

Chimie des interactions moléculaires

M. Jean-Marie LEHN, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

Le cours de l'année 1998-1999 a porté sur les dispositifs moléculaires et supramoléculaires. Une partie de l'enseignement a été effectuée hors Paris à l'Université Louis Pasteur à Strasbourg (3 h.), à l'Institut Weizmann des Sciences à Rehovoth (5 h.) et à l'Université de Lyon (3 h.).

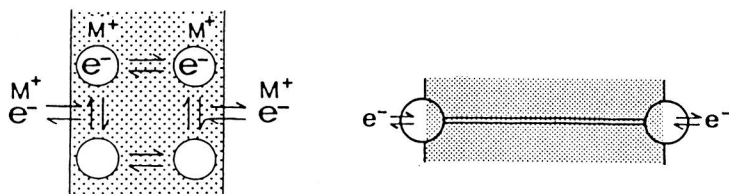
Les cours à Strasbourg ont porté sur le même sujet qu'à Paris. Ceux effectués à Rehovoth et à Lyon ont décrit les concepts de base de la chimie supramoléculaire, son développement et ses perspectives, notamment du point de vue de la reconnaissance et de l'information moléculaire, des composants moléculaires et supramoléculaires et de l'autoorganisation.

Le cours a porté sur le sujet « Dispositifs et Composants Électroniques Moléculaires ». Il s'intègre dans une série concernant les dispositifs moléculaires et supramoléculaires de type photonique, électronique et ionique. Il a plus spécifiquement présenté et discuté les travaux sur les « fils conducteurs moléculaires » dont la mise au point est nécessaire pour permettre le flux d'électrons d'un composant à un autre ou à travers un isolant moléculaire (membrane).

Le transfert d'électrons peut se faire de différentes manières :

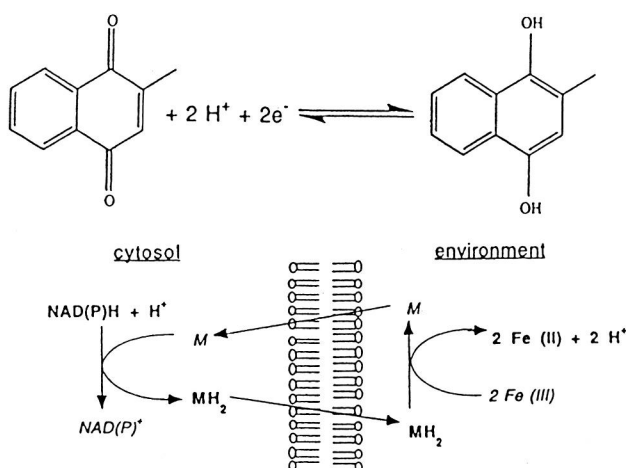
- par effet tunnel quantique, avec une décroissance exponentielle en fonction de la distance ;
- par sauts électroniques, entre sites voisins électroactifs ;
- par conduction de type « fil moléculaire » via le pont connectant des sites électroactifs (ci-dessous à droite).

Les électrons peuvent aussi être transportés à travers une barrière membranaire par des porteurs électroactifs mobiles diffusant à travers la membrane (ci-dessous à gauche).

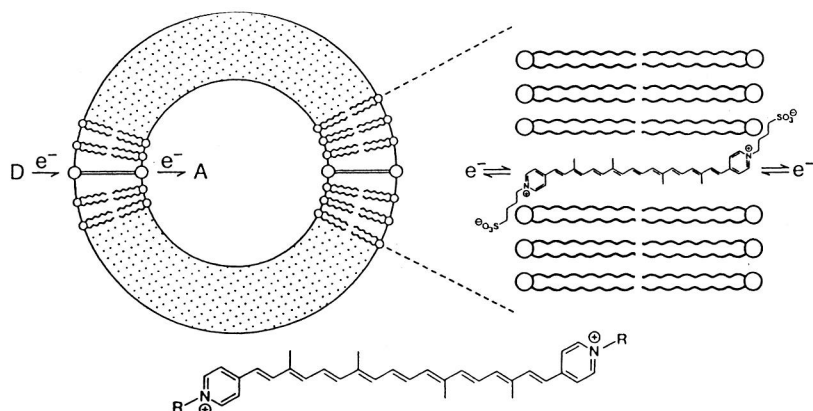


Le transport d'électrons par porteurs mobiles a fait l'objet de nombreuses études mettant en œuvre des couples redox de type alkylviologène, quinone/hydroquinone, ferricinium/ferrocène, complexes métalliques, etc. Il peut donner lieu à des processus de transport couplé parallèle avec une espèce cationique (symport) ou antiparallèle avec une espèce anionique (antiport). Ce type de processus a notamment été utilisé pour la mesure potentiométrique de l'activité redox intracellulaire.

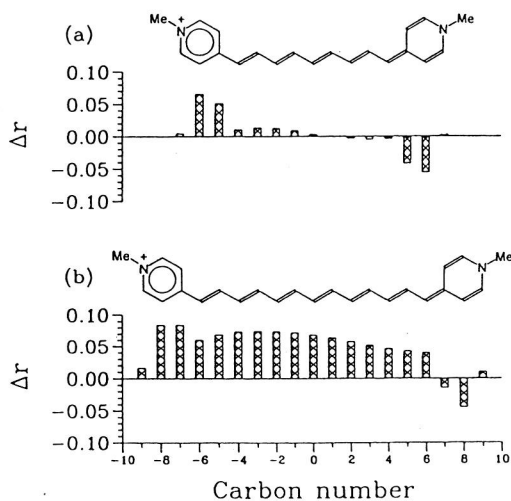
La mise au point de fils moléculaires conducteurs a été étudiée à la fois du point de vue théorique et du point de vue expérimental.



Les caroviologènes, résultant de la combinaison des viologènes avec des systèmes conjugués de type caroténoïde, représentent des chaînes linéaires électroactives permettant le transfert d'électrons par un mécanisme de fil moléculaire à travers la membrane bicouche lipidique d'un liposome entre un milieu réducteur D et un milieu oxydant A.



Une question théorique très importante concerne la nature de la conduction électronique par fil moléculaire. S'agit-il d'une conduction métallique ou non ? Les études montrent que pour des longueurs de chaîne polyénique supérieures à environ 20 Å le système subit une distorsion de Peierls avec formation d'un soliton symétrique à partir du centre de la chaîne et avec des liaisons alternantes de part et d'autre. La longueur de soliton définit la longueur du domaine non-alternant de type « métallique » (a). Pour des longueurs plus grandes le soliton se localise à l'une ou l'autre extrémité de la chaîne (b).

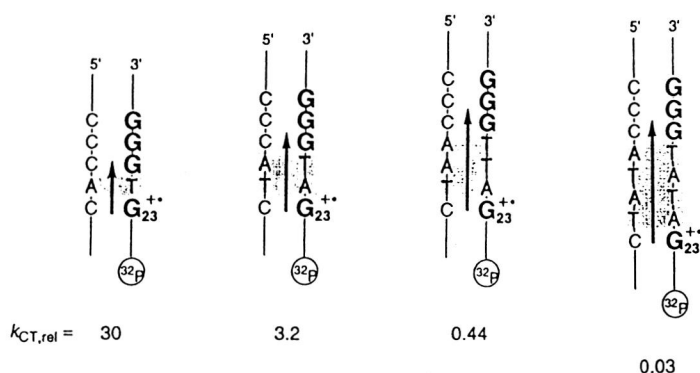


Des calculs indiquent que la vitesse de propagation d'un soliton le long d'une chaîne est de l'ordre de la vitesse du son. Il en résulte que la durée d'un transfert d'électron par soliton au moyen d'une chaîne polyénique à travers une membrane bicouche d'épaisseur ~ 50 Å est de l'ordre d'une dizaine de picosecondes. En conséquence, si la question de savoir si un fil moléculaire est un conducteur de

type métallique reste intéressante en soi, l'existence ou non de ce type de conduction n'affecte pas la possibilité de mettre au point des dispositifs électroniques moléculaires du fait des très courtes distances de propagation.

Le transfert d'électrons joue un rôle très important dans les systèmes biologiques. Des études détaillées sur le cytochrome c ont permis de mettre en évidence l'existence de chemins de transfert par effet tunnel.

Par ailleurs une question activement débattue récemment, concerne la capacité de molécules d'ADN en double hélice de fonctionner comme « fil moléculaire ». Une étude approfondie d'oligonucléotides duplex modèles a montré que le transport de trous à partir de groupes guanine oxydés $G^{+•}$ s'effectue de $G^{+•}$ en G par un processus de sauts successifs entre groupes G, plus rapide qu'une étape unique de transfert par superéchange sur la même distance.



Il est clair que l'étude combinée de systèmes synthétiques et de processus biologiques de transfert d'électron ouvre la voie à la mise en œuvre de composants de type « fil moléculaire » permettant le transfert de charge, électron ou trou positif, dans de futurs dispositifs électroniques moléculaires qui restent un défi de grand intérêt à la fois théorique et pratique.

SÉMINAIRES

A Paris :

— Patrick BATAIL (Institut des Matériaux de Nantes), *Synthèse et propriétés d'assemblages moléculaires hybrides organiques-inorganiques* (22 janvier 1999).

— Joshua JORTNER (School of Chemistry, Tel-Aviv University), *On dynamics. From large molecules to biomolecules* (5 février 1999).

— Pierre DIXNEUF, (Université de Rennes), *Systèmes organo-métalliques riches en carbone* (19 février 1999).

A Strasbourg :

— Jean-Pierre VIGNERON (Collège de France, Paris), *Chimie supramoléculaire bioorganique : reconnaissance des acides nucléiques et vecteurs synthétiques pour le transfert de gènes* (9 octobre 1998).

— Kevin GARDINIER (University of California, Berkeley, ISIS, ULP Strasbourg), *Total Synthesis of the Potent Cryptophycin Macrolides and Analogs* (23 novembre 1998).

— Mario RUBEN (Friedrich-Schiller-Universität Jena, ISIS, ULP Strasbourg), *Towards CO₂-Activation : Homo- and Heteronuclear Carbamato-Complexes O=C=O* (30 novembre 1998).

— Richard KHOURY (University of California, Davis, ISIS, ULP Strasbourg), *Syntheses and Structural Characterizations of Oxophlorin and Porphyrin Arrays* (1^{er} février 1999).

— Alvaro FERNANDEZ-ACEBES (Collège de France, Paris), *Preparation, Properties and Applications of Novel Perfluorocyclopentene-Derived Molecules* (16 février 1999).

— Josef MICHL (University of Colorado, Boulder), *Molecular Construction Kits : Grids and Rotors in the Computer and in Practice* (26 février 1999).

— Valérie MARCHI-ARTZNER (Collège de France, Paris), *Adhesion Between Membranes Bearing Complementary Molecular Groups* (2 mars 1999).

— Thaddée GULIK-KRZYWICKI (Centre de Génétique Moléculaire, Gif-sur-Yvette), *Apport de la Microscopie Électronique dans l'Étude de la Formation et de la Structure de Divers Systèmes Moléculaires Organisés* (20 avril 1999).

— John SANDERSON (Collège de France, Paris), *Towards the Control of Vesicle Recognition and Fusion* (18 mai 1999).

— Bernard LOTZ (Institut Charles Sadron, Strasbourg), *The Use of Electron Diffraction Techniques in the Structural Analysis of Crystalline Polymers* (31 mai 1999).

— Alfred R. HOLZWARTH (Max-Planck-Institut für Strahlenchemie, Mülheim an der Ruhr), *From Natural Chlorosomes to Supramolecular Self-Assembled Photoactive Devices* (8 juin 1999).

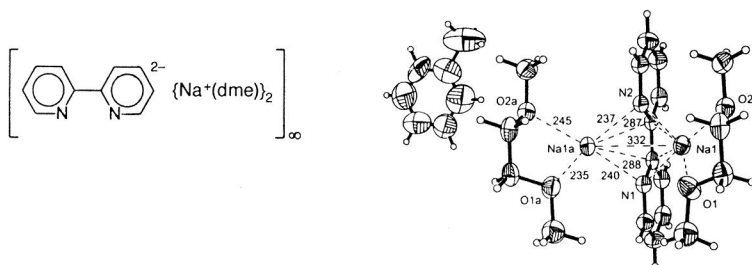
RÉSUMÉ DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

A) LABORATOIRE DE CHIMIE SUPRAMOLÉCULAIRE

(Université Louis Pasteur, Strasbourg et UPRES-A 7006 du CNRS)

I. — *Cryptates* — *Propriétés électroniques et optiques*

Des espèces dianioniques dérivées de la bipyridine ont été obtenues ; elles représentent des analogues des structures « cryptatium » (1).

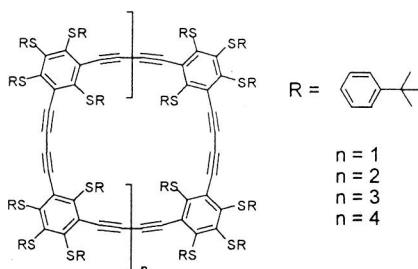


La synthèse de nouveaux groupes destinés à servir d'antenne dans des cryptates fluorescents a été entreprise (M.-N. LALLOZ).

II. — Composants moléculaires et supramoléculaires

1) Composants électroniques

Les travaux sur les structures poly(phénylthio) ont été poursuivis et la synthèse de systèmes macrocycliques a été réalisée (M. MAYOR).



La synthèse de fils moléculaires métallo-organiques à sites bimétalliques — $\text{M}(\text{---})_n\text{M}$ — a été poursuivie et la structure cristalline de l'un des composés a été déterminée (K.T. WONG).

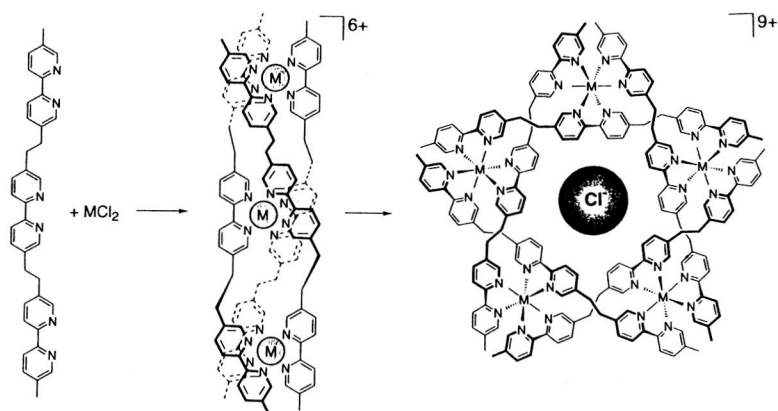
2) Composants dynamiques

Les essais de synthèse et de caractérisation de systèmes métalliques fluxionnels présentant des mouvements à longue distance ont été poursuivis (M. PFAMMATTER, R. KHOURY).

III. — Autoorganisation de systèmes inorganiques

1) Hélicates — Complexes métalliques hélicoïdaux

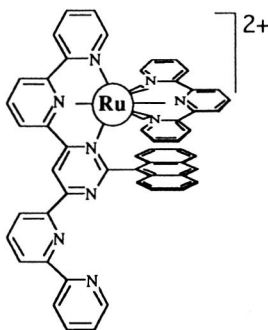
La formation séquentielle d'hélicates linéaires et circulaires a été démontrée indiquant que l'autoassemblage est à la fois sous contrôle cinétique et thermodynamique (2).



L'étude de la cinétique et du mécanisme de formation des hélicates circulaires a été poursuivie (M. CHOWDHRY).

2) Superstructures en « râtelier » et en « échelle ».

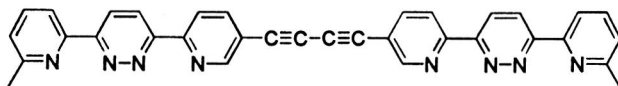
Les propriétés photophysiques de complexes métalliques du ruthénium (II) sont en cours d'étude (G. S. HANAN, en collaboration avec les laboratoires de V. BALZANI, Bologne et S. CAMPAGNA, Messine).



L'extension à des complexes polynucléaires est en cours (R. THAN).

3) Superstructures en « grille »

Des structures polytopiques linéaires à deux sous-unités, destinées à la formation de grilles métalliques ont été synthétisées (3).



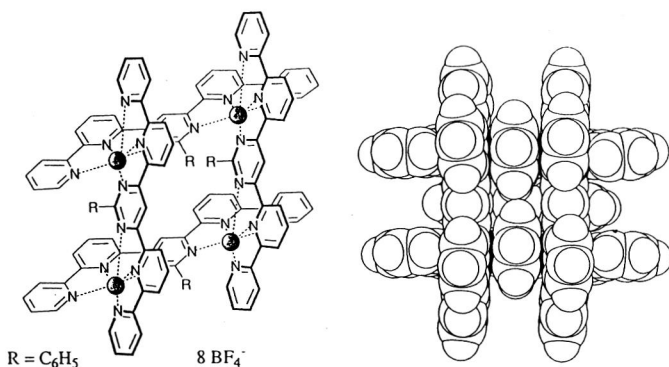
Les travaux sur les grilles [2 x 2] à sites de type terpyridine ont été poursuivis dans différentes directions :

— synthèse de ligand bi-fonctionnels pour la formation d'assemblées moléculaires et de polymères (4) et étude des grilles obtenues à partir de ces ligands (5) ;

— propriétés électroniques et magnétiques de grilles Co_4^{II} présentant des couplages de spin en solution et en film mince (5, 7, 8) ;

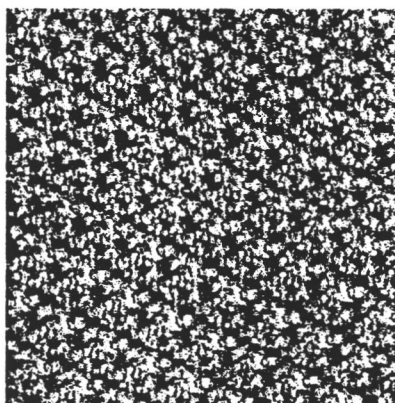
— propriétés magnétiques de complexes Ni_4^{II} (9) ;

— formation de grilles Co_4^{II} et Zn_4^{II} avec des ligands portant des groupes phényle (J. ROJO, F.J. ROMERO-SALGUERO, M. RUBEN) ;



— synthèse de grilles à partir de ligands portant des groupes de reconnaissance par liaison hydrogène complémentaires dans le but d'obtenir un ordre dans deux dimensions (E. BREUNING, U. ZIENER) ;

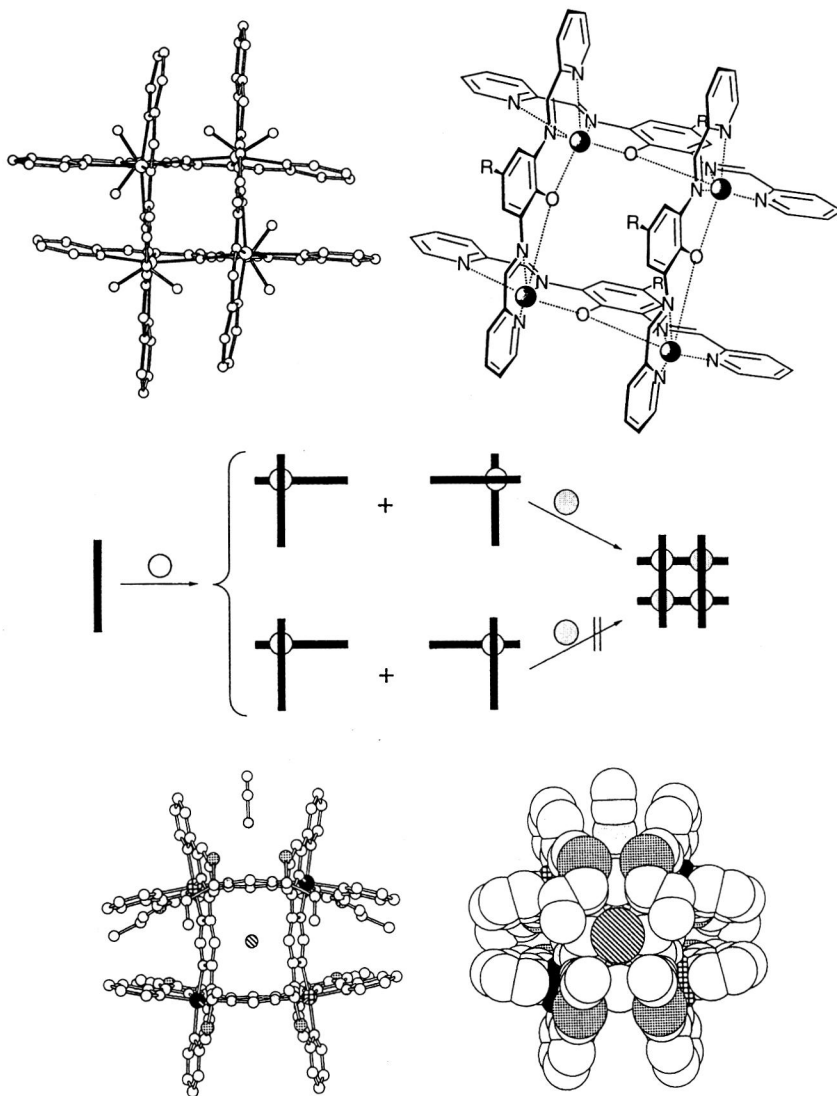
— synthèse et propriétés physiques de grilles Fe_4^{II} montrant des effets magnétiques très intéressants (E. BREUNING, M. RUBEN, en collaboration avec le laboratoire P. GÜTLICH, Mayence) ;



20 nm x 20 nm

— étude par STM de couches minces de grilles Co_4^{II} montrant la formation d'assemblées organisées à longue distance en deux dimensions (U.S. SCHUBERT, en collaboration avec le Laboratoire M. MÖLLER, Ulm) ;

— formation, structure et propriétés magnétiques d'une grille Cu_4^{II} contenant des groupes phénolates portant les ions cuivre (10) ;



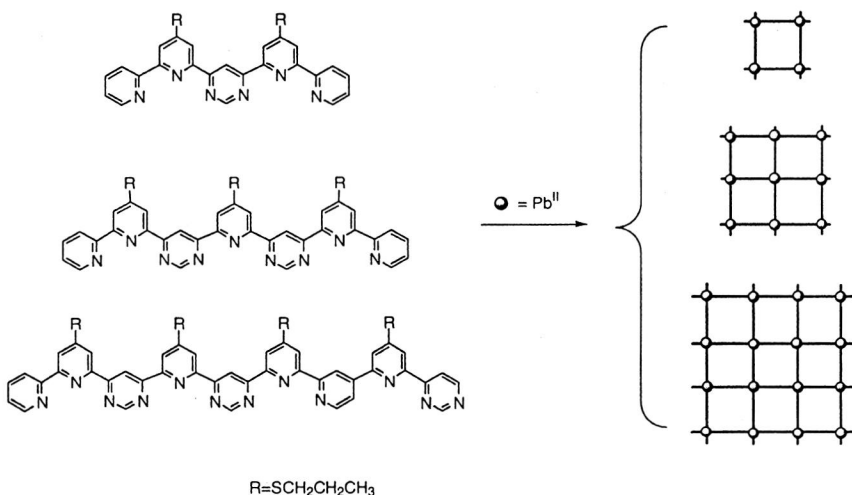
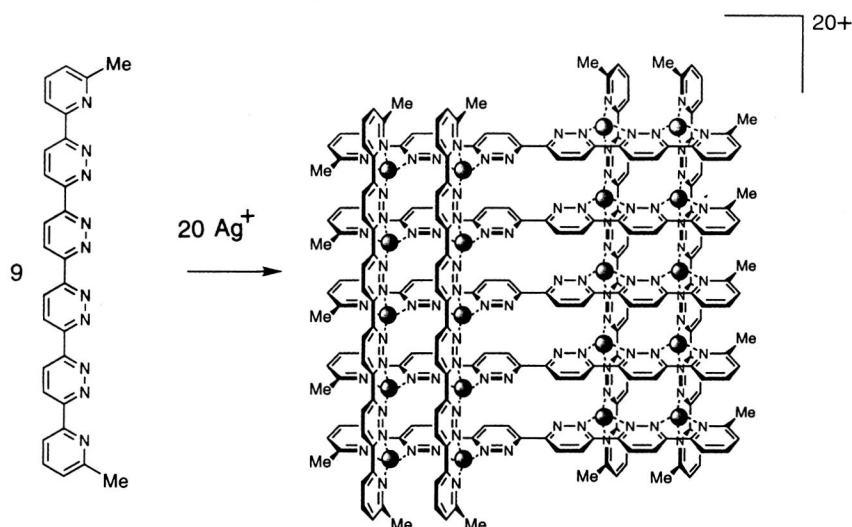
— auto-assemblage contrôlé toposélectif et chiroselectif de grilles hétérométalliques ($\text{Ru}_2^{\text{II}} \text{Fe}_2^{\text{II}}$), ($\text{Ru}_2^{\text{II}} \text{Co}_2^{\text{II}}$), ($\text{Os}_2^{\text{II}}, \text{Fe}_2^{\text{II}}$) et caractérisation par détermination

de la structure cristalline du complexe ($\text{Ru}_2^{\text{II}} \text{Fe}_2^{\text{II}}$) ; cet assemblage se fait à partir d'unités élémentaires « en coin » homochirales (11).

Par ailleurs, nos travaux sur les grilles de plus grande taille ont conduit à un ensemble de résultats :

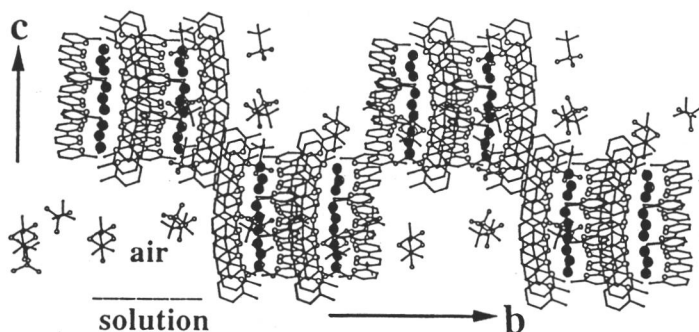
— mise en évidence d'un phénomène très marqué de non-linéarité dans l'autoassemblage d'une grille $[3 \times 3]$, Ag_9^+ (A. MARQUIS) ;

— caractérisation d'une grille $[4 \times 5]$ à 20 ions Ag^+ disposés en deux sous-unités de 10 ions (P. BAXTER) ;



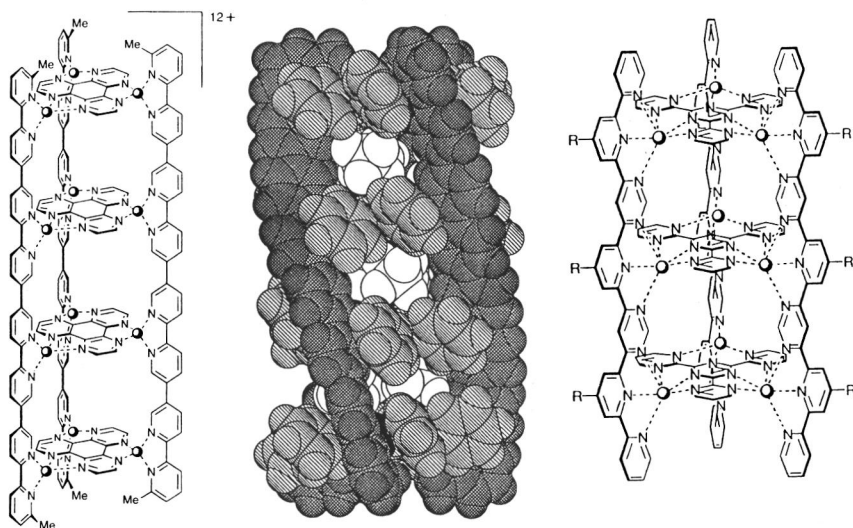
— formation et caractérisation de grilles $[2 \times 2]$, $[3 \times 3]$ et $[4 \times 4]$ comprenant respectivement 4, 9 et 16 ions Pb(II) (A.M. GARCIA, R. THAN) ;

— autoassemblage et caractérisation de grilles $[2 \times 2]$ Co_4^{II} et $[3 \times 3]$ Ag_9^{I} à l'interface air-eau (12).



4) Superstructures inorganiques cylindriques

Les travaux sur l'autoassemblage d'architectures inorganiques cylindriques à un sel ou à plusieurs compartiments internes ont été publiés. Ils concernent des systèmes à deux ligands contenant des sites de coordinations de type bipy ou terpy et respectivement des ions Cu(I) (13, 14) ou Pb(II) (15).

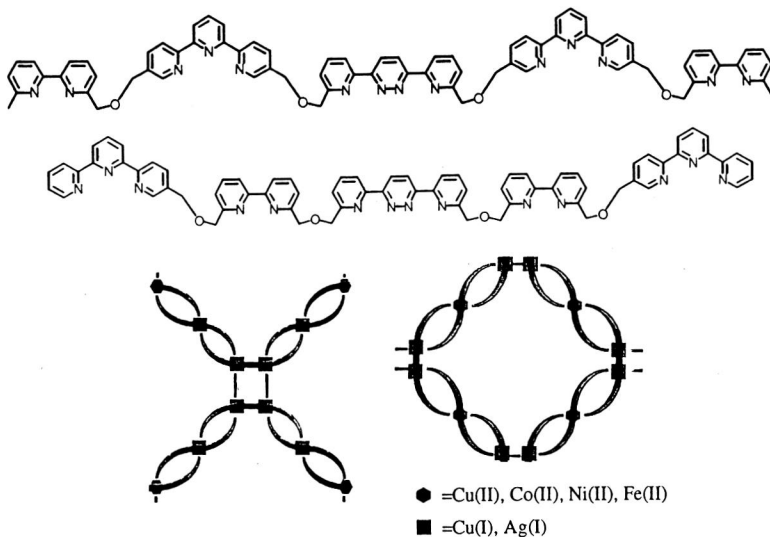


5) Autoassemblage à sous-programmes multiples

Plusieurs ligands contenant des sous-unités complexantes de différents types ont été synthétisés et leur interaction avec divers ions métalliques ont été étudiées. La formation d'architectures inorganiques complexes a été obtenue, par la lecture

des sous-programmes d'autoorganisation correspondant aux unités structurales par des ions spécifiques suivant des algorithmes de coordination déterminés. Les processus mis en œuvre permettent de programmer à dessein la formation de diverses architectures (D.P. FUNERIU).

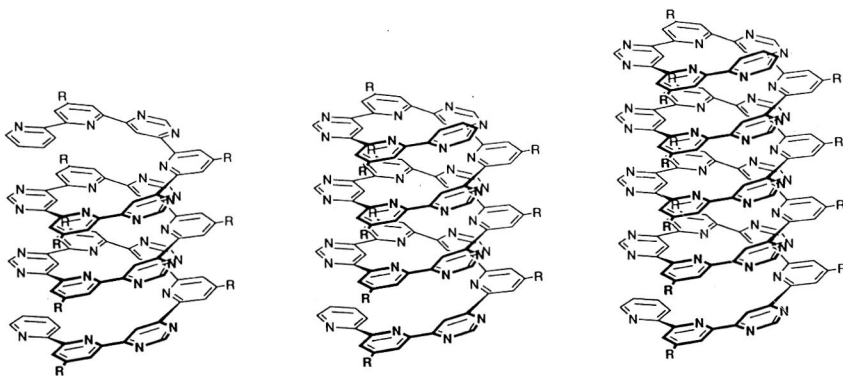
Des études sur les mécanismes d'autoassemblage de divers ensembles sont aussi en cours (D.P. FUNERIU, R. FENEUX).



IV. — Autoorganisation de systèmes organiques

1) Autoorganisation de chaînes polyhétérocycliques

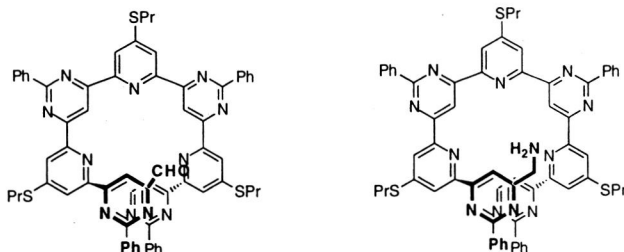
Nous avons montré que le groupe pyrimidine-pyridine agit comme codon d'hélicité capable d'induire une forme hélicoïdale dans une chaîne polyhétérocyclique.



$R = \text{SnPr}$

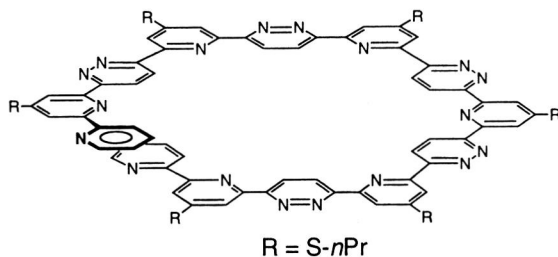
La synthèse d'oligomères $(\text{pym-py})_n$ possédant jusqu'à 27 hétérocycles a été réalisée. Les composés obtenus adoptent tous une forme hélicoïdale faisant jusqu'à 4 tours complets (M. OHKITA).

L'introduction d'unités chirales est en cours ; elle devrait conduire à l'induction d'une hélicité. Par ailleurs, la mise en œuvre de réactions de condensation (amine + aldéhyde) entre sous-unités hélicoïdales permet un accès plus rapide à des hélices à tours multiples (M. OHKITA, K. GARDINIER).



Une autre approche synthétique qui pourrait conduire à des hélices polymériques a été entreprise (K. GARDINIER).

L'utilisation d'autres hétérocycles permet de modifier les caractéristiques de l'hélice formée. Ainsi, des hélices de grand diamètre, possédant une cavité centrale agrandie, ont été obtenues par introduction d'un cycle pyridazène. De plus, cette molécule donne naissance à des fibres polymoléculaires observables par microscope électronique (L. CUCCIA).



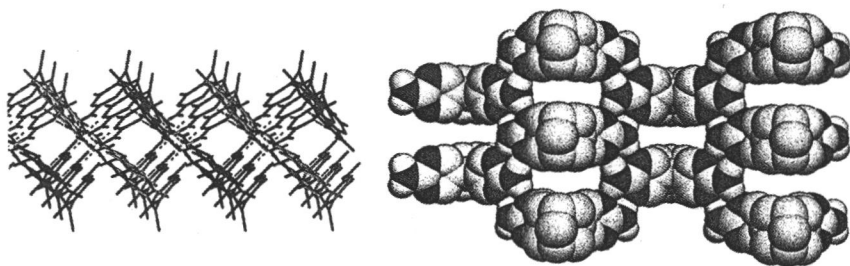
L'introduction de groupes naphtyridines est en cours (L. CUCCIA) ainsi que la synthèse d'oligomères (pyrimidine-thiophène) qui devraient conduire à des hélices contenant en alternance des groupes accepteurs et donneurs d'électrons (M. PFAMMATTER).

Une modification adéquate des éléments formant la chaîne et de leur connexions, doit permettre d'induire la formation programmée d'autres types de structure, en particulier des « tours- β » (β -turns) (R. KHOURY).

2) Autoassemblage par liaisons hydrogène

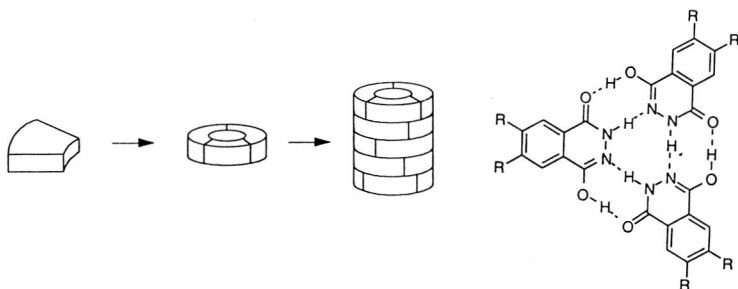
L'ingénierie de *solides moléculaires* mettant en œuvre des sites à liaisons hydrogène 2-aminopyrimidine a été poursuivie. Divers motifs ont été obtenus et caractérisés par détermination de la structure cristalline :

- feuillets plissés (16) ;
- doubles rubans (17) ;
- canaux hexagonaux.



La formation de composés d'inclusion hautement sélectifs a aussi été réalisée (M.J. KRISCHE).

Des *cristaux liquides supramoléculaires* ont été obtenus par autoassemblage séquentiel hiérarchisé comprenant la formation d'un disque supramoléculaire trimérique par liaison hydrogène, suivi de l'auto-organisation en une mésophase discotique colonnaire (18).



Des phases mésomorphes et des fibres supramoléculaires ont été obtenues par induction d'une organisation hélicoïdale dans une chaîne oligopyridine diamide à l'aide d'un groupe acide cyanurique complémentaire (V. BERL, M.J. KRISCHE en collaboration avec M. SCHMUTZ, LGBME, Illkirch).

Les travaux sur la formation de *polymères supramoléculaires* ont été poursuivis dans plusieurs directions :

- synthèse des groupes de reconnaissance de base et introduction dans divers motifs structuraux de type biphényle, porphyrine, etc. (S. BALABAN, E. PITSINOS, M. PFAMMATTER) ;
- élaboration de composants contenant des groupes de reconnaissance à double face (Janus) pour la formation de structures bidimensionnelles (M.J. KRISCHE, E. PITSINOS) ;

— étude des associations de très grande taille formées par ces unités moléculaires par diffusion de la lumière (A. PETITJEAN, en collaboration avec B. SARAZIN, Institut Charles Sadron du CNRS, Strasbourg).

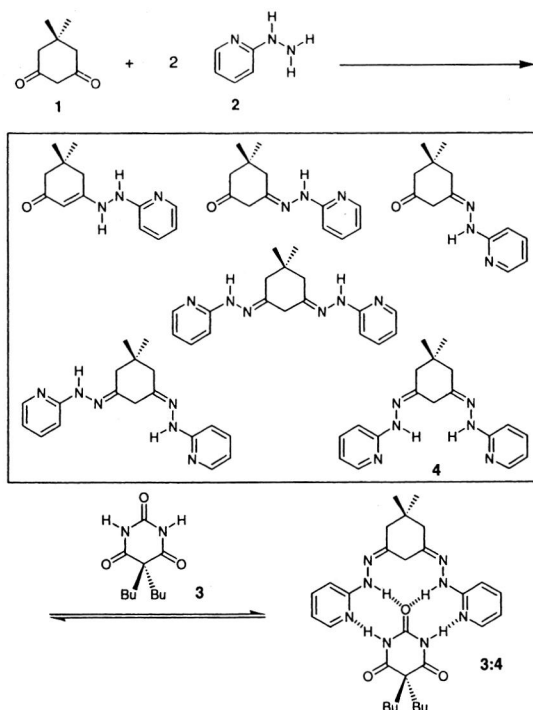
— introduction de fragments moléculaires ayant des propriétés particulières (rigidité, flexibilité) notamment en vue de l'obtention de solides cristallins (A. PETITJEAN).

V. — Chimie combinatoire dynamique et bibliothèques combinatoire virtuelles

Le domaine de la chimie combinatoire dynamique (CCD) se développe très rapidement du fait à la fois de la nouvelle approche conceptuelle qu'il représente que des possibilités d'applications potentielles qu'il offre.

Nos travaux ont été poursuivis dans plusieurs directions :

— génération d'une bibliothèque dynamique à la fois structurale configurationnelle et conformationnelle donnant lieu à la sélection de l'un des constituants de la bibliothèque induite par l'interaction avec un substrat complémentaire (V. BERL, I. HUC) ;



— assemblage préférentiel de récepteurs formés à partir de complexes métalliques par fixation d'un substrat lié par liaison hydrogène (I. HUC, M.J. KRISCHE, D.P. FUNERIU) ;

— mise au point d'une bibliothèque de disaccharides et étude de son interaction avec des cibles biologiques comme la concanavaline A (O. RAMSTRÖM) ;

— mise en œuvre de processus de rotation restreinte pour la génération de différentes formes moléculaires et synthèse de composants formant des combinaisons dynamiques pouvant interagir avec l'acétylcholinestérase (T. BUNYAPAI-BOONSRI) ;

— disposition de groupes réactifs sur le pourtour de complexes métalliques (V. MACHADO).

Divers composés polyammonium synthétisés antérieurement ont été utilisés comme additifs pour la cristallisation de protéines et d'acides nucléiques (19).

Quelques considérations générales sur la chimie ont été publiées (20). Les perspectives de la chimie et de la science supramoléculaires en tant que science de la matière informée ont été évoquées. L'accent a été mis en particulier sur la combinaison de trois caractéristiques fondamentales : — information et programmabilité ; — dynamique et réversibilité ; — combinatoire et diversité, qui ouvrent la voie à l'évolution vers une *chimie adaptative* (21).

PUBLICATIONS

1. H. BOCK, J.-M. LEHN, J. PAULS, S. HOLL, V. KRENZEL, *Sodium salts of the bipyridine dianion : Polymer $[(bpy)^2\{Na^+(dme)\}_2]_\infty$, cluster $[(Na_8O)^{6+}Na_6^+(bpy)_6]^{2-}$ (*tmeda*)₆, and monomer $[(bpy)^2\{Na^+(pmdta)\}_2]$* (Angew. Chem. Int. Ed. 38, 952-954, 1999).

2. B. HASENKNOPF, J.-M. LEHN, N. BOUMEDIENE, E. LEIZE, A. VAN DORSSELAER, *Kinetic and thermodynamic control in self-assembly : Sequential formation of linear and circular helicates* (Angew. Chem. Int. Ed. 37, 3265-3268, 1998).

3. F. J. ROMERO-SALGUERO, J.-M. LEHN, *Synthesis of multitopic bidentate ligands based on alternating pyridine and pyridazine rings* (Tet. Letters, 40, 859-862, 1999).

4. U. S. SCHUBERT, C. H. WEIDL, J.-M. LEHN, *Synthesis of bisfunctionalized bis-tridentate ligands as building blocks for extended metallo-supramolecular assemblies and polymers* (Designed Monomers and Polymers, 2, 1-17, 1999).

5. U. S. SCHUBERT, J.-M. LEHN, J. HASSMANN, C. Y. HAHN, N. HALLSCHMID, P. MÜLLER, *Design of assemblies of functionalized nanoscopic gridlike coordination arrays* (Functional Polymers, ACS Symposium Series 704, Eds. A. O. Patil, D. N. Schulz, B. M. Novak, Ch. 17, 248-260, 1998).

6. G.S. HANAN, U. S. SCHUBERT, D. VOLKMER, J.-M. LEHN, J. HASSMANN, C. Y. HAHN, O. WALDMANN, P. MÜLLER, G. BAUM, D. FENSKE, *Design of coordination arrays as potential molecular memory units and switches* (Ed. J. Coleman, Kluwer Academic Publishers, pp. 349-352, 1998).

7. O. WALDMANN, J. HASSMANN, R. KOCH, P. MÜLLER, G. S. HANAN, D. VOLKMER, U. S. SCHUBERT, J.-M. LEHN, *Magnetic inorganic grid structures : intracomplex coupling of four separate spins* (Mat. Res. Soc. Symp. Proc 448, 841-846, 1998).
8. J. HASSMANN, C. Y. HAHN, O. WALDMANN, E. VOLZ, H.-J. SCHLEEMILCH, N. HALLSCHMID, P. MÜLLER, G. S. HANAN, D. VOLKMER, U. S. SCHUBERT, J.-M. LEHN, H. MAUSER, A. HIRSCH, *Structural and electronic properties of self-assembled supramolecular grid structures : doping of supramolecular thin films* (Mat. Res. Soc. Symp. Proc. 448, 447-452, 1998).
9. O. WALDMANN, J. HASSMANN, P. MÜLLER, D. VOLKMER, U. S. SCHUBERT, J.-M. LEHN, *Magnetism of self-assembled mono- and tetranuclear supramolecular Ni^{2+} complexes* (Phys. Rev. B, 58, 3277-3285, 1998).
10. J. ROJO, J.-M. LEHN, G. BAUM, D. FENSKE, O. WALDMANN, P. MÜLLER, *Self-assembly, crystal structure, and magnetic properties of a phenoxo-bridged tetranuclear Cu^{II} complex of the [2x2] grid type* (Eur. J. Inorg. Chem., 517-522, 1999).
11. D. M. BASSANI, J.-M. LEHN, K. FROMM, D. FENSKE, *Toposelective and chiroselective self-assembly of [2x2] grid-type inorganic arrays containing different octahedral metallic centers* (Angew. Chem. Int. Ed., 37, 2364-2367, 1998).
12. I. WEISSBUCH, P. N. W. BAXTER, S. COHEN, H. COHEN, K. KJAER, P. B. HOWES, J. ALS-NIELSEN, G. S. HANAN, U. S. SCHUBERT, J.-M. LEHN, L. LEISEROWITZ, M. LAHAV, *Self-assembly at the air-water surface. In-situ preparation of thin films of metal ion grid architectures* (J. Am. Chem. Soc. 120, 4850-4860, 1998).
13. P. N. W. BAXTER, J.-M. LEHN, G. BAUM, D. FENSKE, *The design and generation of inorganic cylindrical cage architectures by metal-ion directed multicomponent self-assembly* (Chem. Eur. J., 5, 102-112, 1999).
14. P. N. W. BAXTER, J.-M. LEHN, B. O. KNEISEL, G. BAUM, D. FENSKE, *The designed self-assembly of multicomponent and multicompartmental cylindrical nanoarchitectures* (Chem. Eur. J., 5, 113-120, 1999).
15. A. M. GARCIA, D. M. BASSANI, J.-M. LEHN, G. BAUM, D. FENSKE, *Self-assembly of multicomponent multimetallic lead (II) complexes of cylindrical architecture* (Chem. Eur. J., 5, 1234-1238, 1999).
16. M. J. KRISCHE, J.-M. LEHN, N. KYRITSAKAS, J. FISCHER, *Molecular-recognition-directed self-assembly of pleated sheets from 2-aminopyrimidine hydrogen-bonding motifs* (Helv. Chim. Acta, 81, 1909-1920, 1998).
17. M. J. KRISCHE, J.-M. LEHN, N. KYRITSAKAS, J. FISCHER, E. K. WEGELIUS, M. J. NISSINEN, K. RISSANEN, *Exploring the 2,2'-diamino-5,5'-bipyrimidine hydrogen-bonding motif : a modular approach to alkoxy-functionalized hydrogen-bonded networks* (Helv. Chim. Acta, 81, 1921-1930, 1998).

18. M. SUAREZ, J.-M. LEHN, S. C. ZIMMERMAN, A. SKOULIOS, B. HEINRICH, *Supramolecular liquid crystals. Self-assembly of a trimeric supramolecular disk and its self-organization into a columnar discotic mesophase* (J. Am. Chem. Soc., 120, 9526-9532, 1998).
19. C. SAUTER, J. D. NG, B. LORBER, G. KEITH, P. BRION, M. W. HOSSEINI, J.-M. LEHN, R. GIEGÉ, *Additives for the crystallization of proteins and nucleic acids* (J. Crystal Growth, 196, 365-376, 1999).
20. J.-M. LEHN, *L'intelligence du chimiste* (Pour la Science, décembre, n° 254, 187-189, 1998).
21. J.-M. LEHN, *Supramolecular chemistry / Science. Some conjectures and perspectives* (Eds. R. Ungaro, E. Dalcanele, Supramolecular Science : Where It is and Where It is Going, Kluwer Academic Publishers, 287-304, 1999).

THÈSE

Thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur

— Daniel P. FUNERIU, *Auto-assemblage à sous-programmes multiples* (Université Louis Pasteur, 5 mai 1999).

CONFÉRENCES PRÉSENTÉES SUR INVITATION

Professeur Jean-Marie LEHN

— X^e anniversaire des Prix Solvay pour la Recherche en Sciences Chimiques, Barcelone, 30 mars 1998 : Museo de la Ciencia, Barcelone, *From Matter to Life : Chemistry ? !* ; Faculté de Chimie, Université de Barcelone, *Perspectives in Supramolecular Chemistry*.

— EQAS/ELAS '98, Heriott-Watt University, Edinburgh, 17 avril 1998, *Supramolecular Chemistry : From Molecular Recognition to Diagnostic Technology*.

— Walker Memorial Lecture, Edinburgh University Chemical Society, 17 avril 1998, *Perspectives in Supramolecular Chemistry*.

— Symposium Materials for the 21st Century & Beyond, Hunter College, City University of New York, 29 avril 1998, *Towards Programmed Self-Assembly of Supramolecular Materials*.

— The 1998 Stauffer Symposium, University of Southern California, Los Angeles, 30 avril 1998, *Towards Programmed Self-Organizing Chemical Systems*.

— John D. Roberts Lecture, California Institute of Technology, Pasadena, 1^{er} mai 1998, *From Physical-Organic Chemistry to Supramolecular Chemistry : A Tribute to J.D. Roberts*.

— Amgen Lecture, UCLA, Los Angeles, 1^{er} mai 1998, *Perspectives in Supramolecular Chemistry : Towards Self-Organization*.

— Amgen Lecture, Amgen, Thousand Oaks, California, 4 mai 1998, *Supramolecular Chemistry : Selected Topics at the Interface with Biology*.

— Perspectives in Chemistry, The Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem, 17-22 mai 1998, *Extending the Frontiers of Chemistry : Towards Complexity and Information Science*.

— Ehrendoktorwürde, Festkolloquium, Fakultät für Chemie, Bielefeld, 9 juin 1998, *Von Materie zum Leben : Chemie ? !*.

— Forum « Physics and Chemistry », Université Charles, Prague, 17 juin 1998, *Self-Assembly of Supramolecular Nanostructures*.

— Xth International Symposium on Molecular Recognition and Inclusion, Varsovie, 20-25 juin 1998, *Perspectives in Supramolecular Chemistry*.

— Symposium Marquage et Ingénierie Moléculaire, INSTN, CEA-Saclay, 29 juin 1998, *Ingénierie Supramoléculaire par Auto-Assemblage*.

— Institut des Sciences Chimiques Seine Amont, CNRS-Université Paris Val de Marne, Thiais, 29 juin 1998, *Autoassemblage et Matériaux Supramoléculaires*.

— 7th International Chemistry Conference in Africa and 34th Convention of the South African Chemical Institute, University of Natal, Durban, 6 juillet 1998, *Supramolecular Chemistry : Concepts and Perspectives*.

— Annual Meeting Society of Chemical Industry, London, The 1998 Messel Medal Lecture, 8 juillet 1998, *From Matter to Life : Chemistry ? !* (speaking from South Africa via videoconferencing).

— Centre de Recherche de la SASOL, Sasolburg, 9 juillet 1998, *Supramolecular Chemistry : Concepts and Perspectives*.

— 17th International Liquid Crystal Conference, Strasbourg, 20 juillet 1998, *Perspectives in Supramolecular Chemistry : Self-Assembly and the Design of Supramolecular Materials*.

— European Molecular Biology Laboratory (EMBL) Lecture, Heidelberg, 23 juillet 1998, *Perspectives in Supramolecular Chemistry : From Molecular Recognition towards Self-Organization*.

— 10th International Symposium on Chiral Discrimination (ISCD '98), Vienna, 30 août 1998, *Chirality in Supramolecular Chemistry*.

— XXXIII International Conference on Coordination Chemistry « The Chemistry of Metal Ions in Everyday Life », Firenze, 3 septembre 1998, *Self-Organization of Inorganic Systems*.

— NATO Advanced Research Workshop Supramolecular Science, Lerici (La Spezia), 5 septembre 1998, *Perspectives in Supramolecular Science*.

— European Research Conferences Supramolecular Chemistry : Advanced Materials, Rolduc Abbey, Kerkrade, 14 septembre 1998, *Supramolecular Chemistry : From Molecules to Materials*.

— Distinguished Lecture, National Science Foundation, Arlington, 22 septembre 1998, *Supramolecular Chemistry — Towards Nanotechnology by Self-Organization*.

— Allan R. Day Award Lecture, Philadelphia Organic Chemists' Club, Philadelphia, 24 septembre 1998, *Supramolecular Chemistry : Concepts and Perspectives*.

— The 20th Annual Princeton ACS Fall Organic Chemistry Symposium, Princeton, 25 septembre 1998, *Evolution of Supramolecular Chemistry ; From Molecular Recognition towards Self-Organization*.

— La Semaine de la Science, Strasbourg, 8 octobre 1998, *De la Matière à la Vie : La Chimie ? !*.

— Festkolloquium, 70. Geburtstages von Prof. Hans Bock, Frankfurt-am-Main, 9 octobre 1998, *Selbst-Aufbau von Anorganischen Architekturen*.

— 21st IUPAC International Symposium on the Chemistry of Natural Products (ISCNP-21), Beijing, 15 octobre 1998, *Bioorganic Supramolecular Chemistry — Recent Advances*.

— Peking University, Beijing, 15 octobre 1998, *Supramolecular Chemistry — Concepts and Perspectives*.

— Xiangshan Science Conference on Supramolecular Systems : From Molecular Architecture to Functional Assemblies, Beijing, 17 octobre 1998, *Perspectives in Supramolecular Chemistry : Towards Programmed Chemical Systems*.

— University of Science and Technology of China, Hefei, 19 octobre 1998, *Supramolecular Chemistry — Concepts and Perspectives*.

— Southeast University, Nanjing, 22 octobre 1998, *Supramolecular Chemistry — Concepts and Perspectives*.

— Shanghai Institute of Organic Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 26 octobre 1998, *Supramolecular Chemistry — Concepts and Perspectives*.

— Akademische Feier 100. Geburtstag von Karl Ziegler, Mülheim an der Ruhr, 26 novembre 1998, *Supramolekulare Chemie : Vom Molekül zum Material*.

— 1998 Messel Medal Lecture, Cambridge University, 16 décembre 1998, *Supramolecular Chemistry : Concepts and Perspectives*.

— Science Faculty Interdisciplinary Lecture, University of Southampton, 17 décembre 1998, *Supramolecular Science — Concepts and Perspectives*.

— Cérémonie de remise des diplômes parrainée par J.-M. Lehn, ESIREM, Université de Bourgogne, Dijon, 16 janvier 1999, *Chimie Supramoléculaire et Matériaux*.

— Conférence Steinhöfer, Université de Kaiserslautern, 29 janvier 1999, *Supramolekulare Chemie : Konzepte und Perspektiven*.

— 3^e Lausanne Conference on Bioorganic Chemistry, Lausanne, 5 mars 1999, *Bioorganic Topics in Supramolecular Chemistry*.

— L'Année Internationale de la Chimie, Rennes, 18 mars 1999, *De la Matière à la Vie : la Chimie ? !*.

— Journée d'Hommage Scientifique et Civil à Jean Rouxel, Nantes, 19 mars 1999.

— Académie de Lyon, Rhône-Poulenc CPE, Lyon, 25 mars 1999, *De la Matière à la Vie : la Chimie ? !*.

— Forum Mondial des Sciences de la Vie, bio Vision, Lyon, 27 mars 1999.

— International Symposium « Reflections on XXth Century Sciences », Bruxelles, 16-18 avril 1999, *From Matter to Life : Chemistry*.

— 34th EUCHEM Conference on Stereochemistry, Bürgenstock, 24-27 avril 1999, invité d'honneur.

— Association des Médecins Israélites de France (AMIF), Strasbourg, 29 avril 1999, *De la Matière à la Vie*.

— Campus Colloquia CNR, Bologne, 7 mai 1999, *Supramolecular Chemistry, Concepts and Perspectives*.

— International Workshop on Molecular Gastronomy N. Kurti, Erice, 8-9 mai 1999, *Supramolecular Chemistry : The Flavour of Molecules*.

— Colloqui d'Ateneo, Athena Lecture, Université de Catane, 10 mai 1999, *From Matter to Life : Chemistry ? !*.

— Workshop « Crystal Engineering : From Molecules and Crystals to Materials », Erice, 13 mai 1999, *The Design of Supramolecular Materials*.

— 1st French-Italian Symposium on Asymmetric Synthesis, Maratea, 15 mai 1999, *Asymmetry in Supramolecular Chemistry*.

— V^e Forum mondial de la Chimie, Marseille, 3 juin 1999.

Docteur Bernard DIETRICH, DR2 CNRS

— Cours de Chimie Bioorganique et Bioinorganique, Université Louis Pasteur Strasbourg (Maîtrise de Chimie et de Chimie Physique, Magistère de Chimie Biologie).

— IRCOF, Université de Rouen, 19 octobre 1998, *Complexation des Anions*.

Docteur Ivan HUC, CR2 CNRS

— Séminaire du département de chimie de l'université de Kitasata, Kanagawa (Japon), invité par le Dr. K. Goto, 29 juin 1998, *Template effects & information transfer in combinatorial systems*.

— Séminaire du département de biologie appliquée (faculté d'agriculture) de l'université de Tokyo (Japon), invité par le Prof. T. Kitahara, 2 juillet 1998, *Dynamic combinatorial chemistry*.

— Séminaire du département de chimie (faculté des sciences) de l'université de Tokyo (Japon), invité par le Prof. K. Tachibana, 8 juillet 1998, *Template effects & information transfer in combinatorial systems*.

— Séminaire du département de chimie synthétique et biologique (faculté d'ingénierie) de l'université de Kyoto (Japon), invité par le Prof. K. Akiyoshi, 10 juillet 1998, *Ribbons, helices and gels from gemini surfactants*.

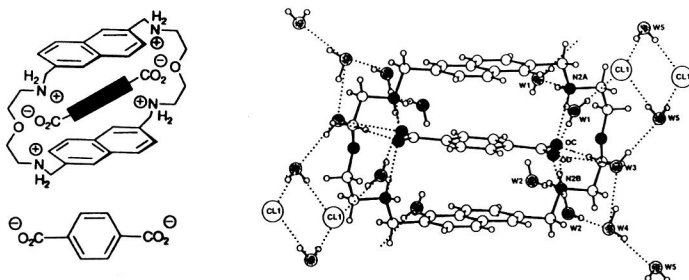
— Séminaire du département de chimie de l'université de Genève (Suisse), invité par le Prof. P. E. Kundig, 4 septembre 1998, *Molecular recognition and catalysis : from enzyme models to combinatorial synthesis*.

B) LABORATOIRE DE CHIMIE DES INTERACTIONS MOLÉCULAIRES —
UPR 285 DU CNRS
COLLÈGE DE FRANCE

I. — Récepteurs moléculaires — Reconnaissance moléculaire

1) Récepteurs moléculaires de type cyclo-bisintercalant

Les structures cristallines de deux complexes d'inclusion de deux substrats dicarboxyliques dans un récepteur bis-naphtalénique ont été analysées (22, 23).

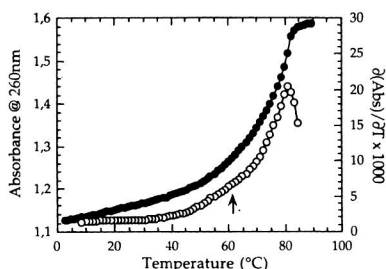
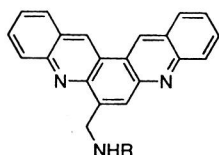
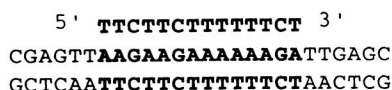


Les études d'interaction des cyclo-bisintercalants (en particulier le composé bis-acridine BA) avec les acides nucléiques ont été poursuivies dans plusieurs directions :

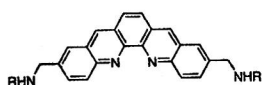
— déplacement d'un oligonucléotide fixé sur un plasmide simple brin par BA et interaction de BA avec des boucles oligonucléotidiques modèles (M.-P. TEULADE-FICHO) ;

— études spectroscopiques de l'interaction de BA avec des sites abasiques (M.-P. TEULADE-FICHO, J.-P. VIGNERON, en collaboration avec le Laboratoire J. LHOMME, Université Joseph Fourier, Grenoble) ;

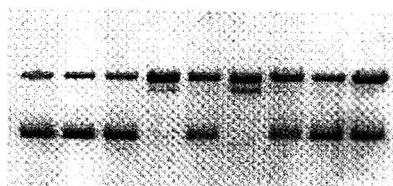
— stabilisation de triples hélices d'ADN par des dérivés de dibenzo-phénanthrolines ainsi que le montrent les courbes de fusion (24) ;



— mise en évidence de l'activité de type nucléase envers des ADN double brin d'ortho-quinocridines en présence de cuivre (II) et en absence de réducteur (25).



Form II
 Form III
 Form I



2) Catalyse supramoléculaire

Les travaux portant sur la mise au point de catalyseurs de type phosphine-rhodium à partir de ligands macrocycliques bis-PPh₂ ont été poursuivis. Deux complexes ont été obtenus et ont pu être caractérisés (T.H. PARIS, R. MERIC, J.-P. VIGNERON).

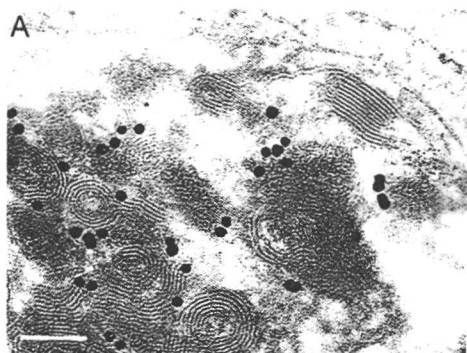
La synthèse d'un réactif de type dihydropyridine dérivé de BA susceptible d'effectuer une réaction de transfert d'hydrure envers un substrat inclus dans la cavité moléculaire a été poursuivie (M. DHAENENS, J.-P. VIGNERON).

L'analyse des effets de la complexation des acides azobenzène dicarboxyliques par BA sur l'isomérisation cis, trans est en cours d'analyse.

3) Récepteurs polycationiques et transfert de gènes

Les travaux de mise au point d'agents artificiels de transfert de gènes ont été poursuivis dans plusieurs direction (J.-P. VIGNERON) :

— caractérisation structurale par microscopie électronique et diffusion des rayons X des assemblées supramoléculaires formées par les réactifs guanidinium-cholestérol avec les acides nucléiques ; on observe la formation de domaines multilamellaires hautement organisés où les molécules d'ADN, marquées par des nanoparticules d'or, sont intercalées entre les bicouches lipidiques (26) ;



- synthèse de dérivés polyguanidinium du cholestérol (S. ROQUIER) ;
- synthèse de dérivés polyguanidinium de la progestérone et de groupes potentiels de ciblage nucléaire (M. PATEL) ;
- synthèse de dérivés guanidinium de saccharides (M. PATEL ; M. CUDIC) ;
- évaluation des propriétés biologiques *in vitro* et *in vivo* des composés obtenus (en collaboration avec le groupe de P. LEHN, Hôpital Robert Debré, Paris, M. FAUQUET, Collège de France et le groupe de Rhône-Poulenc Rorer).

Un article de revue sur l'utilisation des lipides guanidinium-cholestérol comme agents de transfection a été publié (27).

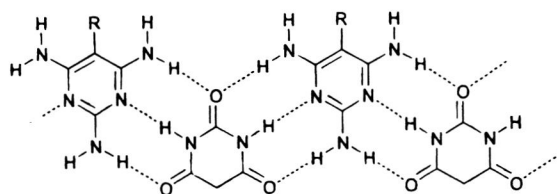
II. — *Phase organisées supramoléculaires*

1) *Autoassemblage par reconnaissance moléculaire*

Des dérivés fonctionnalisés des nucléosides ont été synthétisés en vue de leur utilisation comme groupes de reconnaissance dans la formation de polymères supramoléculaires (J. BRIENNE, J. GABARD).

2) *Membranes et vésicules à reconnaissance moléculaire*

Les études de reconnaissance moléculaire entre couches moléculaires fonctionnalisées par des groupes de reconnaissance, et les substrats complémentaires ont été publiées (28, 29).



La mise en évidence de processus d'agrégation ou de fusion entre vésicules portant des groupes de reconnaissance complémentaires BAR et TAP requiert des

méthodes physiques spécifiques. L'utilisation de système à base de réactions enzymatiques n'a pas fournit de résultats concluants pour l'instant (J. SANDERSON). L'adhésion de petites vésicules sur des vésicules géantes complémentaires a pu être visualisée à l'aide de substances fluorescentes (V. MARCHI-ARTZNER).

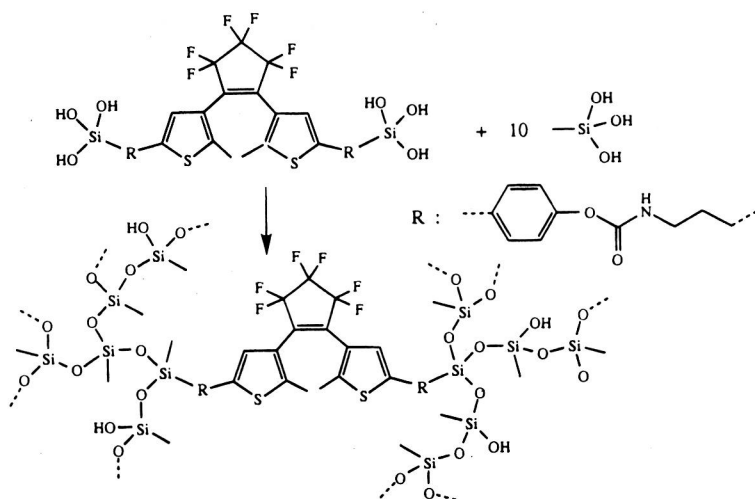
La synthèse de lipides bolaphiles et de lipides de type gémini réversibles dérivés de la cystéine a été poursuivie et l'étude de leur aptitude à former des vésicules est en cours (J. SANDERSON).

III. — Photochromes — Dispositifs Photoniques Moléculaires

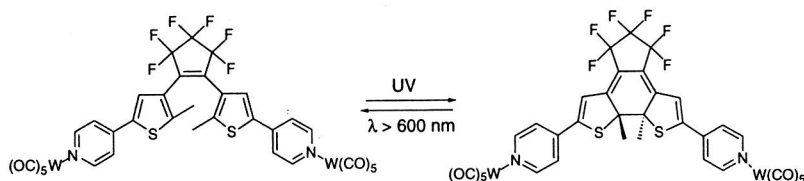
Les travaux dans le domaine des dispositifs moléculaires concernent les systèmes photoniques basés sur les photochromes de type dithiényléthène (DTE).

Les propriétés optiques et dynamiques d'un composé DTE en solution et dans un film ont été étudiée. La commutation se fait en moins de 3 ps, et 1 500 cycles ont pu être effectués dans un film de copolymère sans fatigue notable (30).

L'inclusion d'un dérivé DTE dans un matériau sol-gel donne lieu à un changement important et réversible d'index de réfraction (31, 32).



L'étude de la modulation de la fluorescence de complexes métalliques photochromes a été poursuivie (33) (A. FERNANDEZ-ACEBES).



L'utilisation de mélanges de composés DTE présentant des colorations différentes a permis la mise au point de systèmes dynamiques de génération combinatoire de colorations dépendant du temps et de la longueur d'onde d'irradiation (A. FERNANDEZ-ACEBES).

Les études sur la photomodulation des pK_a ont été mises en forme ; ces processus représentent de systèmes à états multiples optiques/protoniques (S. H. KAWAI, S. GILAT).

La synthèse de composés DTE destinés à des études photophysiques a été poursuivie (V. BLOY). Des travaux sur la purification de nanotubes à paroi simple ont été menés dans le laboratoire de T. W. EBBESEN par E. DUJARDIN (34).

PUBLICATIONS

22. T. PARIS, J.-P. VIGNERON, J.-M. LEHN, M. CESARIO, L. TCHERTANOV, J. GUILHEM, *Cyclo bis-intercaland receptors : Structure of two intercalative inclusion complexes. Stability of the hydration network facing two different substrates* (Ed. J. Coleman, Kluwer Academic Publishers, pp. 447-450, 1998).

23. T. PARIS, J.-P. VIGNERON, J.-M. LEHN, M. CESARIO, J. GUILHEM, C. PASCARD, *Molecular Recognition of Anionic Substrates. Crystal Structures of the Supramolecular Inclusion Complexes of Terephthalate and Isophthalate Dianions with a Bis-Intercaland Receptor Molecule* (Journal of Inclusion Phenomena & Macrocyclic Chemistry, 33, 191-202, 1999).

24. O. BAUDOIN, C. MARCHAND, M.-P. TEULADE-FICHO, J.-P. VIGNERON, J.-S. SUN, T. GARESTIER, C. HÉLÈNE, J.-M. LEHN, *Stabilization of DNA triple helices by crescent-shaped dibenzophenanthrolines*, (Chem. Eur. J., 4, 1504-1508, 1998).

25. O. BAUDOIN, M.-P. TEULADE-FICHO, J.-P. VIGNERON, J.-M. LEHN, *Efficient copper(II)-mediated nuclease activity of ortho-quinacridines* (Chem. Commun., 2349-2350, 1998).

26. B. PITARD, N. OUDRHIRI, J.-P. VIGNERON, M. HAUCHECORNE, O. AGUERRE, R. TOURY, M. AIRIAU, R. RAMASAWMY, D. SCHERMAN, J. COUZET, J.-M. LEHN, P. LEHN, *Structural characteristics of supramolecular assemblies formed by guanidinium-cholesterol reagents for gene transfection* (Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 96, 2621-2626, 1999).

27. N. OUDRHIRI, J.-P. VIGNERON, M. HAUCHECORNE, R. TOURY, A. I. LEMOINE, M. PEUCHMAUR, J. NAVARRO, J.-M. LEHN, P. LEHN, *Guanidinium-cholesterol cationic lipids : novel reagents for gene transfection and perspectives for gene therapy* (Biogenic Amines, 14, 537-552, 1998).

28. V. MARCHI-ARTZNER, F. ARTZNER, O. KARTHAUS, M. SHIMOMURA, K. ARIGA, T. KUNITAKE, J.-M. LEHN, *Molecular recognition between 2,4,6-tri-aminopyrimidine lipid monolayers and complementary barbituric molecules at*

the air/water interface : effects of hydrophilic spacer, ionic strength, and pH (Langmuir, 14, 5164-5171, 1998).

29. V. MARCHI-ARTZNER, J.-M. LEHN, T. KUNITAKE, *Specific adhesion and lipid exchange between complementary vesicle and supported or Langmuir film* (Langmuir, 14, 6470-6478, 1998).

30. J. C. OWRUTSKY, H. H. NELSON, A. P. BARONAVSKI, O.-K. KIM, G. M. TSIVGOULIS, S. L. GILAT, J.-M. LEHN, *Optical properties and dynamics of a photochromic bisthiénylène in solution and in a polymer film* (Chem. Phys. Lett. 293, 555-563, 1998).

31. J. BITEAU, F. CHAPUT, K. LAHLIL, J.-P. BOILOT, G. M. TSIVGOULIS, J.-M. LEHN, B. DARRACQ, C. MAROIS, Y. LÉVY, *Large and stable refractive index change in photochromic hybrid materials* (Chem. Mater. 10, 1945-1950, 1998).

32. J. PERETTI, J. BITEAU, J.-P. BOILOT, F. CHAPUT, V.I. SAFAROV, J.-M. LEHN, A. FERNANDEZ-ACEBES, *Remanent photoinduced birefringence in thin photochromic sol-gel films* (Appl. Phys. Letters, 74, 12, 1657-1659, 1999).

33. A. FERNANDEZ-ACEBES, J.-M. LEHN, *Optical switching and fluorescence modulation in photochromic metal complexes* (Adv. mater. 10, 1519-1522, 1998).

34. E. DUJARDIN, T. W. EBBESEN, A. KRISHNAN, M. M. J. TREACY, *Purification of single-shell nanotubes* (Adv. mater. 10, 611-613, 1998).

35. E. HEILBRONNER et J. JACQUES, *Paul Havrez (1838-1875) et sa formule du benzène* (C.R. Acad. Sci. Paris, 1, série II c, 1998, p. 587).

36. J. JACQUES, *A propos de la réaction de Borodine-Hunsdiecker* (C.R. Acad. Sci. Paris, 2, série II c, 1999, p. 181).

THÈSE

Thèse de doctorat de l'Université Paris 6

— Olivier BAUDOIN, *Mono- et bis-quinacridines : synthèse et interactions avec les nucléotides et les acides nucléiques* (Université Paris 6, 15 décembre 1998).

CONFÉRENCES PRÉSENTÉES SUR INVITATION

Professeur Jean-Marie LEHN

— Les conférences présentées (voir ci-dessus) ont porté à la fois sur les travaux réalisés au Collège de France et à l'Université Louis Pasteur.

Docteur Jean-Pierre VIGNERON, DR2 CNRS

— Faculté et Centre de recherche Chimie — ECPM, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 9 octobre 1998, *Chimie supramoléculaire bioorganique : reconnaissance des acides nucléiques et vecteurs synthétiques pour le transfert de gènes*.

— Département de Biochimie et Génétique moléculaire, Institut Pasteur, 23 novembre 1998 : *Chimie supramoléculaire bioorganique : reconnaissance des acides nucléiques et vecteurs synthétiques pour le transfert de gènes*.

— Observatoire Français des Techniques Avancées, Paris, 25 mars 1999, *Biomimétisme et Chimie supramoléculaire*.

— The Firth MPDI Lecture, Bâle, 11 juin 1999, *Supramolecular Bioorganic Chemistry : Nucleic Acids Recognition and Synthetic Vectors for Gene Transfer*.

Docteur Marie-Paule TEULADE-FICHO, CR2 CNRS

— Journée de Chimie Organique Biologique de la Montagne Sainte-Geneviève, Mai 1999, Paris, *Stabilisation et coupure sélective de triples hélices par des dérivés quinacridines*.

AFFECTATIONS ET ACTIVITÉS PROFESSIONNELLES DES CHERCHEURS AYANT QUITTÉ LES LABORATOIRES EN 1998-1999

— Olivier BAUDOIN, Chercheur post-doctoral, Scripps Research Institute, La Jolla, USA.

— Alvaro FERNANDEZ-ACEBES, Chercheur, Université Pais Vasco, Vittoria, Espagne.

— Vanderlei GAGEIRO-MACHADO, Chercheur Univ. Florianopolis, Brésil.

— Ana GARCIA-COLLAZO, Chercheur, KARO BIO, Suède.

— Masakazu OHKITA, Professeur associé, Sapporo, Japon.

— Emmanouil PITSINOS, Chercheur, NCSR « DEMOKRITOS », Grèce.

— Javier ROJO, Chercheur post-docteur, Boston, USA.

— John SANDERSON, Lecturer, University of Sussex, Brighton, Angleterre.

— Ken Tsung WONG, Professeur associé, Taiwan.

— Ulrich ZIENER, Chercheur, Univ. Saarbrücken, Allemagne.

DISTINCTIONS — PRIX — NOMINATIONS

Jean-Marie LEHN a été nommé Docteur Honoris Causa de l'Institut Weizmann des Sciences, Rehovoth, et Professeur Honoraire de l'Université de Science et Technologie de Chine à Hefei et de l'Université du Sud-Est de Nanjing. Il a été nommé membre étranger de l'Académie de Sciences de Russie et de l'Académie des Sciences de Turin, ainsi que membre d'honneur de l'Académie Royale Irlandaise. Il a reçu la Médaille Top 75 de la Société Américaine de Chimie, le prix Allan R. Day du Club des chimistes organiciens de Philadelphie et la Médaille Messel de la Société de Chimie Industrielle de Londres.

Jean-Pierre VIGNERON a reçu le Prix MDPI 1999 (Molecular Diversity Preservation International), Bâle.