thèmes retenus :

- Théorie, structure et liaison.
- Chimie de coordination et organométallique en catalyse, et chimie des matériaux.
- Chimie supramoléculaire.
- Les métaux dans la vie et l'environnement, chimie des solutions.
- Nouvelles techniques, nouvelles méthodologies synthétiques et nouvelles applications des composés de coordination et organométalliques.

La date limite de soumission des résumés est fixée au 15 avril 1999.

- Renseignements : 14th SSCC Secrétariat, Faculty of Chemistry, University of Wrocław, 14, F. Joliot-Curie St., 50-384 Wrocław, Pologne. Tél. : +48 (71) 20 43 06 ou +48 (71) 328 63 25. Fax : +48 (71) 328 23 48 ou +48 (71) 20 44 20. E-mail : plas@wchuwr.uni.wroc.pl

17 juin 1999

Journée d'études sur les récents développements et applications des matériaux adaptatifs pour capteurs et actionneurs

Grenoble

Cette Journée est organisée par le Groupe régional Dauphiné-Savoie de la Société des Électriciens et des Électroniciens (SEE).

- Renseignements : Yves Pauleau, INPG-ENSEEG, BP 75, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex. Tél. : 04.76.82.65.25. Fax : 04.76.82.66.30. E-mail : yves.pauleau@enseeg.inpg.fr

6-10 septembre 1999

VI^e École d'été de physico-chimie théorique

Marly-le-Roi

Cette école s'adresse aux étudiants,

chercheurs et enseignants-chercheurs (spécialistes ou non en chimie théorique) et aux industriels. Thème spécifique de cette école : application de la théorie quantique à la chimie et plus particulièrement à l'étude de la réaction chimique.

- Renseignements : F. Volatron. Tél. : 01.69.15.73.61. Fax : 01.69.15.44.47. E-mail : ecole@cth.u-psud.fr

18-23 septembre 1999

Interfaces and colloidal systems

Aghia Pelaghia (Crète, Grèce)

- Renseignements : J. Hendekovic, European Science Foundation, Office of European Research Conferences (Euresco), 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

21-26 septembre 1999

Chemistry and physics of multifunctional materials

San Feliu de Guixols (Espagne)

- Renseignements : J. Hendekovic, European Science Foundation, Office of European Research Conferences (Euresco), 1, quai Lezay-Marnésia, 67080 Strasbourg Cedex. Fax : 03.88.36.69.87. E-mail : euresco@esf.org Serveur : <http://www.esf.org/euresco>

13-15 octobre 1999

The future role of aromatics in refining and petrochemistry

Erlangen (Allemagne)

- Renseignements : G. Tessmer, DGMK, PO Box 60 05 49, D-22205 Hamburg, Allemagne. Tél. : +49 (40) 63900412. Fax : +49 (40) 6300736. E-mail : dgmk@online.de

9-13 novembre 1999

Expoquimia

Barcelone (Espagne)

- Renseignements : Expoquimia, Fira de Barcelona, BCN Promotions, 34bis, rue Geoffroy Saint Hilaire, 75005 Paris. Tél. : 01.47.07.29.39. Fax : 01.47.07.32.10.

DIVISIONS

Chimie analytique

13-14 avril 1999

Journées de la division, organisées à l'occasion de la Biennale des techniques et des processus industriels

Paris

- Renseignements : Mme Pascale Bridoux, SCL, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris. Tél. : 01.53.59.02.10. Fax : 01.45.55.40.33.

2-3 décembre 1999

Chimiométrie 99

Paris

La réunion est organisée avec la Société de Chimie Industrielle.

- Renseignements : SCL, 28, rue Saint-Dominique, 75007 Paris. Tél. : 01.53.59.02.10. Fax : 01.45.55.40.33.

Chimie de coordination

Élection du bureau

Le 25 janvier dernier a eu lieu l'élection pour la présidence et la vice-présidence de la division Chimie de coordination. Ont été élus : Olivier Kahn (président) et Bernard Meunier (vice-président).

- Olivier Kahn, ICMCB, Laboratoire des sciences moléculaires, 33608 Pessac. Tél. : 05.56.84.26.83. Fax : 05.56.84.26.49. E-mail : kahn@icmcb.u-bordeaux.fr

Concord-Gecom 98

Concertation en chimie de coordination/Groupe d'études en chimie organo-métallique

L'édition 98 de Concord-Gecom a rassemblé 92 personnes du 24 au 29 mai 1998 (5 journées complètes) au Centre de vacances des Quatre-Vents, à l'Épine, sur l'île de Noirmoutier en Vendée. Le programme scientifique était organisé autour de huit demi-journées, comportant chacune une conférence plénière de 50 minutes, une conférence invitée de 30 minutes, ainsi qu'une sélection de contributions orales de 20 minutes, d'une part ; de deux sessions de présentations par affiches en soirée, introduites préalablement par des communications orales « flash », d'autre part, de 3 minutes.

Cette manifestation a donné aux participants, et notamment aux jeunes doctorants et chercheurs, auxquels Concord-Gecom est avant tout dédié, l'opportunité d'apprécier les multiples facettes et interfaces des chimies de coordination et organo-métallique. Celles-ci furent illustrées par une

grande variété de conférenciers abordant l'interface avec la chimie moléculaire des matériaux avec notamment la chimie inorganique et les sol-gel fonctionnels, les nitrures, les réactions d'excision avec, en particulier, R. Corriu (Montpellier), P. Braunstein (Strasbourg), et W. Schnick (Bayreuth) ; les applications de la chimie organo-métallique en catalyse, introduites par S. Sabo-Étienne (Toulouse) et illustrées, entre autres, par R. Réau (Rennes) et I. Marek (Haïfa), en passant par la chimie de coordination avec la chimie du phosphore et des ligands phosphorés par P. Le Floch (Palaiseau) et leur rôle en catalyse homogène ; la chimie bio-inorganique, très bien illustrée par G. Jaouen (Paris) et R. Guillard (Dijon), avec pour chacun d'entre eux un souci d'aller vers des applications (biomédical, séparation de gaz). Les matériaux moléculaires ont été illustrés dans une optique organique par A. Gorgues (Angers), inorganique par M. Kurmoo (Strasbourg) et dans la combinaison des deux par E. Coronado (Valence) et A. Proust (Paris). Enfin, la chimie et physico-chimie des fluides complexes ont été abordées par un bouquet de conférences traitant des complexes de coordination cristaux liquides par D. Bruce (Exeter), de molécules amphiphiles perfluorées par M.-P. Krafft (Strasbourg), de molécules dendrimères par A.-M. Caminade (Toulouse), ainsi que par une contribution très pédagogique de physique de la matière condensée par P. Davidson (Orsay) présentant la physique et les enjeux de l'étude de tels systèmes anisotropes et, notamment, le thème en plein essor des cristaux liquides à cœur minéral. Ce carrefour thématique a souligné l'émergence de perspectives foisonnantes vers une chimie moléculaire de la matière condensée, adressant l'identification et la manipulation d'interactions intermoléculaires pertinentes, cruciales pour la compréhension des innombrables structures supramoléculaires qui nous entourent, de la reconnaissance de deux molécules complémentaires à la phase cristalline parfaitement organisée en passant par des systèmes plus désordonnés. La compréhension de ces réseaux complexes d'interactions concurrentes conditionne, en effet, notre capacité à anticiper et à comprendre la thermodynamique de ces systèmes, qui reflète par ailleurs la variété des transitions de phase (structurales, électroniques) que l'on y observe.

Il faut noter, enfin, l'organisation d'une table-ronde sur le thème : « De la recherche à l'industrie », construite autour des contributions de J. Lucas (université de Rennes 1) et X. Zhang (Vertex) pour leur travail sur les verres spéciaux et la création de la société Vertex, ainsi que de J. Riess (Alliance Pharmaceutical, San Diego) pour son travail sur les molécules perfluorées et sa contribution à leur développement au sein d'Alliance Pharmaceutical. Ces deux exemples et la grande expérience des intervenants dans le domaine ont permis de comparer les rouages français et américains permettant de passer de la recherche à l'industrie.

Il faut noter que si nous avons pu réaliser Concord-Gecom'98 et proposer, pour la première fois, quatre niveaux de tarifs allant de 1 900 (étudiants membre SFC/SCI) à 2 400 FF plein tarif, particulièrement attractifs pour les membres SFC/SCI, et instituer le format des invitations « bleues » de juniors en émergence (par référence au code de couleurs de l'affiche du congrès, « rouges » pour les conférences plénières seniors), c'est grâce au soutien financier du conseil régional des Pays-de-Loire, de l'université de Nantes, du Centre National de la Recherche Scientifique (département Sciences chimiques), de la Délégation Générale de l'Armement (Direction des Systèmes de Force et de la Prospective), de la Société Française de Chimie (divisions Chimie de coordination et Catalyse), de la Société de Chimie Industrielle, de l'Institut des Matériaux de Nantes, de SDS, d'Acros Organics, d'Aldrich-Sigma et de Strem, que nous remercions vivement.

P. Batail

Chimie physique

Prix 1999 de la division

La division Chimie physique attribue tous les ans deux prix :

Prix de la division

Ce prix annuel d'un montant de 10 000 F est décerné, sur proposition du conseil de la division Chimie physique, à un chercheur confirmé, pour ses travaux, fondamentaux ou appliqués, dans le domaine de la chimie physique ou de la biophysique. Le candidat (40 ans environ) devra présenter un travail personnel original, d'un très bon niveau scientifique et qui soit marquant dans le domaine. Il devra s'être affirmé par la qualité et l'originalité de ses recherches et les initiatives qu'il aura prises pour leur orientation.

Le dossier de candidatures devra comporter une présentation en quelques pages du travail, un curriculum vitae du candidat, une liste de publications et 2 ou 3 publications récentes.

Prix du Jeune chercheur :

Ce prix annuel d'un montant de 5 000 F est décerné, sur proposition du conseil de la division Chimie physique, à un jeune chercheur pour un travail original dans le domaine de la chimie physique ou de la biophysique. Les recherches présentées devront avoir été effectuées durant les 2 à 3 ans après sa thèse. Le candidat devra avoir fait preuve d'initiative pour la définition du sujet et d'imagination pour l'obtention des résultats.

Le dossier de candidature devra comporter un résumé de quelques pages des travaux, un curriculum vitae et une liste de publications ainsi qu'une ou plusieurs publications. Une lettre de recommandation du directeur de recherche sera appréciée.

Les candidatures libres ou celles présentées par un parrain seront acceptées.

Nous incitons les candidats à s'inscrire à la Société Française de Chimie.

- Les dossiers de candidature devront parvenir avant le 16 avril 1999, à la division Chimie physique, SFC, Laboratoire de Chimie physique, 11, rue Pierre et Marie Curie, 75005 Paris.

Commission interdivisions Enseignement

Prix 1999 d'enseignement de la chimie

Comme chaque année, la commission interdivisions Enseignement de la Société Française de Chimie se propose d'attribuer le prix d'enseignement de la chimie 1999 à la personne qui aura le mieux contribué à une amélioration de l'enseignement expérimental de la chimie, faisant preuve dans ce domaine d'une activité reconnue et appréciée par la communauté des chimistes. Les candidatures devront être parrainées par un membre de la Société Française de Chimie et adressées, sans indication de nom, au président de la commission, au siège de la Société, au plus tard le 20 avril 1999.

- Société Française de Chimie, M. le Président de la Commission Interdivisions Enseignement, Prix 1999, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.

SECTIONS

Champagne-Ardenne

1er avril 1999

Assemblée générale annuelle de la section

Reims

- F. Mathey, vice-président de la SFC, directeur de recherche au CNRS (École polytechnique) présentera à cette occasion une conférence : *Applications de la chimie du phosphore dicordiné*.

- Charles Portella, Faculté des sciences, UMR 6519, BP 1039, 51687 Reims Cedex 2.
Tél. : 03.26.05.32.34. Fax : 03.26.05.31.66.
E-mail : charles.portella@univ-reims.fr

Nord-Pas-de-Calais-Picardie

Renouvellement du bureau

Les élections relatives au renouvellement du bureau de la section se sont déroulées le 20 janvier 1999. Le nouveau bureau est constitué de :

- Roger De Jaeger (président)
- Claude Loucheux (vice-président)
- Élisabeth Bordes (vice-président, Compiègne)

- Jean-Marie Aubry (secrétaire)
- Didier Barbry (trésorier)
- Karel Bujadoux (relations industrielles)

- Roger De Jaeger, USTL, Laboratoire de spectrochimie infrarouge et Raman (LASIR), bât. C5, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex. Tél. : 03.20.43.49.01.
E-mail : Roger.Dejaeger@univ-lille1.fr

Provence-Alpes-Côte d'Azur

26 mars 1999

12e Journée régionale de la chimie

Marseille-Luminy

Sur le thème « interface chimie-biologie », il est prévu 2 séances de posters, 6 communications orales présentées par des jeunes chercheurs. De plus, 2 conférences plénières seront données, l'une par D. Mansuy (université Paris V), l'autre par P. Albrecht (université Strasbourg I).

- J. Barbe, GERCTOP-UPRES A CNRS 6009, Faculté de Pharmacie, 27, bd Jean-Moulin, 13385 Marseille Cedex 5. Tél. : 04.91.79.38.32. Fax : 04.91.83.56.30.
E-mail : gerctop@pharmacie.univ-mrs.fr

Rhône-Alpes

22 avril 1999

Journée de printemps

Lyon

Cette journée se tiendra à l'université Claude-Bernard Lyon I, campus de la Doua, Villeurbanne. Elle comprendra une conférence plénière (C. Pétrier, université de Savoie, Chambéry), et des communications orales (26 communications en deux sessions en parallèle)

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

CLUBS DE JEUNES

L'équipe emploi/clubs des jeunes/formation se renforce

Au 1er janvier 1999, Nicole Leray a rejoint la SFC à titre bénévole.

Mme Leray vient renforcer l'équipe « emploi/clubs de jeunes/formation ». Elle travaillera donc en concertation permanente avec Bernard Brunie et Guy Lartigau.

Au cours de sa carrière, N. Leray a dirigé pendant 8 ans le Service Commun Universitaire d'Information et d'Orientation (SCUIO) de l'université Paris XI, dont les missions sont d'aider à l'information sur les cursus universitaires et à l'aide à l'insertion professionnelle des jeunes.

Depuis 3 ans, elle travaille également bénévolement à l'Association Bernard Grégory.

14-19 août 1999

European younger chemists Congress

Berlin

A l'occasion du 37e Congrès de l'IUPAC et de la 27e Assemblée générale de la GDCh, les jeunes chimistes allemands de la GDCh organisent une rencontre au niveau européen. La Société Française de Chimie a été sollicitée pour que les clubs de jeunes participent aux manifestations prévues dans ce cadre, selon le programme suivant :

1- Faire un exposé avec questions-réponses sur le thème « Étudier en Grande-Bretagne : comment et pourquoi ».

2- Tenir un stand d'information sur les études de chimie en France.

3- Présenter des posters scientifiques, le thème du congrès étant : *Frontiers in chemistry : molecular basis of the life sciences, chemical synthesis related to biology, chemical and physical mechanisms in biological functions, applications for health, nutrition and ecology.*

- Pour tous renseignements, s'adresser à :

- Olivier Marcq (club de Dijon).

Tél. : 03.80.39.61.26

E-mail : Olivier.Marcq@u-bourgogne.fr

- Patrice Guiose (club Ile-de-France).

Tél. : 06.07.52.96.61.

E-mail : p.guiose@expresso.tm.fr

- Raphaël Terreux (club de Nice).

Tél. : 04.92.07.61.26. E-mail : terreux@unice.fr

- Guy Lartigau (délégué SFC).

Tél. : 01.69.05.20.20. E-mail : sfc@sfc.fr

Club de Reims

Nouveau bureau du club pour l'année 1999 :

- Sonia Masset (présidente)

- Damien Saleur (trésorier)

- Secrétaires : Marie Laronze (pôle pharma), Olivier Roy (pôle sciences), Caroline Jubert (déléguée étudiants licence-maîtrise),

- Membres : Sophie Faure (déléguée visites d'entreprises), Franck Augé (délégué conférences), Christina Viegas, Corinne Witkowski-Vantenplas.

- Sonia Masset, UFR Sciences, GRECI, bât. Europol'Agro, Moulin de la Housse, BP 1039, 51687 Reims Cedex 2.
Tél. : 03.26.05.31.75. Fax : 03.26.05.32.27.

Club de Rouen

1er avril 1999

Journée jeunes chercheurs

Rouen

Les doctorants de 2e et 3e année de thèse exposeront leurs travaux en trente minutes environ dont

10 minutes seront consacrés aux questions. Lors de cette journée, le nouveau bureau du club des jeunes et des permanents sera élu.

- Sylvie Colin, Faculté des Sciences de Rouen, IRCOF UPRES 6014, BP 118, 76821 Mont Saint Aignan Cedex. Tél. : 02.35.52.24.45. Fax : 02.35.52.29.71. E-mail : Sylvie.Renault@univ-rouen.fr

GRUPE

Formulation

27-28 octobre 1999

7e Journées de formulation

Villeneuve d'Ascq

Ces Journées qui se tiendront à la Cité scientifique de Villeneuve-d'Ascq sont organisées par le groupe Formulation de la Société Française de Chimie et par les sections Nord du Groupe Français des Polymères et de l'Association Française des Techniciens en Peintures, Encres, Vernis et Adhésifs. Elles sont placées sous l'égide de l'École Nationale Supérieure de Chimie de Lille et de l'Université des Sciences et Technologies de Lille.

Autour du thème général « formulation et modifications de surfaces », le premier jour du colloque sera dédié aux modifications des surfaces dures (matériaux de construction, verres, plastiques, métaux), alors que le deuxième jour sera consacré aux fibres (cheveux, laine, coton), aux composés granulaires (pigments, charges) et aux méthodes de caractérisation microscopique et spectroscopique des surfaces.

Date limite d'envoi des résumés de communications par affiche : 15 mai 1999.

- Renseignements : Journées de formulation, ENSCL, BP 108, 59652 Villeneuve d'Ascq Cedex. Tél. : 03.20.33.64.18. Fax : 03.20.47.05.99. E-mail : j.formulation@ensc-lille.fr
Serveur : <http://www.ensc-lille.fr/congres/formul.htm>

Parrainages

12-14 mai 1999

9e Réunion MIEC : Multimédia et informatique pour l'enseignement de la chimie

Bruxelles (Belgique)

Quatre ateliers seront organisés :

- Université en ligne (1er cycle sur mesure) - atomistique, cinétique, thermodynamique.
- Ressources francophones en chimie sur le Web.
- La modélisation moléculaire et ses logiciels (niveau débutant).
- La modélisation moléculaire et ses logiciels (niveau supérieur).

Thème de la table ronde : Quelles nouvelles technologies informatiques et de communication dans nos pays francophones ?

- Renseignements : Jean-Pierre Rabine, Centre documentaire Informatique Enseignement Chimie (CDIEC), université de Nice Sophia-Antipolis, 06108 Nice Cedex 2. Tél. : 04.92.07.61.23. Fax : 04.92.07.61.25. E-mail : rabine@unice.fr
Serveur : <http://www.unice.fr/cdiec/> ou <http://www.ulb.ac.be/sciences/cudec/index.html>

16-21 mai 1999

Concoord-Gecom 99

Landerneau

- Renseignements : Yves Le Mest, Université de Bretagne Occidentale, BP 809, 6, avenue Le Gorgeu, 29285 Brest Cedex. Tél. : 02.98.01.61.44/67.13. Fax : 02.98.01.65.94. E-mail : yves.lemest@univ-brest.fr
Serveur : <http://www.univ-brest.fr/Concoord-Gecom99/>

27-28 mai 1999

1e Rencontres franco-belges de chimie organique

Houffalize (Belgique)

Ces rencontres, organisées sous les auspices de la Société Royale de Chimie (division Chimie organique) et de la Société Française de Chimie, sont le prolongement de la Journée de Chimie organique qui était organisée annuellement depuis plusieurs années à l'Université Libre de Bruxelles.

- Renseignements : Véronique Garin, Université Libre de Bruxelles, Faculté des sciences, Service Chimie organique, CP 160/06, av. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles, Belgique. Tél. : +32 (2) 650.30.39. Fax : +32 (2) 650.27.98. E-mail : vgarin@ulb.ac.be
Serveur : <http://www.ulb.ac.be/sciences/sco>

10-11 Juin 1999

Journées thématiques du Groupe Français de Spectroscopie Vibrationnelle

Caen

- Renseignements : J.C. Lavalley, Laboratoire catalyse et spectrochimie-UMR 6506, 6 Bd du Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex. Tél. : 02.31.45.28.14. Fax : 02.31.45.28.22. E-mail : lavalley@ismra.fr

6-9 septembre 1999

16e Journées françaises de spectrométrie de masse

Nancy

Le congrès abordera les principaux aspects fondamentaux et instrumentaux de la spectrométrie de masse et ses applications analytiques en recherche et en technologie industrielle. Toutes les communications (orales ou par affiches) ayant trait aux différents domaines de la spectrométrie de masse seront les bienvenues.

- Renseignements : Pascale Henner, 16e Journées françaises de spectrométrie de masse, Laboratoire

sols et environnement, INRA-ENSAIA/INPL, 2, avenue de la Forêt de Haye, BP 172, 54505 Vandœuvre lès Nancy Cedex. E-mail : henner@ensaia.u-nancy.fr
Serveur : <http://www.inra.fr/COLLOQUES/PROG/nancy.html>

14-16 septembre 1999

3rd international Symposium on inorganic phosphate materials'99

Lille

Thèmes retenus : aspects fondamentaux de la science des phosphates, apatites et leurs applications, propriétés optiques et électriques, catalyse, verres, vitro-céramiques, matériaux phosphorés contenant de l'azote (phosphazènes, amidophosphates...).

Ce colloque a reçu le parrainage de la Société Française de Chimie (section Nord/Pas-de-Calais/Picardie). La date limite de soumission des résumés est fixée au 31 avril 1999 pour les membres de la SFC, qui bénéficieront d'une réduction de 20 % sur les frais d'inscription.

- Renseignements : L. Montagne, Laboratoire de cristallographie et physicochimie du solide, USTL-C5, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex. Tél. : 03.20.43.41.86. Fax : 03.20.33.72.46. E-mail : Lionel.Montagne@univ-lille1.fr
Serveur : <http://www.ensc-lille.fr/isipm3.htm>

PLIS CACHETÉS

La SFC a reçu le pli cacheté suivant (*droits de garde 80 F par pli cacheté déposé*) :

- Le 18 janvier 1999, de E. Fache, J. Jenck, J.P. Brunelle (Rhône-Poulenc Industrialisation, Rhodia Fiber and Resin Intermediates et Rhodia Alsachimie), sous le n° 335.

ANALYSIS

European Journal
of Analytical Chemistry
(EurJAC)

Sommaire du n° 1, janvier-février 1999

- Dossier : Importance de la lipophilie en modélisation moléculaire, coordonnée par A. Carpy
- Importance de la lipophilie en modélisation moléculaire, par A. Carpy
- The solvation concept approached by lipophilicity, by M.H. van Eyck, P. Ducarme, N. Benhabiles, A. Thomas, R. Brasseur
- The molecular free energy surface density (MOLFESD). Approach for a quantitative treatment of hydrophobicity, by J. Brickmann, R. Jäger
- Development of empirical molecular interaction models that incorporate hydrophobicity and hydrophobicity. The HINT paradigm, by G.E. Kellogg, D.J. Abraham

- AUTOLOGP™ : A computer tool for simulating n-octanol water partition coefficients, by J. Devilliers

- La probabilité d'hydratation moléculaire : un nouveau concept pour le calcul du log P d'une molécule à partir de sa structure 3D, par N.T.D. Nguyen, E. Kummer, J.P. Dubost, T. Covard, J. Barbanton, A. Carpy

- Molecular hydrophobicity index : application to a series of allosteric modulators of the M2 receptors, by G. Vistoli, A. Pedretti, A.M. Villa, A.U. Holzgrabe, A. Cambareri

Original articles

- Comparison between two carbonyl measurement methods in the atmosphere, by C.P. Ferrari, R. Durand-Jolibois, P. Carlier, A.V. Jacob, A. Roche, P. Foster, P. Fresnet

- Potentiometric enantioselective membrane electrode for s-enalapril assay, by H.Y. Aboul-Enein, S. Raluca-Ioana, J.F. van Staden

- Flow injection potentiometric determination of Fe(III) using a fluoride-selective electrode as detector, by M. Bralic, N. Radic

- Determination of mercury in estuarine sediments by flow injection-cold vapour atomic absorption spectrometry after microwave extraction, by M.L. Martínez-García, A. Carlosena, P. López-Mahía, S. Muniategui, D. Prada

- Development of an *in vitro* test for screening of chelators of uranium, by O. Braun, C. Contino, M.-H. Hengé-Napoli, E. Ansoborlo, B. Pucci

- Quantitative analysis of pungent principles of pepper oleoresins : comparative study of three analytical methods, by I. Noyer, B. Fayet, I. Pouliquen-Sonaglia, M. Guerere, J. Lesgard

- Municipal solid waste incineration bottom ash : physicochemical characterization of organic matter, by S. Dugenes, H. Casabianca, M.F. Grenier-Loustalot

- Clustering of infrared spectra with Kohonen networks, by C. Cleve, C. Cachet, D. Cabrol-Bass

- Application of a rotatable orthogonal central composite design to the optimization of the formulation and utilization of an useful plasticizer for cement, by A. Kamoun, B. Samet, J. Bouaziz, M. Châabouni*

Letters to editor

- Determination of phosphorous oxoanions in pharmaceuticals using non-suppressed ion chromatography, by M.A. Bello, A.G. González.

Réduction aux membres de la SFC dans les hôtels : Balladin, Climat de France et Tradition de France

A dater du 1^{er} octobre 1998, les conditions de réduction accordées aux membres de la SFC dans les hôtels *Balladin*, *Climat de France* et *Tradition de France*, sont les suivantes :

- 10 % dans le cadre du séjour sans repas.

- 15 % dans le cadre du séjour avec repas (minimum 2 plats) et petit-déjeuner.

- Petit-déjeuner en sus aux prix affichés.

- Ces conditions ne peuvent être cumulées avec d'autres avantages tarifaires, tarifs W.E., promotions, ou autres remises.

Réservations :

Les réservations doivent impérativement être effectuées auprès de la Réservation Centrale Hôtels & Compagnie au numéro 01.64.46.19.57.

Les brochures et le code confidentiel sont à votre disposition sur simple demande à la SFC. Tél. : 01.40.46.71.60.

SANOFI CHIMIE

78-84, avenue Raspail - 94255 GENTILLY Cédex
Tél. : 01 41 24 70 00 - Fax : 01 41 24 76 06

Recommandations aux auteurs d'articles pour *L'Actualité Chimique*

I - Nature et contenu des articles

L'Actualité Chimique est un périodique qui vise essentiellement à assurer des **échanges** de connaissances, d'idées, de points de vue entre professeurs des enseignements supérieur et secondaire, chercheurs, industriels et étudiants.

En conséquence, la revue présente, outre des **articles scientifiques de haut niveau** relatifs, notamment, à des avancées importantes des connaissances ou des procédés industriels, des **textes relativement brefs** (au maximum, 10 à 15 pages dactylographiées avec double interligne), **actuels, accessibles à l'ensemble des lecteurs**, ne comportant que la bibliographie essentielle (15 à 20 références au maximum).

Les textes publiés dans *L'Actualité Chimique* sont destinés, en général, à être lus par des chimistes non spécialisés dans votre domaine. Il est donc indispensable :

- d'éviter toute rédaction ésotérique,
- d'expliquer toute abréviation,
- de commencer par une introduction de quelques lignes pour situer l'article,
- d'illustrer les articles par des figures et tableaux.

II - Recommandations d'ordre technique

Les manuscrits soumis à *L'Actualité Chimique* doivent nous parvenir sous deux formes :

• Sur trace papier, en 3 exemplaires

Tableaux, figures et références sont appelés dans le texte.

Les tableaux, figures et les photos sont présentés séparément et accompagnés d'une légende en français (comme le texte apparaissant dans les figures). L'original de ces documents doit nous être fourni pour pouvoir être directement cliché par l'imprimeur.

• Sur disquette

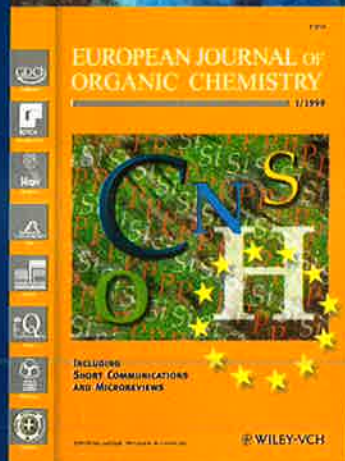
De préférence en Word 5 ou 6, en Mac ou PC. Sinon, préciser sur la disquette le nom du ou des logiciels utilisés, ainsi que leur version.

Important

Tout manuscrit doit être accompagné :

- D'un **résumé français** et d'un **résumé anglais** (pas plus de 10 lignes dactylographiées), pour une diffusion maximale de la revue,
- De la **traduction du titre en anglais**,
- De **mots clés** (maximum 5), en français et en anglais.
- Des renseignements suivants : le **nom**, le **prénom** des auteurs, leur **fonction** (professeur, ingénieur, etc.), l'**adresse** complète avec le **téléphone**, le **Fax** et l'adresse électronique (E.mail).

UNITY IS STRENGTH:



WILEY-VCH
1999
12 issues per year
ISSN 1434-193X

Order Your Free Sample Copy now:

Just copy, fill in and fax to:
+49(0) 62 01/606-172

- Please send me a free sample copy and price information
- And the personal subscription rates for members of the owner societies.
- I am a member of:

Title/Name:

Company/Firm:

Address:

Post/ZIP Code:

Country:

European Journal of Organic Chemistry publishes full papers, microreviews, and short communications from the entire spectrum of synthetic organic and bio-organic chemistry, and the chemistry of natural products, formerly contained in the journals on the right. The microreviews introduce you to a specific area of an author's research through a detailed overview of a selected topic.

Available online

A Special Online Offer
for 1999 Subscribers

Subscribe at the Full Rate and receive full text online access –
Visit Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com)
for complete details

Grown out of these journals

European Journal of Organic Chemistry is owned and supported by the following Societies:

- Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging (Belgium)
- Société Royale de Chimie (Belgium)
- Société Française de Chimie (France)
- Gesellschaft Deutscher Chemiker (Germany)
- Association of Greek Chemists (Greece)
- Società Chimica Italiana (Italy)
- Sociedade Portuguesa de Química (Portugal)
- Real Sociedad Española de Química (Spain)
- Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging (The Netherlands)

 WILEY-VCH