

CHIMIE, QUAND TU NOUS TIENS !

PAR JEAN-CLAUDE BERNIER



© CNRS - N.

Au-delà du mot facile selon lequel « la chimie est dans tout et réciproquement », une réflexion approfondie sur notre discipline confirme que la chimie est présente dans tout ce qui nous entoure. Tous les objets que nous portons, tous les produits qui nous passent entre les mains du matin au soir ont trempé de près ou de loin dans les « chaudrons » des chimistes ! Est-ce parce que la chimie est trop présente dans notre quotidien qu'elle n'occupe pas la première place dans le cœur du public ? Est-elle la mal-aimée des médias parce qu'ils s'arrêtent souvent à ses manifestations négatives et visibles, telles que les fumées, les pollutions... ?

Que d'ingratitude ! Car comment le monde changerait-il sans la chimie ? Comment ne deviendrait-il pas plus triste et dur ?

Tout d'abord, sans médicaments ni molécules thérapeutiques, la santé et la vie de nos contemporains subiraient un retour en arrière moyenâgeux.

Sans peintures, sans pigments, sans fards ni crèmes, la vie dans nos villes serait morose, en noir et blanc, nos compagnes moins brillantes, et nos métaux corrodés à grande vitesse. Sans polymères ni plastiques, saurions-nous obtenir ces formes complexes et colorées pour tous ces objets courants créés par les « designers » ?

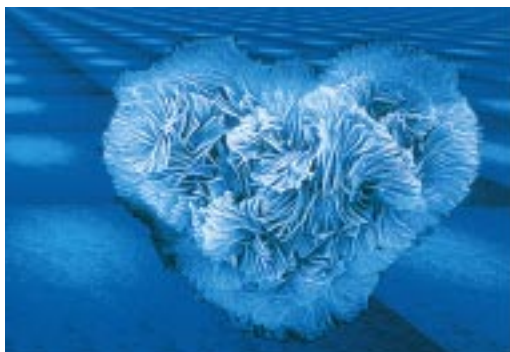
Sans piles, sans batteries, comment ferions-nous pour communiquer, écouter, téléphoner ?

Nous pourrions multiplier les exemples et montrer que, sans la chimie, notre alimentation, notre hygiène, notre habillement, notre vie même, seraient radicalement changés. C'est dire l'importance sur le plan économique et sur le plan de la recherche de cette science centrale. C'est dire aussi l'intérêt qu'ensemble, industriels, chercheurs et enseignants, nous avons à contribuer à l'amélioration de son image et à faire connaître au public et aux médias ses aspects positifs et constructifs.

Les caractéristiques de la chimie et de la recherche en chimie sont nombreuses. Qu'il me soit permis d'en retenir trois :

- La chimie sait et doit garder son métier de base, qui est celui de faire de nouvelles molécules, de nouveaux cristaux, de nouveaux polymères, verres, alliages, etc. Elle doit rester créatrice.

- La chimie peut et doit, quand il le faut, changer d'échelle. Du stade de la molécule au produit, il y a parfois un long chemin, mais l'extrapolation, la formulation, la mise en forme ont maintenant leurs modèles et leurs concepts et sont en mesure de progresser rapidement.



SPHÉROLITE DE POLYÉTHYLÈNE FORMÉ
PAR CRISTALLISATION EN MILIEU
SUPERCRITIQUE. © CNRS, ICS - S. Gräff

- La chimie s'implique dans les domaines voisins : les matériaux avec la physique, le médicament avec la biologie, l'environnement avec les spécialistes des sciences de l'univers.

Il y a un courant de dynamisme et d'enthousiasme chez nos jeunes chercheurs et enseignants, traversés par des fulgurances transversales : la dynamique moléculaire, la catalyse de polymérisation, la nanochimie, les supraconducteurs, la chimie combinatoire... Il y a aussi des difficultés et des découragements liés aux cycles économiques mondiaux de la chimie, aux difficiles adéquations entre l'emploi et la formation et aux moyens attribués à la recherche de haut niveau.

En ce changement de millénaire, il est bon de réfléchir un peu au devenir de notre discipline, la chimie. Le nouveau plan d'action qui a été mis en discussion au sein de la communauté des chimistes entend contribuer à cette réflexion. Il tient compte des avis des sections du Comité national et du Conseil de département, et il fait une synthèse, bien sûr trop succincte, des grands courants scientifiques qui agitent et animent la communauté nationale et internationale des chimistes. Sans avoir la prétention d'être exhaustif, il présente quelques axes généraux qui paraissent essentiels à divers titres dans nos champs de recherche.

Des évolutions, des craintes, des espoirs sont perceptibles aujourd'hui à la fois dans nos modes d'organisation, dans le comportement des scientifiques et dans la pression qui s'exerce sur la chimie dans un environnement social et économique de plus en plus changeant. Si la chimie a souvent l'honneur d'être, avec les mathématiques, une science qui crée ses propres objets d'étude, elle est aussi, en économie, l'industrie des industries et, de ce fait, subit de plein fouet – souvent même quelques années avant les autres – les évolutions des disciplines et de l'économie.

La première crainte tient à deux faits nouveaux : la formidable baisse des coûts des matières premières (notamment de la source principale de la chimie de base, le pétrole), et les restructurations ou les fusions des grands groupes à l'échelle mondiale. Ces deux faits ont et auront des conséquences inévitables sur la recherche et le développement. En effet, la baisse des résultats entraîne des plans d'économies qui restreignent les programmes de recherche. De plus, les fusions induisent, grâce à l'équation bien connue $1 + 1 = 1$, une mutualisation des moyens de recherche à l'échelle planétaire qui peut entraîner le départ progressif d'une partie de ces moyens du territoire national, voire européen.

Les laboratoires publics de recherche en chimie, qui sont depuis longtemps liés naturellement à l'industrie, devront donc :

- se recentrer et se regrouper autour de lieux et de thèmes communs pour constituer des pôles visibles et concurrentiels sur le plan international ;
- repenser leurs moyens d'action pour une meilleure rentabilité, avec un nombre restreint de jeunes doctorants et moins de débouchés industriels nationaux en R & D pour les diplômés.

On peut être certain aussi que les pays n'auront pas tous la vocation – ni les moyens – de développer tous azimuts toutes les disciplines et que la coordination européenne en matière de recherche va s'accroître. Ne subsisteront donc à terme que les secteurs où la qualité, la primauté et l'originalité seront reconnues sur le plan mondial !

Une évolution importante du mode de pensée des chercheurs est due à l'influence de l'environnement universitaire, social et économique. Les laboratoires sont de moins en moins des citadelles ou des tours d'ivoires et de plus en plus des lieux ouverts. Les carrières de chercheur ne seront plus linéaires, mais doubles ou triples, associant des fonctions d'enseignant, de manager, d'entrepreneur, ou encore de développeur en milieu industriel. Il est non moins certain que l'État et l'opinion demanderont, et avec raison, davantage de comptes et d'explications à notre communauté. Aussi, devant les nouvelles exigences de la société à l'égard du développement durable, de l'environnement, de la santé, de l'emploi, le jeu intellectuel des communautés « s'auto-citant » dans un élégant et brillant bruit de fond, paraîtra-t-il au fil des années un peu vain et désuet. Seule une chimie utile qui sait prendre en compte les critères de rentabilité d'investissement public, qui propose une innovation conséquente, et qui accompagne les ruptures technologiques sera en mesure de relever les défis que nous réserve le troisième millénaire.

Une dernière évolution, déjà manifeste dans la décennie précédente, est l'orientation très marquée, notamment en chimie organique et moléculaire, vers les Sciences du vivant. Cette orientation sociétale vers la préservation de la santé, qui est le propre des civilisations évoluées et riches qui n'ont plus la préoccupation de survivre, mais de se perpétuer et de vivre confortablement le plus longtemps possible, va sans doute s'accroître. Après le soutien important apporté à la biologie structurale et aux recherches sur le génome (parfois tributaire des effets de mode), « l'après génome » fera de plus en plus appel aux concepts et méthodes de la chimie. La protéomique sollicitera une chimie de synthèse classique ou par biotechnologie pour mieux utiliser les données structurales et de reconnaissance moléculaire dans la conception d'effecteurs biologiques. Certes, la thérapie génique aura ses applications, mais c'est la chimie thérapeutique qui saura répondre aux attentes des patients dans les vingt prochaines années. L'interface vivra si nous savons diffuser les raisonnements de la chimie vers la biologie au sein d'unités mixtes ou de réseaux où, réunis autour des mêmes objectifs, biologistes et chimistes collaboreront étroitement.

Entre un scénario catastrophe où des pans entiers de la recherche et du développement disparaîtraient de France et un appel massif de recherche dans des secteurs où nous serions incapables de répondre à la demande, il y a bien sûr de la marge. On peut cependant prédire quelques changements radicaux sur les méthodes, les personnels et la valorisation. Il est de notre devoir de nous y préparer.

J.-C. B.



LA CHIMIE AU SERVICE DE L'HOMME

> SCIENCE DE LA CRÉATION DE NOUVELLES FORMES DE MATIÈRE, SCIENCE DE LA COMPRÉHENSION DE LA NATURE ET DE LA MATIÈRE, LA CHIMIE EST UN FACTEUR DE DÉVELOPPEMENT MAJEUR DE NOTRE CIVILISATION. ELLE TRANSFORME NOS CONDITIONS DE VIE EN FOURNISSANT DE NOUVEAUX OBJETS ET ELLE PERMET À L'HOMME DE MODIFIER LA VIE ELLE-MÊME PAR LA COMPRÉHENSION TOUJOURS PLUS FINE QU'ELLE EN APORTE. MOUVEMENT SCIENTIFIQUE PARTICULIÈREMENT FÉCOND, LA CHIMIE DÉVELOPPE DES RECHERCHES EN INTERFACE ENTRE PLUSIEURS DISCIPLINES ET TROUVE DES APPLICATIONS DANS LE DOMAINE DE L'ENVIRONNEMENT, DES MATÉRIAUX, EN BIOLOGIE, ET EN PHARMACOLOGIE.

L'ENVIRONNEMENT

À l'aube du troisième millénaire, la protection de l'environnement constitue un des enjeux majeurs de notre société. Les réglementations françaises, européennes et internationales vont imposer des contraintes de plus en plus sévères concernant les concentrations de métaux lourds, de dérivés organo-halogénés, de molécules organiques, de gaz NO_x, CO et SO₂ dans les effluents liquides, gazeux et les déchets solides. Tout doit donc être mis en œuvre pour trouver des solutions alternatives, des procédés propres et des voies viables pour la dépollution et la gestion des déchets industriels et domestiques.

Le département des Sciences chimiques du CNRS entend relever ces nouveaux défis et promouvoir une « chimie active ». Département important en matière de protection de l'environnement, il est associé à d'autres départements (Sciences de l'Univers, Sciences de la Vie) et à d'autres organismes de recherche (CEA, INRA, IFREMER...) dans le cadre de programmes pluridisciplinaires qui seront amenés à se multiplier. Son action en matière de protection de l'environnement se décline en trois volets : la physico-chimie analytique, la chimie préventive (chimie verte) et la chimie curative.

Une physico-chimie analytique forte

Les laboratoires du département des Sciences chimiques étudient les processus chimiques et biologiques en agro-alimentaire et dans les milieux naturels : l'eau, les sols,

la géosphère et l'espace interstellaire. Les recherches qui interrogent les mécanismes de pollution de l'environnement (métaux lourds, composés organiques et organo-métalliques) s'organisent autour de la chimie physique et de la spectrochimie. La spectrochimie analyse les traces des polluants dans les milieux naturels et met au point des capteurs spécifiques (détection radar, fluorescence, infrarouge...) plus sensibles, plus fiables et plus rapides. La chimie physique valide ces mesures spectroscopiques en élaborant des modèles chimiques qui apportent une meilleure connaissance des propriétés des polluants, de leur mécanisme de transfert et d'action, de leur répercussion sur le milieu, etc.

La chimie verte à l'honneur

La politique industrielle de l'environnement ne peut plus s'accommoder de l'action de certaines molécules comme les fongicides, les insecticides ou les engrais, ni des procédés industriels qui conduisent à des pertes en effluents, en déchets ou en produits secondaires. À tous les échelons, une chimie verte doit se développer, qui mettra au point des catalyses sélectives à haut rendement, des synthèses sans solvant et économes en énergie et en matière première, des procédés « propres » et des matériaux biodégradables. Comment réduire les émissions de CO₂, par séparation, par adsorption dans les milieux dilués ou encore par recyclage comme matière première ? Comment améliorer le stockage chimique et électrochimique de l'énergie (membranes à faible coût pour les piles à hydro-

ÉPURATION VERTE DES EAUX USÉES
DOMESTIQUES : CULTURE
COMPRIMÉE DE LAITUE D'EAU.
© CNRS, URA 454 - Y. Charbonnel



gène, batteries et véhicules à propulsion électrique...) ? Tels sont les chantiers sur lesquels s'activent les chimistes soucieux de protéger l'environnement.

Une chimie curative inévitable

Malheureusement, dans le domaine de la protection de l'environnement, on ne peut s'en tenir à une politique préventive. Le traitement des polluants et les procédés de dépollution demeurent une priorité :

- **La chimie de l'eau** : elle offre des solutions pour l'élimination des traces organiques et minérales, les séparations, les extractions spécifiques et les filtrations. La recherche dans ce domaine s'organise autour de l'étude approfondie des milieux naturels et de l'examen des avantages qualitatifs, environnementaux (développement durable) et économiques dont la chimie de l'eau est porteuse.
- **La catalyse** : la recherche sur les procédés catalytiques a lieu en amont de la combustion (désulfuration et déazotation des carburants) et en aval (postcombustion, oxydation des composés organiques volatils, traitement des suies).
- **Le traitement des déchets** : les actions portent sur trois axes principaux : diminution des volumes (études de procédés pour les déchets ultimes, nouveaux matériaux d'emballage), recyclage (compatibilités de polymères, de métaux) et mise au point de matrices résistantes pour le stockage des déchets radioactifs.

DES PROCÉDÉS CATALYTIQUES PLUS PERFORMANTS ET MOINS POLLUANTS POUR LA TRANSFORMATION ALIMENTAIRE ET NON ALIMENTAIRE DE SUCRES

COMMENT VALORISER LES EXCÉDENTS DE PRODUCTION ET DE DÉCHETS AGRICOLES OU FORESTIERS ? CETTE QUESTION REVÊT DE PLUS EN PLUS D'IMPORTANCE POUR LES POLITIQUES AGRICOLES. DE NOUVEAUX PROCÉDÉS ONT ÉTÉ ÉLABORÉS, QUI PERMETTENT DE RÉDUIRE LES COÛTS DE PRODUCTION TOUT EN RESPECTANT LES NORMES ACTUELLES EN MATIÈRE D'ENVIRONNEMENT. ILS ÉVITENT, EN PARTICULIER, LA PRODUCTION D'EFFLUENTS ACIDES OU BASIQUES QU'IL FAUT RETRAITER.

CES NOUVEAUX PROCÉDÉS CATALYTIQUES ONT FAIT L'OBJET DE HUIT DÉPÔTS DE BREVET, DONT SIX AVEC EXTENSION À L'ÉTRANGER ; UNE LICENCE D'EXPLOITATION A ÉTÉ PRISE PAR LA SOCIÉTÉ AGRICHIMIE (MARTINIQUE). ILS ONT ÉTÉ DÉVELOPPÉS PAR L'ÉQUIPE DE CLAUDE MOREAU AU LABORATOIRE DE MATÉRIAUX CATALYTIQUES ET CATALYSE EN CHIMIE ORGANIQUE (CNRS-ENSC DE MONTPELLIER), EN COLLABORATION AVEC LE CEA, L'ANVAR ET LA SOCIÉTÉ AGRICHIMIE.

CES TECHNIQUES METTENT EN ŒUVRE DES SOLIDES MICROPOREUX, HABITUELLEMENT UTILISÉS DANS LE RAFFINAGE PÉTROLIER, DANS DES PROCÉDÉS ALIMENTAIRES COMME LA PRODUCTION DE SUCRES LIQUIDES, OU NON ALIMENTAIRES COMME LA PRODUCTION DE TENSIO-ACTIFS NON IONIQUES, OU CELLE DE PRÉCURSEURS FURANIQUES DE MATÉRIAUX POLYMÈRES POSSÉDANT DES PROPRIÉTÉS ÉQUIVALENTES À CELLES DES POLYMÈRES HABITUELLEMENT PRÉPARÉS À PARTIR DU PÉTROLE.



SYNTHÈSE ORGANIQUE DE MACROMÈRES.
© CNRS, CBM - Ph. Plailly

LA CHIMIE DES FARDS DANS L'ÉGYPTE PHARAONIQUE

LES FOUILLES ARCHÉOLOGIQUES ONT-ELLES FINI DE DÉVOILER LES SECRETS DE L'ÉGYPTE ANCIENNE ? NON, À EN JUGER PAR LES TRÉSORS QUE RECÈLENT ENCORE LES SÉPULTURES ÉGYPTIENNES COMME PAR EXEMPLE DES COFFRETS DE MAQUILLAGE CONTENANT DES MIROIRS, DES ÉPINGLES À CHEVEUX ET AUTRES RÉCIPIENTS ENCORE REMPLIS DE PRODUITS COSMÉTIQUES.

UNE ÉTUDE MENÉE CONJOINTEMENT PAR UNE ÉQUIPE ASSOCIANT LE LABORATOIRE DE RECHERCHE DES MUSÉES DE FRANCE (CNRS-MINISTÈRE DE LA CULTURE ET DE LA COMMUNICATION) ET L'ORÉAL-RECHERCHE, EN COLLABORATION AVEC L'ESRF DE GRENOBLE, A PERMIS LA MISE EN COMMUN DE DÉMARCHES ANALYTIQUES, DE COMPÉTENCES EN CHIMIE DE SYNTHÈSE ET DE DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES, PHARMACEUTIQUES ET COSMÉTIQUES. LE CONTENU DE 49 FLACONS CONSERVÉS PAR LE DÉPARTEMENT DES ANTIQUITÉS ÉGYPTIENNES DU MUSÉE DU LOUVRE A PU ÊTRE ANALYSÉ PAR MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE À BALAYAGE POUR LA MORPHOLOGIE OU LA COMPOSITION CHIMIQUE ÉLÉMENTAIRE, PAR DIFFRACTION X POUR L'IDENTIFICATION MINÉRALOGIQUE, ET PAR QUANTIFICATION DES PHASES CRISTALLISÉES.

DES PHASES SOLIDES ASSEZ INATTENDUES (CHLORURES DE PLOMB) ONT ÉTÉ IDENTIFIÉES, DONT DEUX SONT ISSUES DE PRÉPARATIONS EN MILIEU AQUEUX : LA LAURIONITE ET LA PHOSGÉNITE. CELLES-CI, OBTENUES SOUS FORME DE FINES POUDRES BLANCHES ET AJOUTÉES AUX PRODUITS DE MAQUILLAGE, SERVAIENT DE PRODUITS DE BEAUTÉ ET DE PROTECTION CONTRE LES MALADIES.

CES RECHERCHES OUVRENT LA VOIE À UNE MEILLEURE CONNAISSANCE DE LA FORMULATION DES PRODUITS ET DES HABITUDES COSMÉTIQUES DU 2^E MILLÉNAIRE AV. J.-C.

LA FORMULATION

Les molécules ou les substances à propriété spécifique intéressent autant la physico-chimie fondamentale que ses multiples applications industrielles. Tout le secteur industriel des polymères, des pneumatiques, du médicament, des crèmes et cosmétiques, des détergents, de l'agro-alimentaire..., est concerné. Les chercheurs traduisent des problèmes aussi triviaux que la rhéologie des pâtes, la stabilité des mousses, le collage et l'adhésion, l'encapsulation et le glissement des poudres, en objectifs d'étude et de recherche capables d'améliorer la science et la connaissance.

Les nouvelles molécules

Les objectifs sont les suivants :

- trouver de nouvelles molécules et de nouveaux complexes caractérisés par une faible concentration des propriétés de surface, d'accrochage ou de protection qui les autorise à jouer le rôle de nouveaux surfactants, dispersants, mouillants ou stabilisants ;
- trouver de nouvelles formes de polymères ou de dendrimères qui permettent d'insérer, de transporter ou d'adresser des substances ou des nanoparticules ;
- développer une nouvelle chimie à l'intérieur de matrices spécifiques qui permettent soit des préparations à l'échelle nanoscopique, soit des protections ou récupérations particulières, soit encore la préparation d'interfaces organique/minérale.

Dynamique et dispersion des fluides aux interfaces

C'est à la physicochimie des systèmes complexes que revient la charge des études thermodynamiques sur les états métastables. L'émulsification, le moussage, la fragmentation et la coalescence des mousses, mais aussi le mouillage et le démouillage, la rhéologie et le comportement dynamique aux interfaces, font l'objet de recherches très poussées.

MATÉRIAU EN FUSION : CROISSANCE
CRISTALLINE D'UN OXYDE DE BISMUTH ET DE
GERMANIUM, DOPE AU CUIVRE POUR UTILISATIONS
ELECTRO-OPTIQUES. © CNRS, ICMCB - L. Médard



Le contrôle moléculaire des propriétés macroscopiques des milieux complexes

Il s'agit d'étudier les systèmes présentant une propriété macroscopique originale, qu'elle soit optique, mécanique, rhéologique, abrasive ou magnétique. L'obtention de propriétés spécifiques passe notamment par la synthèse de nouveaux dispersants ou flocculants, par la stabilisation de particules et de colloïdes et par l'utilisation des propriétés de chiralité.

La vectorisation

Elle étudie la pénétration d'une substance active dans les cellules du corps dans le but d'y apporter soit un médicament spécifique, soit une fonction particulière. Des équipes pluridisciplinaires, qui associent des biochimistes, des biologistes et des praticiens, complètent cette approche en étudiant la protection des molécules qui se fixent sur les

cellules tumorales, à l'aide de virus, de nucléotides, ou encore de fonctions particulières jouant le rôle de leurres et d'obstacles à la fixation. Enfin chimistes, pharmaciens et praticiens s'associent pour permettre la libération d'un facteur spécifique, arôme, médicament, bactéricide ou fongicide. C'est alors la protection microscopique – et non plus moléculaire – qui est en jeu (cellules core-shell polymériques, colloïdes minéraux à structures d'intercalations...).

LA PERVENCHE DE MADAGASCAR,
CATHARANTHUS ROSEUS.
© CNRS, ICSN - Th. Sevenet.

MISE AU POINT D'UNE MÉTHODE ORIGINALE POUR LA DÉTECTION D'ANTICORPS MONOCLONAUX SPÉCIFIQUES

L'ÉTUDE DE LA DIVERSITÉ DES ANTICORPS PRODUITS PAR UNE POPULATION DE LYMPHOCYTES B REPOSE SUR L'ANALYSE DE CARACTÉRISTIQUES TRÈS VARIÉES. POUR OBTENIR UN ANTICORPS SPÉCIFIQUE ET LE PRODUIRE EN QUANTITÉ ILLIMITÉE, UN LYMPHOCYTE B PEUT ÊTRE FUSIONNÉ AVEC UNE CELLULE TUMORALE POUR FORMER UNE NOUVELLE CELLULE IMMORTELLE OU HYBRIDOME. COMME CHAQUE HYBRIDOME DÉRIVE D'UN CLONE UNIQUE, TOUTES LES CELLULES FILLES PRODUISENT LE MÊME ANTICORPS DIT « MONOCLONAL ».

AFIN D'ÉTUDIER LA DIVERSITÉ DE LA POPULATION DES LYMPHOCYTES B, DES CHERCHEURS FRANÇAIS (LABORATOIRES CNRS « ÉTUDE PHOTOPHYSIQUE DES BIOSYSTÈMES » ET « SYNTHÈSE ET STÉRÉORÉACTIVITÉ »), EN COLLABORATION AVEC UN SCIENTIFIQUE AMÉRICAIN, ONT MIS AU POINT UNE NOUVELLE TECHNIQUE APPELÉE « SECRETION CAPTURE REPORT WEB ». CELLE-CI PERMET UNE ANALYSE MULTIPARAMÉTRIQUE DES ANTICORPS MONOCLONAUX SÉCRÉTÉS ET, SIMULTANÉMENT, L'ISOLEMENT D'UN CLONE PRÉSENTANT DES CARACTÉRISTIQUES PARTICULIÈRES.

LES RÉSULTATS OBTENUS FACILITENT LA MISE AU POINT ET LA PRODUCTION D'ANTICORPS MONOCLONAUX DONT L'IMPORTANCE PRATIQUE DANS LA RECHERCHE FONDAMENTALE, LA PURIFICATION, LA CATALYSE, LE DIAGNOSTIC ET LA THÉRAPEUTIQUE EST AUJOURD'HUI BIEN ÉTABLIE. CES TRAVAUX ONT PERMIS LA CRÉATION D'UNE ENTREPRISE QUI DÉVELOPPE CETTE TECHNIQUE POUR DES ANTICORPS MONOCLONAUX « À FAÇON » : ANTIBODY SOLUTIONS SARL.

LA CHIMIE THÉRAPEUTIQUE

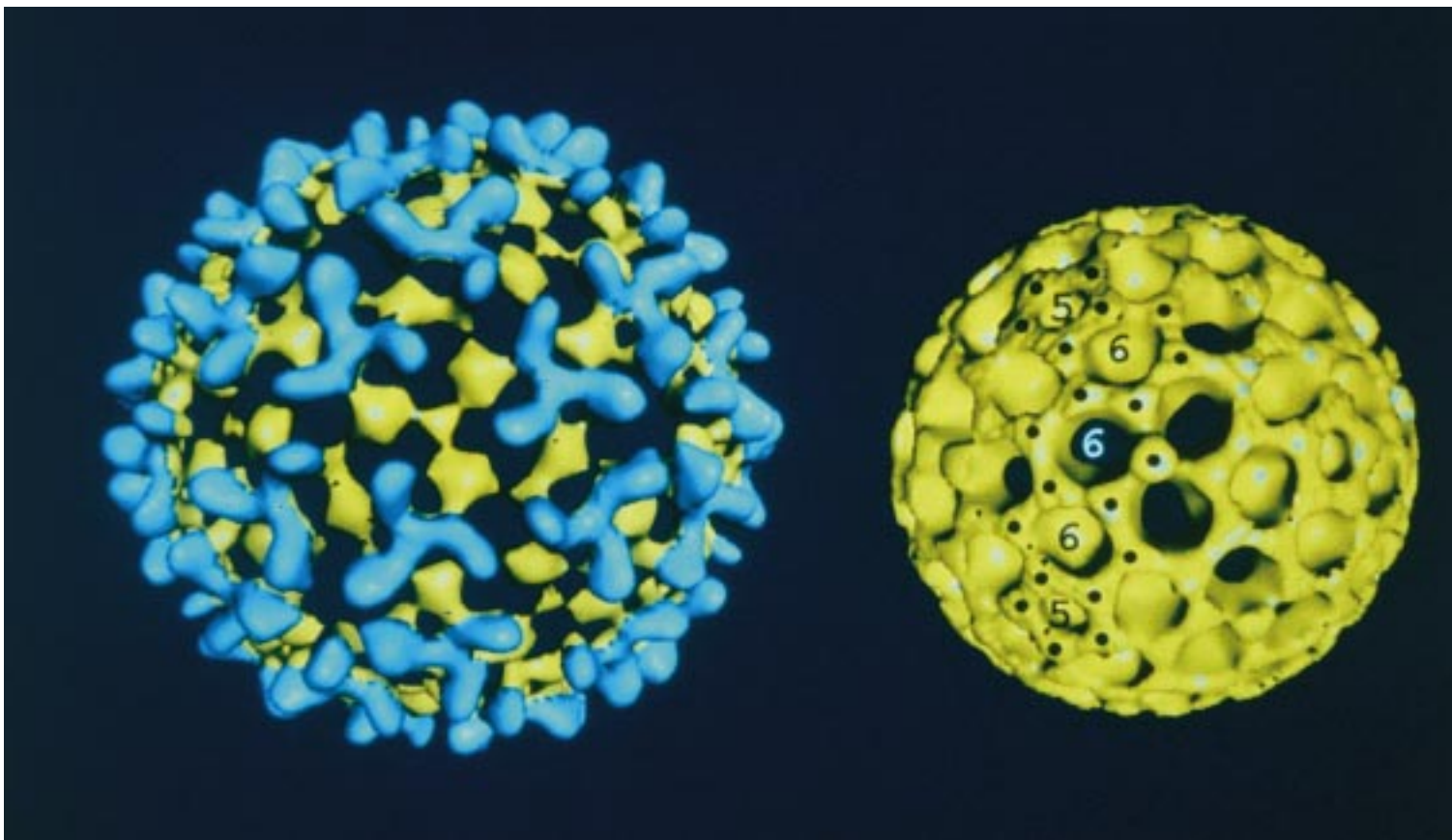
La chimie est de plus en plus sollicitée pour la synthèse de nouvelles molécules thérapeutiques et pour la compréhension des phénomènes biologiques. À l'interface de la chimie et de la biologie, la pharmacologie est porteuse d'enjeux humains et économiques immenses. Aussi, seuls des programmes pluridisciplinaires associant la biologie structurale, la biologie moléculaire, la biochimie et la chimie de synthèse permettront de relever ces nouveaux défis. C'est ensemble que structuralistes, biochimistes et chimistes doivent sélectionner des objectifs ambitieux pour répondre aux demandes de la société et, plus que jamais, faire de la science utile.

La chimie des substances naturelles

À l'origine de 60 % de nos médicaments, les substances naturelles extraites de plantes, de micro-organismes et d'organismes marins sont dotées d'activités biologiques très puissantes. L'exploitation de cette biomasse suppose l'extraction des principes actifs, la détermination de leur structure et le développement des procédés de modification. Des tests spécifiques *in vitro* sont mis au point sur des extraits bruts pour définir une famille de produits et une classification des types de fonction en vue d'actions ciblées. Une fois que les principes actifs ont été analysés et extraits, les tests sont prolongés sur des molécules purifiées et caractérisées. Actuellement, 500 000 espèces de plantes sont encore inconnues, et parmi les 300 000 espèces répertoriées, seules 2000 ont été soumises à une recherche d'utilité médicale !

Un des plus beaux exemples de chercheur dont les découvertes principales sont obtenues grâce à une étroite interaction entre la chimie et la biologie est certainement Pierre Potier, directeur de l'Institut de chimie des substances naturelles du CNRS et Médaille d'Or du CNRS 1998. Après avoir longuement travaillé à la synthèse biomimétique (imitant la nature) de diverses molécules naturelles complexes, il a enrichi le domaine de la chimie thérapeutique qui aujourd'hui peut s'enorgueillir de nombreux

STRUCTURE TRIDIMENSIONNELLE DU VIRUS DE LA LANGUE BLEUE : À DROITE, LA CAPSIDE INTERNE ; À GAUCHE, LES DEUX PROTÉINES CONSTITUANT LA CAPSIDE EXTERNE (IMAGES OBTENUES PAR CRYOMI-CROSCOPIE ÉLECTRONIQUE). © CNRS, IBS - E. Hewat



succès, dont la Navelbine[®] et le Taxotère[®], deux médicaments anti-cancéreux distribués dans le monde entier.

Pour disposer de masses critiques suffisantes, les laboratoires doivent aujourd'hui renforcer leurs collaborations : laboratoires en réseau, partenariats internationaux et coopération soutenue entre organismes voisins (IRD, IFREMER, INRA...). Ces accords donnent accès aux connaissances médicales locales et aux possibilités de récolte, de traitement et d'extraction.

Les méthodes de criblage

Le développement de la synthèse combinatoire et les moyens modernes de démultiplication, de robotisation et d'extrapolation permettent de cribler de plus en plus rapidement les molécules et de tester leur activité vis-à-vis de leur cible (ADN, enzymes, systèmes de transport, neuro-médiateurs...). La capacité des laboratoires à identifier des cibles pertinentes, en collaboration avec ceux des Sciences de la vie et les firmes industrielles, sera détermi-

nante pour assurer l'efficacité de ce criblage. L'ensemble des partenaires devra donc procéder à la sélection de têtes de séries intelligentes en laissant une part raisonnable au hasard et à la statistique.

La chimie des biomolécules

Situés plus que jamais à l'interface de la chimie et de la biologie, les chimistes cherchent à définir et à multiplier les activités pharmacologiques des biomolécules par des tests adaptés. Les outils mis au point par l'analyse structurale pour contrôler les processus biologiques leur servent à concevoir puis à synthétiser des molécules capables d'agir de façon plus efficace sur leurs cibles. La science compte beaucoup sur cette pharmacologie moléculaire (par opposition à son pendant cellulaire) qui complètera les apports de la biologie structurale en concevant des effecteurs biologiques réalistes, économes et peu polluants. Notons enfin que de nouvelles recherches sont lancées sur des petites molécules (NO, liaisons soufre...).



TRANSISTOR TOUT ORGANIQUE À BASE
DU DIMÈRE (SEXITHIOPHÈNE) D'UNE MOLÉCULE
SIMPLE QUE L'ON TROUVE À L'ÉTAT NATUREL
DANS LE BOUTON D'OR. © CNRS, LMM - A. Muriot

UN REVÊTEMENT ORIGINAL POUR UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE POÊLES

LA PREMIÈRE APPLICATION GRAND PUBLIC DES QUASICRISTAUX, DÉCOUVERTS EN 1984, VIENT D'ABOUTIR : LA SOCIÉTÉ SITRAM (L'UN DES SOUS-LICENCIÉS DU CNRS), EN PARTENARIAT AVEC SNMI (FILIALE SUCCESSIVEMENT DE CEA-INDUSTRIE PUIS DE ST GOBAIN) ET APS-PLETECH, A PROCÉDÉ À LA MISE SUR LE MARCHÉ DE POÊLES PLUS RÉSISTANTES ET ANTI-ADHÉRENTES.

LA DÉCOUVERTE DES QUASICRISTAUX A ÉTÉ FAITE EN FRANCE PAR DENIS GRATIAS (DU CENTRE D'ÉTUDES DE CHIMIE MÉTALLURGIQUE, CECM, A VITRY-SUR-SEINE) QUI EN A DÉTERMINÉ LA COMPOSITION ET LA STRUCTURE DE SYMÉTRIE D'ORDRE 5 ; JEAN-MARIE DUBOIS (LABORATOIRE DE SCIENCE ET GÉNIE DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES DE L'INPL À NANCY) A, QUANT À LUI, MIS AU POINT DE NOUVEAUX ALLIAGES QUASICRISTALLINS ET EN A ÉTUDIÉ LES PROPRIÉTÉS. EN EFFET, LA STRUCTURE PENTAGONALE DE CES QUASICRISTAUX LEUR CONFÈRE DES PROPRIÉTÉS PARTICULIÈRES, NOTAMMENT UN COEFFICIENT DE FROTTEMENT TRÈS FAIBLE.

UNE POÊLE REVÊTUE DE CES QUASICRISTAUX POLIS OFFRE UNE SURFACE LISSE SUR LAQUELLE GLISSENT LES ALIMENTS SANS ATTACHER, MÊME À FORTE TEMPÉRATURE. LES QUASICRISTAUX RÉSISTENT AUX CHALEURS ÉLEVÉES, AUX RAYURES ET AUX ÉPONGES ABRASIVES, EN MANIFESTANT D'EXCELLENTE PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES.

CETTE APPLICATION DES QUASICRISTAUX N'EST PAS LA SEULE POSSIBLE : DES REVÊTEMENTS POUR LES AUBES DE TURBINE, LES PISTONS OU LES CYLINDRES DE MOTEUR, PERMETTANT DE DIMINUER LES FROTTEMENTS ET D'AMÉLIORER LES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE, SONT ÉGALEMENT À L'ÉTUDE.

LES MATÉRIAUX

Les laboratoires du département des Sciences chimiques s'attachent à répondre aux nouvelles demandes des industriels qui recherchent des multi-matériaux – ce qui suppose l'essor des techniques d'assemblage – et des matériaux de grande diffusion.

Les multi-matériaux

Les multi-matériaux (ou matériaux de structure) ont supplanté auprès des industriels les « nouveaux matériaux » des années 80 (matériaux thermomécaniques et composants). L'essentiel des demandes porte aujourd'hui sur les matériaux de substitution, l'hyper-choix, les rapports coût/qualité/performances et le recyclage. Les laboratoires apportent aux industriels une expertise de qualité fondée sur une banque de données performante. Ils aident les industriels de l'automobile à choisir leurs matériaux (polymères, aciers, alliages d'aluminium...) et les professionnels du bâtiment à sélectionner les matériaux les plus appropriés (bétons, céramiques, verres et revêtements, polymères, bois...). Enfin, ils apportent un conseil sur les procédés d'assemblage et de revêtements (soudures, colles et adhésifs, peintures et protections).

En collaboration avec l'industrie, un effort particulier devra être fourni dans le domaine de la plasturgie dont on connaît le succès (rhéologie des alliages de polymères, chimie en machine, extrusion et injection réactives...) et dans l'élaboration d'alliages plus légers pour le transport, notamment aérien et maritime. L'avancée des recherches devrait aussi permettre aux technologies à haut débit d'exploiter dans des conditions optimales les plastiques fondus et les alliages métalliques.

Les matériaux de l'énergie

La mise au point et l'exploitation de nouveaux matériaux par les chimistes offrent des possibilités importantes en matière d'économie d'énergie.

EXPÉRIENCE DE LÉVITATION D'UNE
CÉRAMIQUE SUPRACONDUCTRICE PORTÉE
À LA TEMPÉRATURE DE L'AZOTE LIQUIDE.
© CNRS, ICMCB - L. Médard



- **Les matériaux pour le stockage de l'énergie** : dans le domaine électrochimique, c'est en France que se trouvent les meilleures équipes au monde, notamment pour les électrodes et les polymères. Un effort supplémentaire est fait pour multiplier les coopérations pluridisciplinaires concernant la chimie du solide, des oxydes ou des carbones, les électrolytes et les polymères conducteurs, les tests d'usage et de vieillissement.

- **Les matériaux légers pour le transport** : les recherches sur les alliages, les composites polymères-carbone et les composites carbone offrent de réelles perspectives pour diminuer les dépenses énergétiques.

- **Les matériaux du nucléaire** : à la demande du CEA, les laboratoires multiplient les études sur les aciers de cuve, les éléments d'alliage sous irradiation, le traitement des matériaux faiblement irradiés et, bien sûr, les matrices de stockage des déchets nucléaires.

Les nanomatériaux

En collaboration avec les physiciens et à la demande des industriels, les équipes du département des Sciences chimiques ont élaboré des instruments de caractérisation de plus en plus adaptés aux nanosciences. La physique et la chimie du solide s'orientent ainsi de plus en plus vers les procédés eux-mêmes (mise en forme, mise en œuvre et objets). Cela concerne les composants moléculaires, la fonctionnalisation chimique en microélectronique, les nano-inclusions dans les céramiques et les alliages, les nanopoudres, les nanocouches et leur mise en forme. Les matériaux fonctionnels ne doivent pas non plus être oubliés (diélectriques, semi-conducteurs, magnétiques, supraconducteurs). Quant à la recherche de nouveaux matériaux, elle doit faire appel aux nouvelles méthodes de synthèse (couches minces, nanostructures, chimie combinatoire). ■

LES MÉTHODES ET OUTILS DE LA CHIMIE

> LA CHIMIE, QUI FABRIQUE ELLE-MÊME SES PROPRES OBJETS D'ÉTUDE ET FOURNIT AUX DISCIPLINES VOISINES LES MOLÉCULES OU MATÉRIAUX À PROPRIÉTÉS SPÉCIFIQUES QU'ELLES DEMANDENT, EST À JUSTE TITRE CONSIDÉRÉE COMME LA « SCIENCE CENTRALE ». AUJOURD'HUI, LA CHIMIE DOIT CONTINUER À AMÉLIORER SES CONNAISSANCES DANS SON PROPRE SECTEUR D'ACTIVITÉ EN RESTANT CENTRÉE SUR SON CŒUR DE MÉTIER : LA SYNTHÈSE DE MOLÉCULES NOUVELLES. CÉPENDANT, ELLE S'ORIENTE DE PLUS EN PLUS VERS UNE SYNTHÈSE RAISONNÉE ASSORTIE DE LA MODÉLISATION ET DE LA COMPRÉHENSION DE LA RÉACTIVITÉ.

LES DÉFIS DE LA CHIMIE : POUR UNE SYNTHÈSE RENOVÉE

Le renouveau de la synthèse se traduit dans la plupart des sous-disciplines par l'élaboration de molécules ou de matériaux possédant une activité ou une propriété. Cette démarche associe étroitement la conception et l'invention de nouvelles réactions à la mise au point de réactifs et de procédés sélectifs. Aussi, malgré la diversité des structures et la complexité croissante des cibles recherchées, l'amélioration constante des méthodes de synthèse permet à la discipline de rester soit très compétitive, soit complémentaire des autres méthodes – par exemple biotechnologiques.

L'évolution de la chimie organique est marquée par un rapprochement avec la chimie organométallique, la catalyse. Depuis plusieurs années en effet, la chimie organique ne s'identifie plus à la seule chimie du carbone et de ses combinaisons avec l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, elle intègre dans son champ d'activité la grande majorité des éléments du tableau périodique.

Trois grands défis doivent être relevés pour concrétiser ce renouveau de la synthèse :

Une chimie spécifique

C'est une chimie qui recherche et met au point ses propres méthodes sélectives.

- **La chimie organique** : elle prépare, entre autres, des molécules chirales par la synthèse asymétrique et les séparations énantiosélectives.
- **La chimie organométallique** : elle développe par

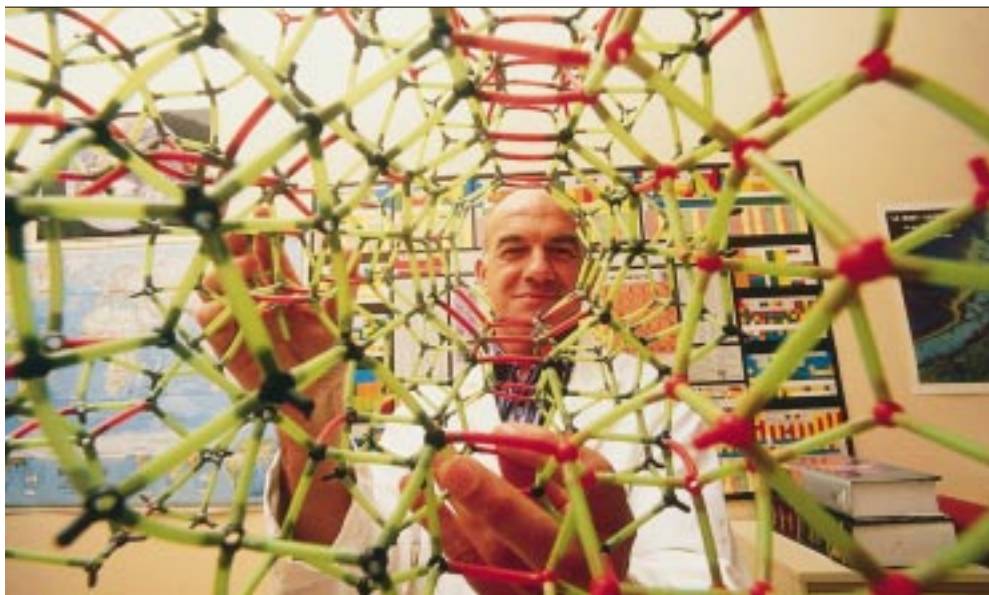
exemple des moteurs capables d'échanger de l'énergie et du mouvement grâce à la synthèse d'édifices renfermant un ou plusieurs éléments. La mise au point de réactions générales, avec diverses familles de dérivés organométalliques, les catalyseurs métalliques moléculaires et les nouveaux acides et bases de Lewis, constituent des armes de choix pour créer une fonctionnalité forte avec une grande sélectivité.

- **La chimie supramoléculaire** : elle développe en particulier de nouvelles structures électroniques grâce aux nouveaux domaines dits de « design moléculaire » (interactions de liaisons faibles).
- **La chimie douce** : elle élabore des phases métastables (contrôle de la taille des pores pour une chimie de surface) par intercalation ou désintercalation, interpénétration de réseaux complémentaires ou greffage de plans complexes par la création d'hybrides organiques-inorganiques.

Une chimie économe

Les synthèses prennent de plus en plus en compte les aspects environnementaux. Elles exploitent les spécificités réactionnelles des réactions multi-étapes pour être économes en atomes, en solvants et en énergie. Pour minimiser les traitements pré- et post-opératoires, les chimistes évitent l'utilisation et la production de produits toxiques, favorisent la combinaison de plusieurs réactifs sans perte de matière, font appel aux micro-organismes, et exploitent les nouvelles possibilités offertes par la catalyse.

MODÈLE MOLÉCULAIRE D'UNE ZÉOLITHE
ZSM5. © CNRS, IRC - J. Forest



Les méthodes nouvelles

La compréhension du rôle des solvants et de la catalyse par transfert de phase a ouvert la voie au développement de méthodes nouvelles d'activation.

- **La chimie dans l'eau** : en milieu micellaire ou en solution, elle permet des synthèses organiques, inorganiques ou de polymères.
- **La sonochimie** : les activations par ondes ultra-sonores ou micro-ondes augmentent fortement les rendements.
- **L'électrosynthèse organique** : électrochimie en milieu non aqueux.
- **La chimie sous-pression** : isostatique ou directionnelle, elle peut apporter des solutions en biochimie.
- **La chimie en milieu supercritique** : les nouveaux milieux (eau, alcool, CO₂) au voisinage des points critiques adoptent des propriétés de solvatation ou d'oxydo-réduction intéressantes.
- **La chimie des hautes températures** : aux interfaces gaz/solide et liquide/solide. Elle offre des perspectives pour les temps courts et les techniques de jets moléculaires.
- **La chimie combinatoire** : apparue récemment dans la discipline, cette technique peut fournir toutes les combinaisons d'un jeu de réactifs pour constituer des banques de données de quelques dizaines de milliers de composés, de catalyseurs et de matériaux. La robotisation et le déploiement des procédés automatiques qu'elle autorise donneront aux chercheurs la possibilité de se consacrer presque entièrement à la conception de tests et à la stratégie de synthèse.

DES MOUSSES ORGANIQUES SOLIDES THERMOSTABLES

UNE NOUVELLE FAMILLE DE MATÉRIAUX ORGANIQUES EXPANSÉS ININFLAMMABLES A ÉTÉ MISE AU POINT PAR LE LABORATOIRE DES MATÉRIAUX ORGANIQUES À PROPRIÉTÉS SPÉCIFIQUES, LMOPS (CNRS / IFP, VERNAISON).

CES MOUSSES RIGIDES, À BASE DE POLYIMIDES RÉTICULÉS, PRÉSENTENT UNE TEMPÉRATURE DE DÉBUT DE DÉGRADATION DE 350°C, UNE BONNE RÉSISTANCE AU FEU, UNE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION JUSQU'À 300°C, AINSI QU'UNE FAIBLE REPRISE D'EAU (2,5 %). LA TECHNIQUE DE FABRICATION DE CES MATÉRIAUX EST TRÈS SIMPLIFIÉE DU FAIT DE LA FORMATION *IN SITU* DU GAZ QUI SERT D'AGENT MOUSSANT ; ELLE PERMET AINSI DE FABRIQUER DES MOUSSES THERMOSTABLES DE MASSES VOLUMIQUES COMPRIS ENTRE 0,05 ET 0,40 KG PAR LITRE.

CETTE NOUVELLE FAMILLE DE MATÉRIAUX DEVRAIT INTÉRESSER LES INDUSTRIES AÉRONAUTIQUES ET AÉROSPATIALES QUI N'UTILISENT ACTUELLEMENT QUE DES MOUSSES STABLES JUSQU'À 180°C, ET S'ÉTENDRE À DES SECTEURS INDUSTRIELS D'IMPORTANCE, NOTAMMENT LES TRANSPORTS.

TUBULINE, TAXOTÈRE[®] ET GDP
(GUANOSINE DIPHOSPHATE).
D'après Nogales et al., *Nature*, 1998, 391,
199-203 – © CNRS, ICSN - L. Médard

À LA CONQUÊTE DES TEMPS COURTS EN CINÉTIQUE CHIMIQUE

DESTINÉ À L'ÉTUDE COMBINÉE DU MÉCANISME, DES CINÉTIQUES ET DU GÉNIE CATALYTIQUE DES RÉACTIONS CHIMIQUES CATALYSÉES, LE MICRORÉACTEUR PULSÉ ULTRA-RAPIDE TAP-2, APPAREILLAGE D'ANALYSE CINÉTIQUE AUX TEMPS COURTS, EST INSTALLÉ À L'INSTITUT DE RECHERCHE SUR LA CATALYSE (IRC, ÉQUIPE DE CLAUDE MIRODATOS, LYON).

CETTE NOUVELLE TECHNOLOGIE A ÉTÉ UTILISÉE AVEC SUCCÈS DANS LE DOMAINE DE LA VALORISATION DU GAZ NATUREL. ELLE A PERMIS À L'ÉQUIPE LYONNAISE DE DÉTERMINER LES ÉTAPES ÉLÉMENTAIRES QUI, SELON LES MATÉRIEAUX CATALYTIQUES CHOISIS, PERMETTENT AU MÉTHANE (CONSTITUANT PRINCIPAL DU GAZ NATUREL) DE RÉAGIR AVEC LE DIOXYDE DE CARBONE POUR FOURNIR UN MÉLANGE RICHE EN HYDROGÈNE. L'HYDROGÈNE ÉTANT CONSIDÉRÉ COMME LE CARBURANT DU FUTUR, L'ENJEU EST DE TAILLE DANS LA RECHERCHE DE TECHNIQUES DE PRODUCTION « PROPRE » D'ÉLECTRICITÉ (CENTRALES ET VÉHICULES AUTOMOBILES DE DEMAIN).

D'AUTRES DOMAINES D'APPLICATION DU RÉACTEUR TAP-2 SONT EN COURS D'ÉTUDE, COMME LA SIMULATION D'UNE NOUVELLE GÉNÉRATION DE RÉACTEURS À TEMPS COURT ET À HAUTE TEMPÉRATURE (PLUS DE 1 000°C). CES NOUVEAUX RÉACTEURS, DU FAIT D'UNE EFFICACITÉ TRÈS ÉLEVÉE ET D'UN ENCOMBREMENT TRÈS RÉDUIT PAR COMPARAISON AVEC LES PROCÉDÉS INDUSTRIELS CLASSIQUES, DEVRAIENT PERMETTRE DE TRAITER LE GAZ NATUREL DANS TOUT LIEU QUI NÉCESSITE UNE MINIATURISATION DES INSTALLATIONS (SITES ÉLOIGNÉS « OFF SHORE », CENTRALES ÉLECTRIQUES, VÉHICULES AUTOMOBILES...).

LES OUTILS DE LA CHIMIE

Modélisation et simulation

Comment, sous l'action de la lumière, du rayonnement, d'une élévation de température ou d'un courant, une molécule ou un produit deviennent-ils réactifs ? Comment se transforment-ils ? Comment réagissent-ils à l'approche d'une surface, au voisinage d'une interface, ou lorsqu'on les plonge dans un solvant ? La communauté des théoriciens, confrontée au défi d'améliorer les capacités prédictives de la chimie, tente de progresser dans l'explication intime de la réactivité et des mécanismes d'élaboration. C'est toute la question de la modélisation.

Aujourd'hui, l'enjeu est d'intégrer les différents niveaux de la théorie (du quantique au classique, du microscopique au macroscopique) en développant des méthodologies de simulation multi-échelle et en créant des codes de calculs et des logiciels appropriés. Seuls des programmes scientifiques pluridisciplinaires permettront de mieux connaître les processus de réactivité chimique aux interfaces, les propriétés physico-chimiques des biomolécules ou les variations de configuration dans l'environnement de la cellule. A la frontière de la chimie des protéines et des molécules du vivant, la simulation moléculaire doit donc impliquer les théoriciens autant que les expérimentateurs.

Observations *in situ*

Pour confirmer ces modélisations, la science dispose maintenant de nouvelles techniques physico-chimiques de caractérisation *in situ*, enrichies par les progrès récents des nanotechnologies. La chimie analytique, de plus en plus « physique » et « moléculaire », exploite les instruments nouveaux de la spectroscopie (étude de réactions en temps réel et sur des quantités de plus en plus faibles) et les nouvelles méthodologies (chimie des traces, spéciations, analyses des milieux complexes, séparations et déterminations sur des volumes nanoscopiques), promettant des avancées spectaculaires dans le domaine de l'analyse *in situ*.

SPECTROMÈTRE DE PHOTOÉLECTRON (ESCA)
UTILISÉ POUR L'ÉTUDE DES SURFACES
MÉTALLIQUES OU OXYDÉES. LABORATOIRE DE
PHYSICO-CIMIE DES SURFACES, ESA CNRS-
ENSCP. © CNRS - C. Lepetit



- Grâce à la microscopie électronique, on observe déjà des agrégats atomiques à l'échelle du nanomètre.

- Les microscopies à champ proche, à force atomique et à effet tunnel permettent des observations à l'échelle moléculaire et laissent envisager que l'on sera bientôt en mesure de construire des édifices ou des combinaisons à l'échelle nanoscopique.

- L'imagerie par excitation photonique et électronique permet d'enrichir les techniques d'analyse élémentaires et moléculaires.

- L'observation *in situ* de volumes d'échantillons ou de surfaces rend possible la caractérisation des intermédiaires de réactions, des effets d'interfaces, des états excités de surface dans les conditions réelles de la réaction et avec une résolution spatiale de plus en plus élevée (de l'ordre du nm² ou du nm³). Les grands instruments sources de rayonnement offrent des possibilités encore jamais atteintes pour observer ces réactions dans des conditions particulières (haute température, haute pression, échanges d'électrons et de photons).

- L'étude des mécanismes et des cinétiques est appelée à se développer grâce au couplage des diverses micro-

et nanotechniques de caractérisation *in situ* en catalyse, en électrochimie, en corrosion et en adhésion.

Informatique et bases de données

Les progrès de la modélisation doivent beaucoup à l'extraordinaire puissance des ordinateurs d'aujourd'hui. Quant à la manière dont sera résolue la question cruciale de l'intégration des différents niveaux de théorie existants, elle dépend aussi largement de l'outil informatique.

Le vecteur de la politique du CNRS en matière de calcul scientifique intensif est l'Institut de développement et de ressources en informatique scientifique (IDRIS), un des centres de ressources informatiques les plus performants au monde. Cet institut dispose de moyens de calcul scalaire, vectoriel et parallèle. Les principales thématiques sont la modélisation moléculaire et la simulation de systèmes moléculaires complexes (protéines, acides nucléiques), les calculs de chimie quantique et de spectroscopie moléculaire. ■

LES INTERFACES DE LA CHIMIE

> UNE « CHIMIE UTILE » EST UNE CHIMIE AUX INTERFACES QUI ÉLUCIDE LA RELATION BICAUSALE STRUCTURE-PROPRIÉTÉ. CES INTERFACES CONCERNENT TROIS DOMAINES : LA PHYSIQUE ET LA SCIENCE DES MATÉRIAUX, LA BIOLOGIE ET LES SCIENCES DU VIVANT, LE GÉNIE CHIMIQUE ET LA SCIENCE DES PROCÉDÉS.

LA PHYSIQUE ET LA SCIENCE DES MATÉRIAUX

Parce qu'elle a su réaliser des synthèses imaginatives et se rapprocher de la physique de l'état condensé, l'École française de chimie du solide a acquis dans le domaine des propriétés électroniques des solides une réputation internationale. Ce rapprochement et ces collaborations doivent s'étendre notamment dans les domaines nouveaux comme la physicochimie de la matière molle, les nanostructures et la physique des interfaces. Ici plus qu'ailleurs encore, les liens entre expérimentation, théorie, modélisation et mise en forme sont indispensables. Ils concernent les domaines suivants :

- **Les polymères** : construction de molécules à partir d'oligomères fonctionnels, contrôle de la structure par catalyse originale et procédés, renforcement des opérations avec la chimie en machine, le génie des procédés, les matériaux hybrides, les polymères issus de la biomasse.
- **La métallurgie** : quasicristaux, systèmes verres métalliques massifs, alliages légers, intermétalliques à haute performance.
- **La chimie du solide** : élaboration en couches minces à partir de nouveaux procédés, chimie combinatoire ciblée sur une propriété spécifique, élaboration de systèmes complexes (nanoparticules, agrégats, nanotubes) et synthèse de composants électroniques.
- **Les matériaux complexes** : confrontation des modèles obtenus avec l'expérimentation pour mieux connaître les mécanismes de ces matériaux (auto-assemblage, association, adhésion, frottement, mouillage), en associant la mécanique, la rhéologie, la tribologie des composites et la dynamique moléculaire.
- **La nanoscience des composites** : analyse multi-échelle qui, grâce aux moyens d'élaboration *in situ*, aux

agrégats et aux nanoprecipités, devient essentielle à l'investigation des matériaux et qui permet, en situation de simulation, de mieux prendre en compte l'environnement.

- **Les matériaux moléculaires** : développement d'objets, de systèmes et de composants grâce à une collaboration soutenue entre les chercheurs en chimie moléculaire et en catalyse avec les chimistes du solide.

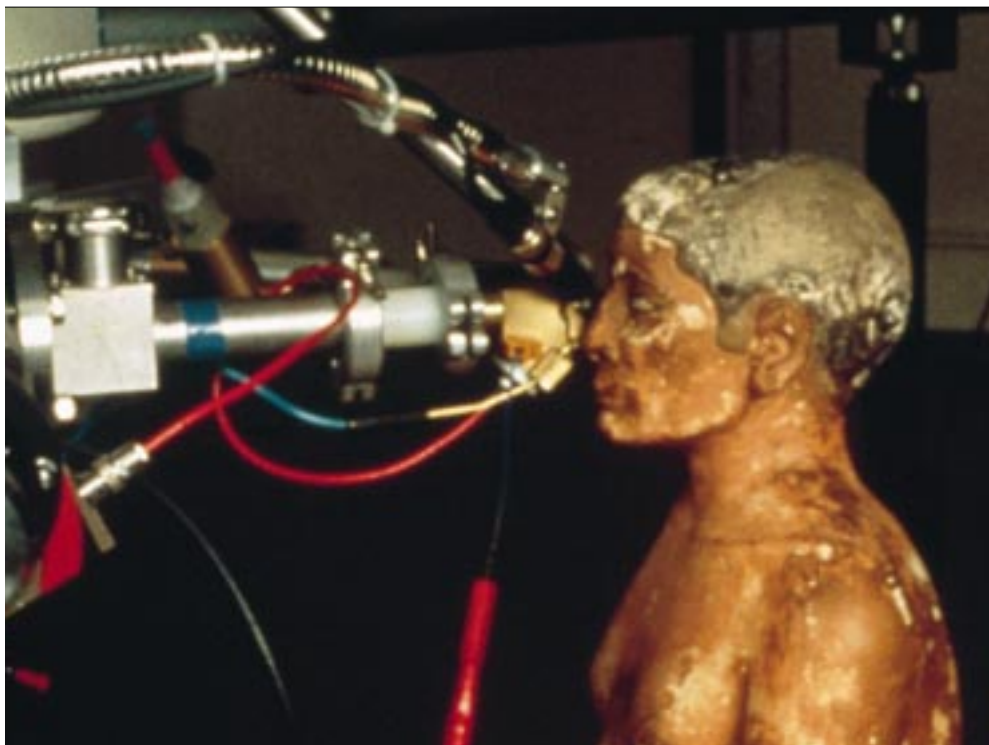
LA BIOLOGIE ET LES SCIENCES DE LA VIE

Les biochimistes conçoivent et synthétisent des molécules dont ils testent la capacité à agir efficacement sur leur cible (ADN, enzymes, systèmes de transport, neuromédiateurs...). Situés à l'interface de la chimie et de la biologie, ils exploitent les progrès de la synthèse combinatoire (qui permet de cribler rapidement les molécules obtenues) et imaginent de nouveaux systèmes d'évaluation, plus chimiques et donc différents de ceux imaginés par les biologistes.

D'autre part, les récents progrès des études génomiques – on a aujourd'hui accès à la séquence de génomes entiers ! – offrent des perspectives thérapeutiques qui ne sauraient se concrétiser sans l'intervention des biochimistes :

- fixation ou reconnaissance des brins d'oligonucléotides sur la double hélice d'ADN, séparation de séquences par les ciseaux chimiques, inhibition de certaines transcriptions par développement d'intercalants spécifiques ;
- conception de « biopuces » pour exploiter le décryptage du génome (chimie de synthèse en supports solides) ;
- « outils de transport » qui auront pour fonction de conduire la molécule thérapeutique sur les cellules malades et de l'y fixer préférentiellement (biochimie, biologie, photochimie, chimie du solide et des polymères, médecine).

SCRIBE DEVANT L'ACCELERATEUR
DE PARTICULES AGLAE.
© C2RMF - D. Bagault



LE GÉNIE DES PROCÉDÉS ET LES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

Le génie des procédés est essentiel pour valoriser les molécules synthétisées, tant en terme de faisabilité et de respect de l'environnement que de coût. Les perspectives qu'il offre sont nombreuses :

- **la « chimie utile »** : ses synthèses astucieuses et élégantes améliorent les rendements, diminuent la quantité de solvants ou introduisent une biosynthèse moins coûteuse ;
- **la catalyse** : elle élabore des méthodes de mise en forme de catalyseurs solides, par imprégnation, greffage ou sous forme membranaire ;
- **la recherche sur les matériaux** : elle permet de maîtriser les techniques d'élaboration de couches minces, de revêtements à propriétés fonctionnelles électroniques ou à propriétés de structure, et de développer des multimatériaux à coûts réduits ;
- **la protection de l'environnement** : le recyclage et l'écobilan en constituent les priorités. Ils impliquent une meilleure connaissance de l'évolution des effluents dans l'environnement, une plus grande maîtrise de ses phénomènes et l'élaboration de produits recyclables ou dégradables. ■

VERS UN TRAITEMENT DE LA MUCOVISCIDOSE PAR LA CHIMIOTHÉRAPIE

LA MUCOVISCIDOSE EST LA MALADIE GÉNÉTIQUE (MONOGÉNIQUE) LA PLUS FRÉQUENTE EN FRANCE (ENVIRON UNE NAISSANCE PAR JOUR). ELLE A POUR ORIGINE UNE MODIFICATION DANS LE GÈNE CF QUI CODE POUR UNE PROTÉINE MEMBRANAIRE (APPELÉE CFTR).

LORS D'UNE ÉTUDE STRUCTURALE VISANT À MIEUX CERNER LES FONCTIONS DE CETTE PROTÉINE, DES CHERCHEURS ONT DÉCOUVERT SON RÔLE DANS LE DÉCLENCHEMENT ET LE CONTRÔLE DES PROCESSUS INFLAMMATOIRES QUI POURRAIENT ÊTRE À L'ORIGINE DE LA MUCOVISCIDOSE. ILS ONT AUSSI MONTRÉ QUE LE TRAITEMENT PAR DES ANTI-CANCÉREUX ACTIVE DES PROTÉINES DE RÉSISTANCES (MRP, MDR) CAPABLES DE PALIER LA DÉFICIENCE EN CFTR.

CES RÉSULTATS PERMETTENT, D'UNE PART, DE MIEUX RELIER LE DÉFICIT GÉNÉTIQUE INITIAL AUX MANIFESTATIONS CLINIQUES DE LA MALADIE, ET, D'AUTRE PART, D'ENVISAGER DES STRATÉGIES THÉRAPEUTIQUES ORIGINALES. UNE VOIE GÉNÉRALE DE RECHERCHE SUR LES MALADIES GÉNÉTIQUES POURRAIT ÊTRE L'IDENTIFICATION DE TELS MÉCANISMES DE SECOURS ET LEUR ACTIVATION PAR DES SUBSTANCES CHIMIQUES OU DES AGENTS EXTÉRIEURS.

CES TRAVAUX ONT ÉTÉ CONDUITS AU LABORATOIRE DE CHIMIE ET PHYSICO-CHIMIE ORGANIQUE ET BIOLOGIQUE (CNRS - ECOLE POLYTECHNIQUE, PALAISEAU) ET AU SERVICE DE PÉDIATRIE GÉNÉRALE DE L'HÔPITAL NECKER-ENFANTS MALADES, AVEC LA COLLABORATION DU LABORATOIRE BASES MOLÉCULAIRES ET RÉGULATION DE LA BIOSYNTHESE PROTÉIQUE (CNRS - ECOLE POLYTECHNIQUE, PALAISEAU).

BATTERIE CYLINDRIQUE NICKEL
HYDRURE POUR DISPOSITIFS
PORTABLES, COMMERCIALISÉE PAR
SAFT. © CNRS, LCMTR - L. Médard



DE NOUVEAUX NANOMATÉRIAUX POUR LA PRÉPARATION DE CAPTEURS CHIMIQUES

LA SYNTHÈSE, PAR UNE APPROCHE ORGANOMÉTALLIQUE, DE PARTICULES DE QUELQUES NANOMÈTRES DE DIAMÈTRE DE MÉTAUX ET D'OXYDES A ÉTÉ MISE AU POINT AU LABORATOIRE DE CHIMIE DE COORDINATION DU CNRS (TOULOUSE) PAR BRUNO CHAUDRET ET SES COLLABORATEURS.

EN JOUANT SUR LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES (TEMPÉRATURE, PRESSION, CONCENTRATION) ET SUR LA NATURE DES STABILISANTS, CES CHERCHEURS SONT ARRIVÉS À CONTRÔLER À LA FOIS LA TAILLE DES PARTICULES, LEUR HOMOGENÉITÉ EN TAILLE (MONODISPERSITÉ) ET LEUR ÉTAT D'AGRÉGATION. ÉTENDUE À LA PRÉPARATION DE MATÉRIAUX OXYDES SEMI-CONDUCTEURS NANOSTRUCTURÉS, CETTE TECHNIQUE A CONDUIT À UN MATÉRIAU FORMÉ DE PARTICULES MONODISPERSÉES D'OXYDE D'ÉTAIN DE 20 NM, DONC AU MOINS 25 FOIS PLUS PETITES EN DIAMÈTRE QUE LES MATÉRIAUX DISPONIBLES ACTUELLEMENT SUR LE MARCHÉ. CE MATÉRIAU A ÉTÉ BREVETÉ PAR MOTOROLA SEMICONDUCTEURS S.A., ET SON UTILISATION COMME CAPTEUR CHIMIQUE EST À L'ÉTUDE.

LES APPLICATIONS POTENTIELLES DE CES NANOCAPTEURS CONCERNENT AUSSI BIEN UN MARCHÉ GRAND PUBLIC (DÉTECTION DE FUITES DE GAZ, DE MAUVAISE COMBUSTION, CONTRÔLE DE LA QUALITÉ DE L'AIR, PAR EXEMPLE) QU'INDUSTRIEL (AUTOMATISATION DE PROCÉDÉS, DÉTECTION D'INCENDIES, ETC.).

DIESEL ET SANTÉ

LA POLLUTION DUE AUX VÉHICULES DIESEL A-T-ELLE UNE INFLUENCE SUR LA SANTÉ ? ET DANS QUELLES PROPORTIONS ? CETTE QUESTION DE SANTÉ PUBLIQUE PRÉOCCUPE LES CHERCHEURS ET LES DÉCIDEURS.

LES DONNÉES ACTUELLES EN MATIÈRE DE POLLUTION PORTENT SUR LE PARC AUTOMOBILE DANS SON ENSEMBLE, ET NE PERMETTENT DONC PAS D'ISOLER CE QUI A TRAIT SPÉCIFIQUEMENT AU DIESEL. DE PLUS, L'ÉMISSION DE POLLUANTS VARIE AVEC LE TYPE ET L'ANCIENNETÉ DU VÉHICULE. ENFIN LES DONNÉES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR SONT AGRÉGÉES ET NE PERMETTENT PAS DE DISTINGUER LES SOURCES DE REJET DES POLLUANTS.

EN TENANT COMPTE DE LA COMPLEXITÉ DE CES DONNÉES, UNE QUARANTAINE DE SCIENTIFIQUES DU CNRS, APPARTENANT À DIFFÉRENTES DISCIPLINES, ONT MENÉ, EN RELATION AVEC LES RESPONSABLES DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE ET PÉTROLIÈRE, UNE EXPERTISE COLLECTIVE POUR ANALYSER PLUS PRÉCISÉMENT LA POLLUTION IMPUTABLE SPÉCIFIQUEMENT AUX VÉHICULES DIESEL.

LA CHIMIE DÉVELOPPE PLUS PARTICULIÈREMENT DES MÉTHODOLOGIES D'ANALYSE DE PARTICULES, D'AGRÉGATS CARBONÉS, D'HYDROCARBURES POLYAROMATIQUES... ELLE ANALYSE ET DIFFÉRENCIE LES POUSSIÈRES, LES SUIES, LES PARTICULES DE PNEUS ET DE BITUME, ETC., AINSI QUE LES POLLUANTS NON RÉGLEMENTÉS.

UN NOUVEAU PRODUIT POUR AIDER AU RECOLLEMENT CHIRURGICAL DE LA RÉTINE

LORS DES DÉCOLLEMENTS, IL EST NÉCESSAIRE DE REPOUSSER LA RÉTINE CONTRE LA PAROI DE L'ŒIL AVANT DE PROCÉDER À L'OPÉRATION DE RECOLLEMENT.

LA COLLABORATION ENTRE DES CHERCHEURS DES SECTEURS PUBLIC ET INDUSTRIEL RASSEMBLANT CHIMISTES (IMRPC, LABORATOIRE ASSOCIÉ CNRS / UNIVERSITÉ DE TOULOUSE), CHIRURGIENS OPHTHALMOLOGISTES (CHU DE RANGUEIL), INDUSTRIELS ET PHARMACIENS (CHAUVIN-OPSIA) A CONDUIT À L'ÉLABORATION D'UN SUBSTITUT DU VITRÉ : LA PERFLUORODÉCALINE. COMMERCIALISÉ DÈS 1990 SOUS LE NOM DE DK-LINE, CE PERFLUOROCARBURE OFFRE LES QUALITÉS DE TRANSPARENCE, DE DENSITÉ, D'INNOCUITÉ ET DE VISCOSITÉ INDISPENSABLES POUR RÉALISER LE TAMPONNEMENT INTERNE DE LA RÉTINE.

UN SECOND PAS A ÉTÉ FRANCHI EN 1994 LORSQU'ONT ÉTÉ MIS AU POINT DES DÉRIVÉS MIXTES FLUORÉS HYDROGÉNÉS PRÉSENTANT DE MEILLEURES QUALITÉS PHYSIOLOGIQUES ET PERMETTANT NOTAMMENT UN MAINTIEN DU SUBSTITUT AU-DELÀ DE LA DURÉE PÉROPÉRAtoire.

SYNTHÉTISÉS PAR LE LABORATOIRE DES INTERACTIONS MOLÉCULAIRES ET RÉACTIVITÉ CHIMIQUE ET PHOTOCHEMIE (IMRPC), CES DÉRIVÉS ONT DONNÉ LIEU À UN BREVET FRANÇAIS QUI, GRÂCE À LA COLLABORATION ENTRE LE CNRS ET L'INDUSTRIE, A ÉTÉ ÉTENDU À L'ÉTRANGER EN 1995. UNE NOUVELLE AMÉLIORATION DE LA FORMULATION DU COMPOSÉ ASSOCIANT UNE HUILE DE SILICONE EST ACTUELLEMENT EN PHASE CLINIQUE HUMAINE.