

Chimie des interactions moléculaires

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

Le cours de l'année 2007-2008 a porté sur « Autoorganisation moléculaire et supramoléculaire ». Des cours ont été donnés à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg (3 h), à l'Université d'Etat M. V. Lomonossov de Moscou (4 h) et à la City University de Hong Kong (4 h).

Cours au collège de France

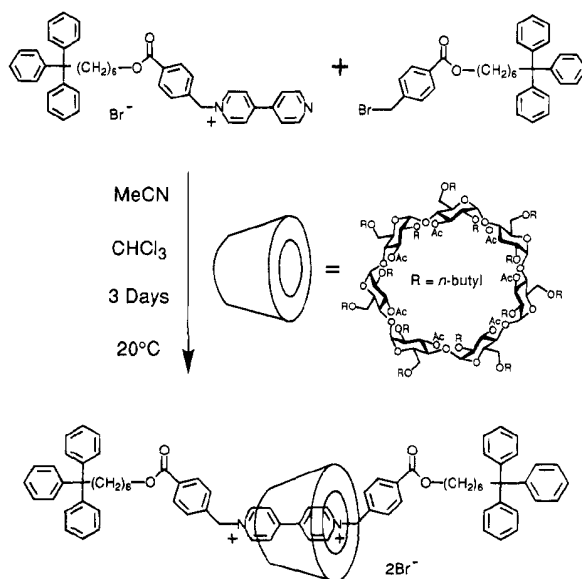
1) *Autoorganisation supramoléculaire d'architectures entrelacées*

L'autoorganisation d'architectures entrelacées de type rotaxanes, caténanes et nœuds moléculaires met à profit l'assistance d'effets supramoléculaires pour mettre en place les différents composants qui seront ensuite connectés par des réactions post-assemblage. Ces effets supramoléculaires peuvent résulter de la coordination d'ions métalliques (cours 2005-2006), d'interactions électrostatiques, de la formation de liaisons hydrogène, de forces de Van der Waals.

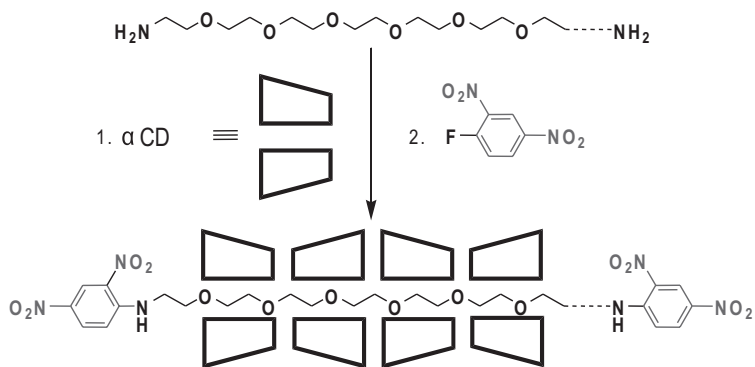
a) *Cavités organiques : cyclodextrines, cucurbituriles*

La formation de rotaxanes a mis en œuvre l'aptitude de cavités moléculaires de grande taille, telles que celles des cyclodextrines et des cucurbituriles, à former des complexes d'inclusion avec de nombreux substrats moléculaires.

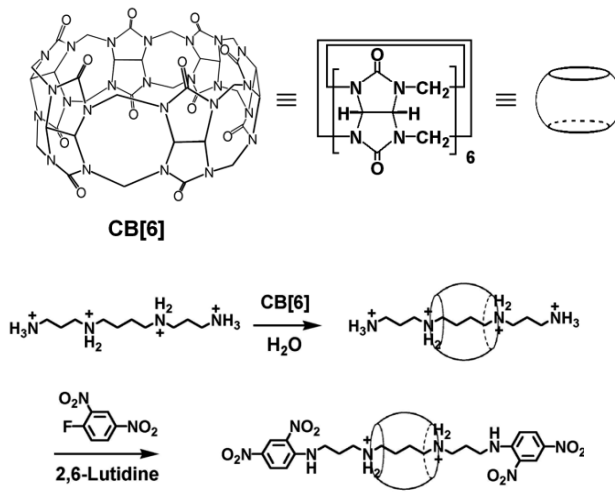
Deux différentes stratégies de synthèse ont été mises au point, utilisant par exemple l' α -cyclodextrine.



La formation de polyrotaxanes et de caténanes a aussi été réalisée.

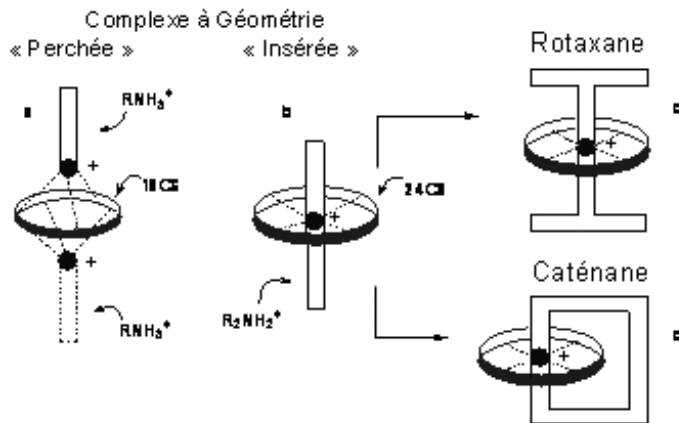


De manière analogue, des rotaxanes dérivant de la [6] cucurbiturille ont été obtenus.

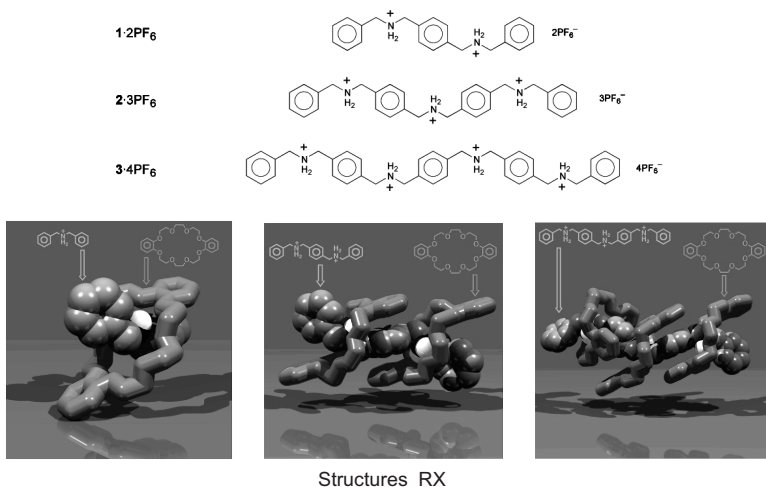


b) Polyéthers macrocycliques

Les polyéthers macrocycliques forment des rotaxanes avec des cations ammonium qui s'insèrent dans la cavité centrale par formation de liaisons hydrogène avec les sites oxygène.

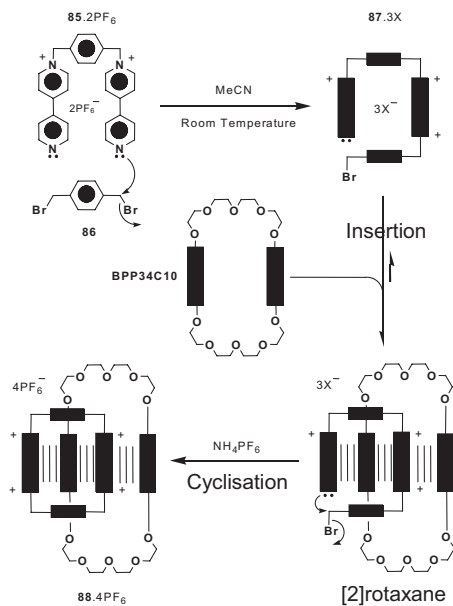


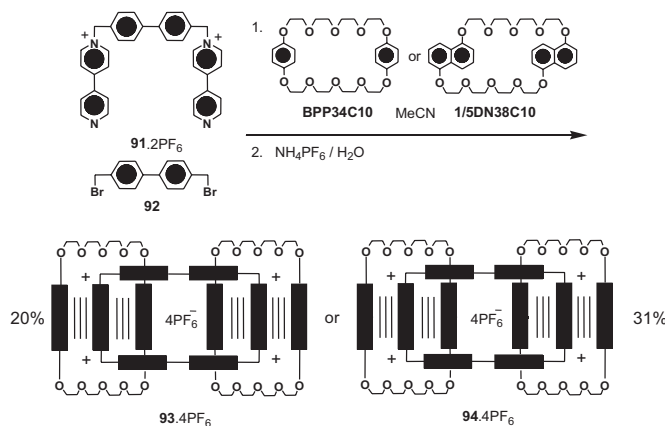
De nombreuses superstructures de ce type ont été obtenues, y compris des polyrotaxanes, avec des cations polyammonium et des caténanes.



c) *Macrocycles Accepteur/Donneur*

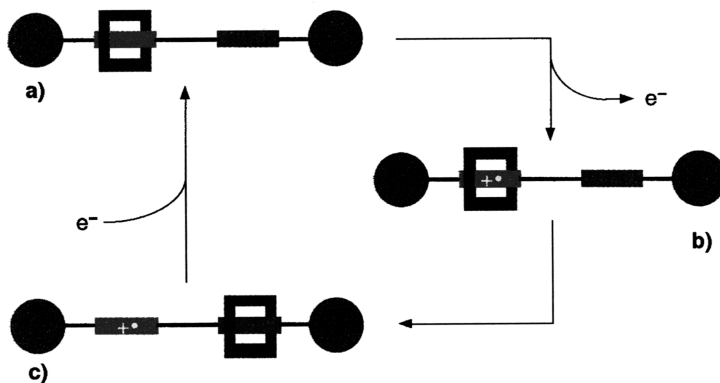
L'introduction de groupements riches en électrons (Donneurs) ou pauvres en électrons (Accepteurs) dans un récepteur macrocyclique permet l'insertion d'un substrat contenant le groupe complémentaire dans la cavité centrale. Cette approche s'est révélée particulièrement fructueuse et a permis d'obtenir de nombreuses architectures mono- et poly-rotaxanes et caténanes.





De tels rotaxanes ont été mis en œuvre pour la réalisation de dispositifs supramoléculaires présentant des mouvements moléculaires par déplacement contrôlé d'un composant par rapport à un autre.

Contrôle Électrochimique de la Position du Cyclophane Tétracationique dans une « Navette » Supramoléculaire Linéaire à Deux Stations



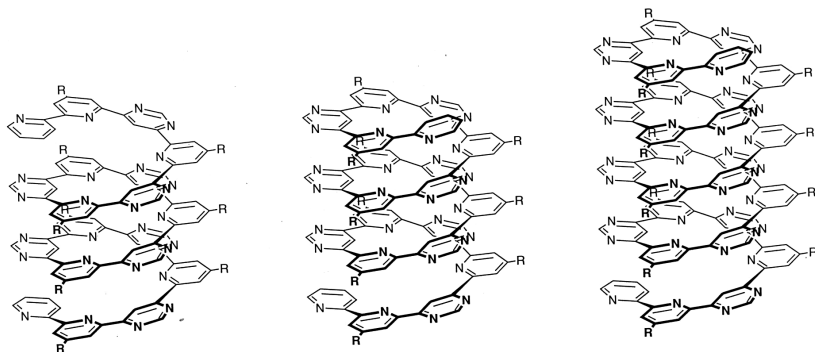
Des rotaxanes et caténanes ont aussi été obtenus en utilisant l'effet de support d'un anion complexé.

2) Autoorganisation de brins moléculaires

a) Chaînes polyhétérocycliques

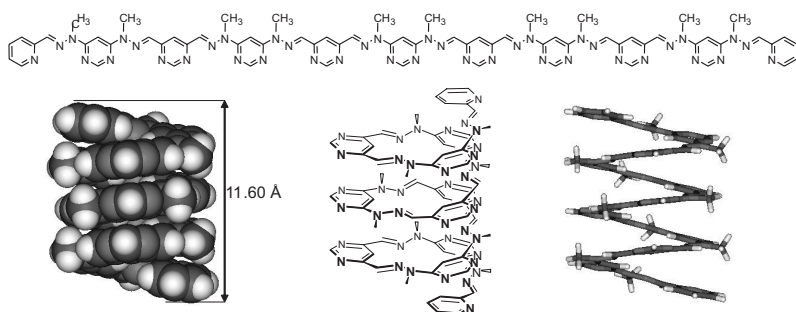
Le repliement de brins moléculaires peut être contrôlé par la mise en œuvre de codons de repliement (« folding codons ») présentant une conformation préférée.

Ainsi des groupes aza-hétérocycliques connectés en position α des atomes d'azote donnent lieu à une orientation transoïde par rapport aux liaisons C-C de connexion. Il en résulte qu'une séquence de quelques groupes, choisis de façon adéquate, force un brin moléculaire à adopter une forme hélicoïdale ou linéaire ou une combinaison de deux. On peut ainsi obtenir des hélices moléculaires à tours multiples.

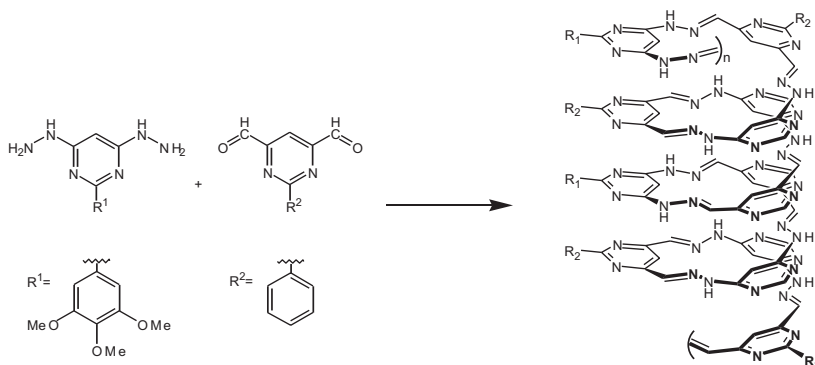


Ainsi une séquence pyridine-pyrimidine-pyridine est un codon d'hélicité et une séquence de groupes pyridine, un codon de linéarité.

Le remplacement d'un groupe pyridine par une hydrazone facilite beaucoup la synthèse de ces brins moléculaires et permet d'obtenir ainsi des hélices à tours multiples.

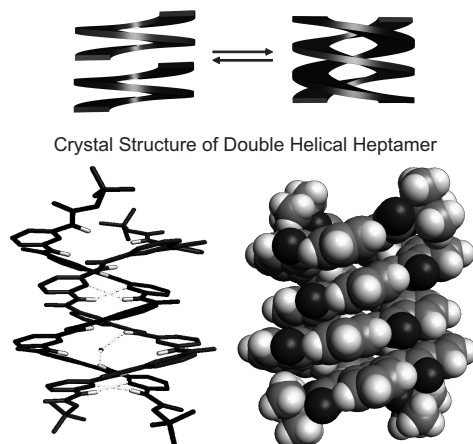


De plus cette méthode rend accessible la génération de polymères hélicoïdaux par polycondensation.



b) Chaînes pyridine-carboxamides

Différents autres éléments structuraux ont été utilisés. En particulier, des enchaînements de groupes pyridine-carboxamides conduisent au repliement en hélice, du fait de la formation de liaisons hydrogène. De plus, ces brins hélicoïdaux ont aussi l'aptitude de former des dimères en double hélice.



En conclusion, la mise au point de codons structuraux rend possible le contrôle de l'autoorganisation de brins moléculaires.

Elle ouvre d'intéressantes perspectives pour la génération de molécules synthétiques de forme contrôlée et imposée, ainsi que pour la compréhension des facteurs déterminant la conformation des molécules biologiques.

SÉMINAIRES

À PARIS :

— Olivia REINAUD (Université de Paris Descartes), *Exploration des métallo-biosites avec des calixarènes « complexes »*, 22 février 2008.

— Gérard FÉREY (Institut Lavoisier de l'Université de Versailles), *Les métaux poreux sur mesure*, 5 mars 2008.

À STRASBOURG :

Peter STANG (University of Utah), *Nanoscale Molecular Architecture : Design and Self-Assembly of Metallocyclic Polygons and Polyhedra via Coordination*, 11 juillet 2007.

Jean-Pierre BUCHER (IPCMS, Strasbourg), *Probing Electronic and Magnetic Properties of Atomic and Molecular Clusters with Sharp Tips*, 2 octobre 2007.

Yoshihito OSADA (Hokkaido University), *Intelligent Gels – An Approach to Artificial Muscles and Soft Tissue*, 22 octobre 2007.

Adrian-Mihail STADLER (CNRS, ISIS, Strasbourg et Institut de Nanotechnologie, Karlsruhe), *Auto-Organisation et Mouvements Moléculaires*.

Philippe REUTENAUER (ETH Zürich), *Expansion of the Scope of the [2 + 2] Cycloaddition/Retro-Electrocyclisation Cascade Between Electron Rich Alkynes and TCNE*, 11 décembre 2007.

Franck ZAL (CNRS Roscoff), *The Extracellular Hemoglobin of the Annelid Polychaete Arenicola Marina : A Natural Oxygen Carrier for Human Health*, 17 décembre 2007.

Philippe TUREK (Institut de Chimie, Strasbourg), *Electron Paramagnetic Resonance: A Tool for the Study of the Magnetic Properties of Molecular Materials*, 29 janvier 2008.

Nathan SCHULTHEISS (Kansas State University), *Balancing Intermolecular Interactions in the Design and Synthesis of Supermolecules*, 12 février 2008.

Alexandros E. KOUMBIS (Aristotle University of Thessaloniki), *Total Synthesis of Syributins, Secosyrins and Syringolides*, 26 février 2008.

Steven ROKITA (University of Maryland), *Nucleotide Sequence Controls the Efficiency of Electron Injection and Transport in Duplex DNA*, 19 mars 2008.

Alexandre VARNEK (Université Louis Pasteur), *From Databases to in silico Design of New Compounds*, 1^{er} avril 2008.

Raymond WEISS (Université Louis Pasteur), *Les Peroxidases et leurs Mécanismes*, 23 juin 2008.

RÉSUMÉ DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE

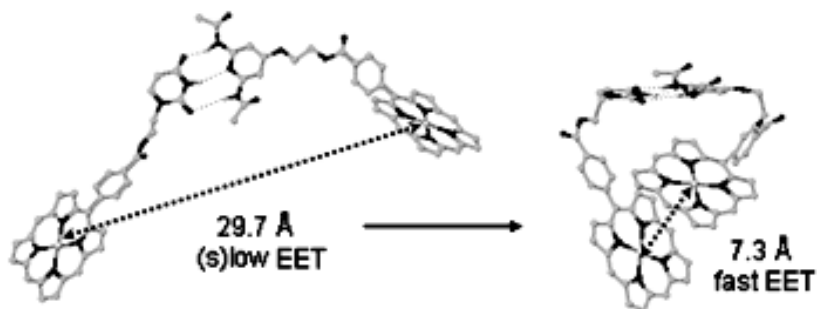
A) LABORATOIRE DE CHIMIE SUPRAMOLÉCULAIRE

(ISIS, Université Louis Pasteur, Strasbourg et UMR 7006 du CNRS)

I — *Dispositifs fonctionnels moléculaires et supramoléculaires*1) *Dispositifs optiques*

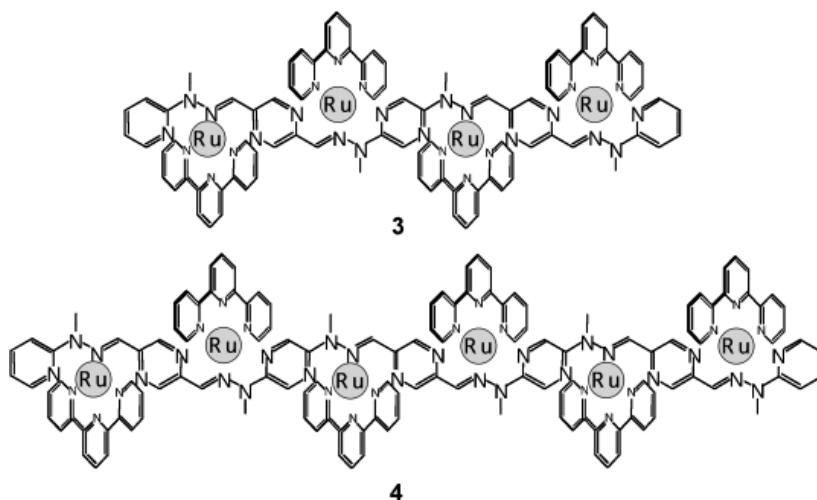
Les propriétés optiques d'assemblées supramoléculaires de groupes porphyriniques pourvus d'unités de reconnaissance moléculaire complémentaires ont été étudiées.

Elles sont le siège de transferts d'énergie dont la vitesse et l'efficacité dépendent de la géométrie supramoléculaire (1).



2) Dispositifs électroniques et magnétiques

Les complexes linéaires multinucléaires du ruthénium(II) formés par des ligands polytopiques à sites tridentates présentent un remarquable comportement de « fil moléculaire » (2).



Un complexe paramagnétique tétranucléaire du fer(II) en forme de grille [2 x 2] s'est révélé être un nanosonde magnétique de très haute sensibilité de la formation de liaisons hydrogène (A. STEFANKIEWICZ).

3) *Dispositifs nanomécaniques*

Des mouvements moléculaires réversibles peuvent être induits dans des brins moléculaires oligopyridine-dicarboxamide par protonation et déprotonation (3).

L'étude des mouvements moléculaires couplés par complexation et décomplexation successives de brins moléculaires polytopiques a été poursuivie (M. STADLER).

II — *Autoorganisation de systèmes inorganiques*

1) *Hélicates*

Un ligand de type quaterpyridine forme des complexes hélicoïdaux mono- et bi-nucléaires (hélicates) (4).

2) *Superstructures en « grille » [2 × 2]*

L'autoassemblage de grilles métallo-supramoléculaires [2 × 2] à partir de ligands fonctionnalisés permet la génération de multivalences avec présentation de huit groupements fonctionnels soit :

- en position « axiale », à partir de composants hydrazino-pyridine,
- en position « latérale », à partir de composants hydrazide (X. CAO).

La mise en évidence des effets de cette multivalence repose sur l'apparition de propriétés nouvelles, notamment complexantes (X. CAO).

Des grilles fonctionnalisées destinées notamment à l'autoorganisation sur surface métallique ou avec des nanoparticules métallique ont été synthétisées (A. STEFANKIEWICZ).

La formation sélective de grilles [2 × 2] hétérométalliques directement par autoorganisation avec sélection des cations et régiosélectivité a été étudiée (J. RAMIREZ, A.M. STADLER).

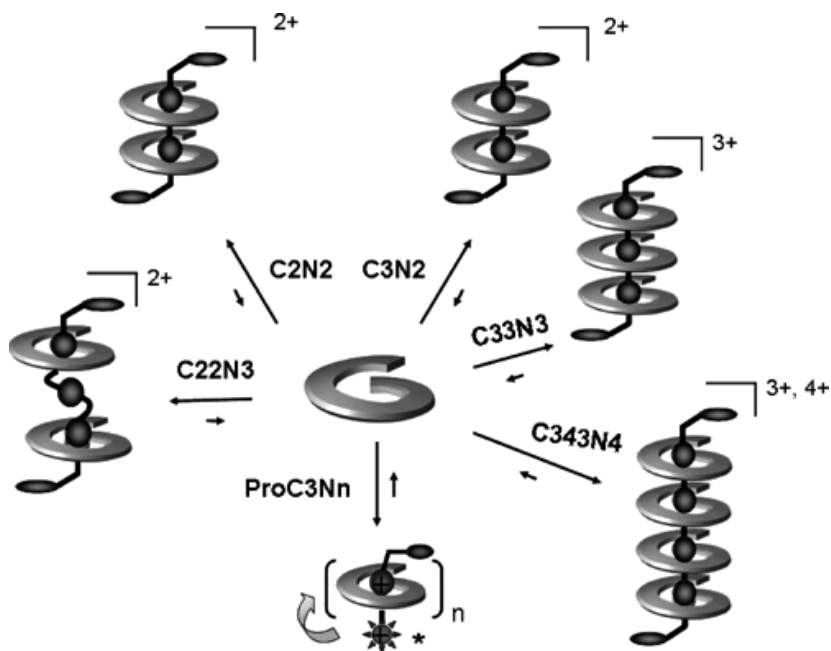
Le mécanisme de formation des grilles [2 × 2] a été étudié par RMN (M.-N. LALLOZ-VOGEL, A. MARQUIS).

Des ligands bis-tridentates forment avec des cations lourds (Hg^{II} , Pb^{II}) des architectures de coordination de type grille ou ratelier (5).

III — *Autoorganisation de systèmes organiques*

1) *Hélicité de brins moléculaires*

Des brins moléculaires contenant des groupes 1,8-naphtyridine adoptent une conformation hélicoïdale et forment des assemblées oligomériques avec des cations oligo-ammoniums (6).



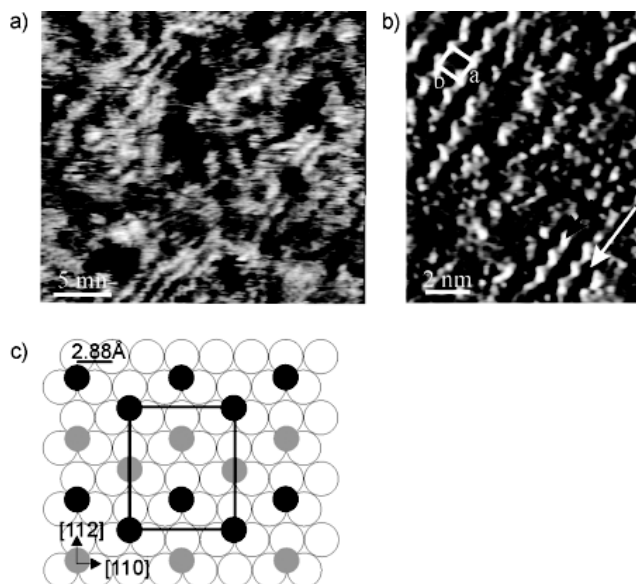
Des brins moléculaires à sous-unités hétérocycliques présentent une diastéréoisomérisation hélicoïdale (7).

2) Matériaux / Polymères supramoléculaires

Des mesures de rhéologie et de diffusion de lumière dynamique ont permis d'étudier les propriétés dynamiques de solutions semi-diluées de polymères supramoléculaires (8).

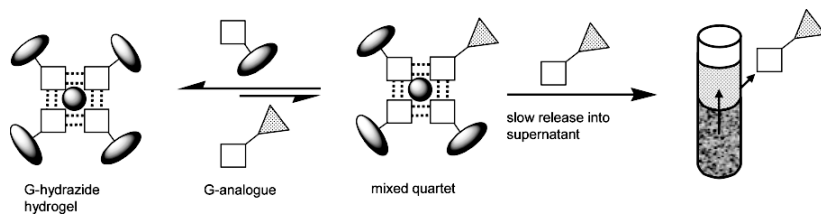
La structure moléculaire et la morphologie de polymères supramoléculaires formés à partir de monomères portant des groupes de reconnaissance complémentaires de type Janus a été étudiée (9).

Des monocouches incorporant deux composants ont été obtenues et la formation d'ordre à l'échelle subnanométrique a été mise en évidence par STM (10).



Une étude détaillée par diffusion de neutrons aux petits angles a été réalisée sur la modulation par décoration dynamique de la structure de gels générés par des quadruplexes de guanosine (11).

Les hydrogels basés sur des quadruplexes formés par un dérivé hydrazide de la guanosine effectuent une sélection structurale et une libération contrôlée de molécules bioactives (12).



IV — Chimie Dynamique Constitutionnelle (CDC)

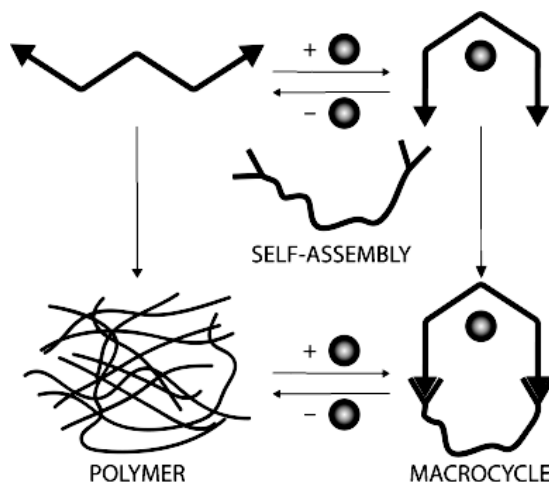
1) Sélection / Adaptation en Chimie Dynamique Constitutionnelle

L'évolution forcée d'une bibliothèque dynamique constitutionnelle (BDC) de brins hélicoïdaux sous l'effet de la complexation d'ions a été étudiée par des mesures de RMN DOSY. Cette méthode permet d'analyser la composition de la bibliothèque en fonction des rayons hydrodynamiques des espèces présentes (13).

La mise en œuvre d'une nouvelle réaction réversible en CDC, la formation d'hémiacétals entre alcools et groupes carbonyles, a été explorée. Elle permet la génération de BDC, en particulier sous l'effet de la complexation de cations (D. DRAHONOVSKY).

La possibilité d'influencer le comportement d'une BDC par complexation des constituants a été explorée (N. SCHULTEISS).

L'adaptation d'une BDC à un changement de forme de l'un des composants permet d'opérer une commutation constitutionnelle entre deux types d'espèces. Ainsi, l'interconversion entre deux formes, de type W et U, a été réalisée dans un système dynamique. Elle conduit à une commutation entre un état macrocyclique et un état polymérique (14).



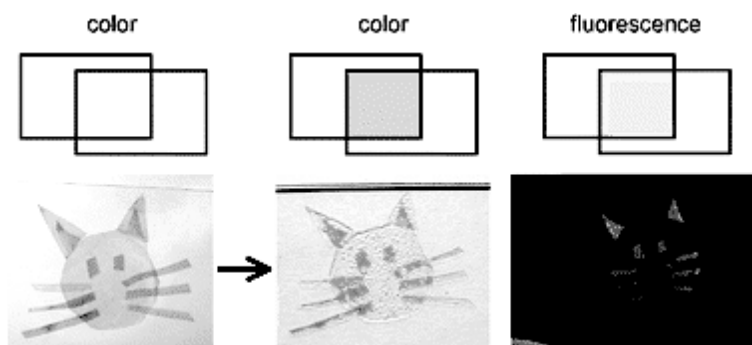
Ce type de commutation constitutionnelle donne lieu à des phénomènes très intéressants d'adaptation par sélection de composants sous l'effet du changement de morphologie ainsi qu'en fonction de la nature de l'effecteur (ions métalliques de différentes tailles) (S. ULRICH).

Des processus de sélection multiple faisant intervenir différents composants de grilles $[2 \times 2]$ sont en cours d'étude (M. CHMIELEWSKI).

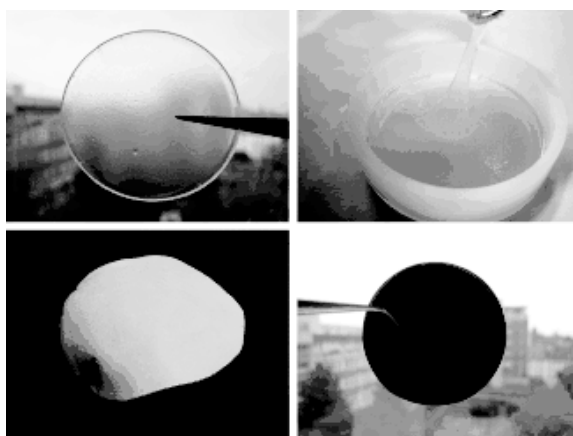
La mise au point de mesures de l'effet de l'application d'un champ gravitationnel par ultracentrifugation sur une BDC a été poursuivie (F. FOLMER-ANDERSEN).

2) Dynamères covalents. Polymères covalents réversibles

Des optodynamères ont été obtenus, conduisant à la génération de couleur et de fluorescence à l'interface entre deux films de dynamères différents (15).



La transformation des propriétés mécaniques et optiques de films de métallodynamères neutres par échange constitutionnel a été réalisée (16).

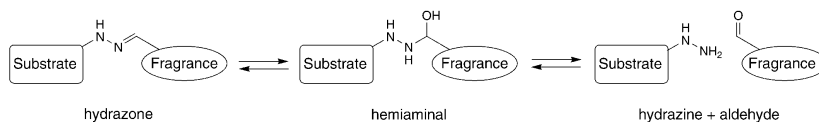


Une modification de constitution de dynamères par interconversion entre une solution et un état solide démontre une capacité d'adaptation de tels systèmes à l'environnement (17).

La modification de taille de dynamères amphiphiles sous l'effet de la température et la sélection de composants par effet hydrophobe ont été réalisées (F. FOLMER-ANDERSEN).

Une sélection de composants par complexation de cations métalliques a été démontrée pour des dynamères donneur-accepteur présentant un repliement de chaîne (S. FUJII).

Les mélanges dynamiques obtenus par formation réversible d'hydrazones permettent d'effectuer une libération contrôlée d'aldéhydes et de cétones volatiles (18).



3) Biopolymères dynamiques- Biodynamères

La synthèse de divers composants permettant la génération de BDC d'analogues d'acides nucléiques a été réalisée (19).

Les résultats obtenus sur la génération de glycodynamères fluorescents ont été publiés (20), de même que la formation d'analogues dynamiques d'oligosacchariodes de type arabinofuranoside (21).

Une revue a été rédigée sur l'autoassemblage et la chimie combinatoire dynamique à la fois dans des systèmes chimiques et des systèmes biologiques (22).

V — Chimie Bioorganique et Médicinale

La synthèse de différentes classes d'effecteurs allostériques de l'hémoglobine a été poursuivie (K. FYLAKTAKIDOU, A. KOUMBIS, S. POTHUKANURI).

L'action de ces effecteurs sur la courbe d'oxygénation de l'hémoglobine a été mesurée *in vitro* et *in vivo* (C. DUARTE).

L'effecteur inositol-trispyrophosphate (ITPP) présente des propriétés très prometteuses à la fois dans le domaine cardiovasculaire et en oncologie.

PUBLICATIONS

1. T.S. BALABAN, N. BEROVA, C.M. DRAIN, R. HAUSCHILD, X. HUANG, H. KALT, S. LEBEDKIN, J.-M. LEHN, F. NIFAITIS, G. PESCIPELLI, V. I. PROKHORENKO, G. RIEDEL, G. SMEUREANU, J. ZELLER, *Syntheses and Energy Transfer in Multiporphyrinic Arrays Self-Assembled with Hydrogen-Bonding Recognition Groups and Comparison with Covalent Steroidal Models*, Chem. Eur. J., **13**, 8411-8427, 2007.

2. F. LOISEAU, F. NASTASI, A.-M. STADLER, S. CAMPAGNA, J.-M. LEHN, *Molecular Wire Type Behavior of Polycationic Multinuclear Rack-Type RuII Complexes of Polytropic Hydrazone-Based Ligands*, Angew. Chem. Int. Ed., **46**, 6144-6147, 2007.

3. E. KOLOMIETS, V. BERL, J.-M. LEHN, *Helical Folding of Oligopyridinedicarboxamide Strands*, Chem. Eur. J., **13**, 5466-5479, 2007.

4. A.R. STEFANKIEWICZ, M. WALESIA, P. JANKOWSKI, A. CIESIELSKI, V. PATRIONIAK, M. KUBICKI, Z. HNATEJKO, J.M. HARROWFIELD, J.-M. LEHN, *Quaterpyridine Ligands Forming Helical Complexes of Mono- and Dinuclear (Helicate) Forms*, Eur. J. Inorg. Chem., 2910-2920, 2008.

5. J. RAMIREZ, A.-MIHAIL STADLER, J.M. HARROWFIELD, L. BRELOT, J. HUUSKONEN, K. RISSANEN, L. ALLOUCHE, J.-M. LEHN, *Coordination Architectures of Large Heavy Metal*

Cations (Hg²⁺ and Pb²⁺) with Bis-tridentate Ligands: Solution and Solid-State Studies, Z. Anorg. Allg. Chem., **633**, 2435-2444, 2007.

6. A. PETITJEAN, L.A. CUCCIA, M. SCHMUTZ, J.-M. LEHN, *Naphthyridine-based helical foldamers and macrocycles: Synthesis, cation binding, and supramolecular assemblies*, J. Org. Chem., **73**, 2481-2495, 2008.

7. M. BARBOIU, J.-M. LEHN, *Helical Diastereomerism in Self-Organization of Molecular Strands*, Rev. Chim. (Bucuresti), **59**, 255-259, 2008.

8. E. BUHLER, S.-J. CANDAU, E. KOLOMIETS, J.-M. LEHN, *Dynamical Properties of Semidilute Solutions of Hydrogen-Bonded Supramolecular Polymers*, Physical Review E, **76**, 061804-1-061804-8, 2007.

9. D. SARAZIN, M. SCHMUTZ, J.-M. GUENET, A. PETITJEAN, J.-M. LEHN, *Structure of Supramolecular Polymers Generated via Self-Assembly through Hydrogen Bonds*, Mol. Cryst. Liq. Cryst., **468**, 187-201, 2007.

10. G. PACE, A. PETITJEAN, M.-N. LALLOZ-VOGEL, J. HARROWFIELD, J.-M. LEHN, P. SAMORI, *Subnanometer-resolved patterning of bicomponent self-assembled monolayers on Au(111)*, Angew. Chem. Int. Ed. **47**, 2484-2488, 2008.

11. E. BUHLER, N. SREENIVASACHARY, S.-J. CANDAU, J.-M. LEHN, *Modulation of the Supramolecular Structure of G-Quartet Assemblies by Dynamic Covalent Decoration*, J. Am. Chem. Soc., **129**, 10058-10059, 2007.

12. N. SREENIVASACHARY, J.-M. LEHN, *Structural Selection in G-Quartet-Based Hydrogels and Controlled Release of Bioactive Molecules*, Chem. Asian J., **3**, 134-139, 2008.

13. N. GIUSEPPONE, J.-L. SCHMITT, L. ALLOUCHE, J.-M. LEHN, *DOSY NMR Experiments as a Tool for the Analysis of Constitutional and Motional Dynamic Processes: Implementation for the Driven Evolution of Dynamic Combinatorial Libraries of Helical Strands*, Angew. Chem. Int. Ed., **47**, 2235-2239, 2008.

14. S. ULRICH, J.-M. LEHN, *Reversible switching between macrocyclic and polymeric states by morphological control in a constitutional dynamic system*, Angew. Chem. Int. Ed., **47**, 2240-2243, 2008.

15. T. ONO, S. FUJII, T. NOBORI, J.-M. LEHN, *Optodynamers: Expression of Color and Fluorescence at the Interface between two Films of Different Dynamic Polymers*, Chem. Commun., 4360-4362, 2007.

16. CHEUK-FAI CHOW, S. FUJII, J.-M. LEHN, *Metallo-dynamers: Neutral Dynamic Metallo-supramolecular Polymers Displaying Transformation of Mechanical and Optical Properties on Constitutional Exchange*, Angew. Chem. Int. Ed., **46**, 5007-5010, 2007.

17. C.-F. CHOW, S. FUJII, J.-M. LEHN, *Crystallization-Driven Constitutional Changes of Dynamic Polymers in Response to Neat/Solution Conditions*, Chem Commun., 4363-4365, 2007.

18. B. LEVRAND, W. FIEBER, J.-M. LEHN, A. HERRMANN, *Controlled Release of Volatile Aldehydes and Ketones from Dynamic Mixtures Generated by Reversible Hydrazone Formation*, Helv. Chim. Acta, **90**, 2281-2314, 2007.

19. D.T. HICKMAN, N. SREENIVASACHARY, J.-M. LEHN, *Synthesis of Components for the Generation of Constitutional Dynamic Analogues of Nucleic Acids*, Helv. Chim. Acta, **91**, 1-20, 2008.

20. Y. RUFF, J.-M. LEHN, *Glyco-dynamers: Fluorescent dynamic analogues of polysaccharides*, Angew. Chem Int. Ed., **47**, 3556-3559, 2008.

21. Y. RUFF, J.-M. LEHN, *Glyco-dynamers: Dynamic analogs of arabinofuranoside oligosaccharides*, Biopolymers, **89**, 486-496, 2008.

22. O. RAMSTRÖM, J.-M. LEHN, *Dynamic Ligand Assembly in Comprehensive Medicinal Chemistry II*, D. Triggle, J. Taylor, Eds.; Elsevier, Ltd, Oxford, 959-976, 2007.

CONFÉRENCES PRÉSENTÉES SUR INVITATION

Professeur Jean-Marie LEHN

47 conférences, dont par exemple :

- Trends in Nanotechnology International Conference (TNT2007), San Sebastián, 3 septembre 2007, *Self-Organization and Functional Supramolecular Devices*.
- XVIIIth Mendeleev Congress, Moscou, 23-28 septembre 2007, *Perspectives in Chemistry: From Supramolecular Chemistry to Constitutional Dynamic Chemistry*.
- Symposium on Metal-Rich Compounds, Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 8 octobre 2007, *Metallo-supramolecular Architectures and Beyond*.
- 100th Anniversary of Annual Korean Chemical Society Meeting, Daegu, 18 octobre 2007, *From Supramolecular Chemistry to Constitutional Dynamic Chemistry*.
- 3rd International Symposium on Novel Materials and Synthesis (NMS-III), Fudan University, Shanghai, 20 octobre 2007, *Functional Nanostructures and Dynamic Materials through Self-Organization*.
- France-Hong Kong Distinguished Lecture, City University of Hong Kong, 30 octobre 2007, *From Matter to Life : Chemistry ? Chemistry!*
- Ernst-Abbe-Kolloquium, Jena, 24 janvier 2008, *Von der Materie zum Leben : Chemie ? Chemie !*
- Séminaire “questions d’émergence”, École des Hautes Études en Sciences Sociales (EHESS), Paris, 5 mars 2008, *La Notion d’Émergence en Chimie*.
- Academia Europaea – Klaus Tschira Foundation “Complexity”, Heidelberg, 25-26 avril 2008, *Steps towards Complex Matter: Information, Self-Organization, and Adaption in Chemical Systems*.
- “Contemporary Chemistry Conferences”, National Symposium with International Participation, Bucarest, 1^{er} mai 2008, *Perspectives in Chemistry: From Supramolecular Chemistry to Constitutional Dynamic Chemistry*.
- DeGennes Days, Collège de France, Paris, 14 mai 2008, *Perspectives in Chemistry: From Supramolecular Chemistry to Constitutional Chemistry*.
- Distinguished Schulich Lectureship Award Colloquium, Technion, Haifa, 18 mai 2008, *From Supramolecular Chemistry to Constitutional Dynamic Chemistry*.
- The Technion’s Nobel Laureates Symposium, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, 19 mai 2008, *Chemistry: Retrospects and Prospects*.
- XXI Sitges Conference on Statistical Mechanics, Universitat de Barcelona, 6 juin 2008, *Self-Organization by Design and by Selection*.
- III St Petersburg Meeting of Nobel Prize Laureates, Nanotechnologies: research and education, St Petersburg, 26 juin 2008, *Nanoscience and Nanotechnology — The Self-Organization Approach*.

B) LABORATOIRE DE CHIMIE DES INTERACTIONS MOLÉCULAIRES
COLLÈGE DE FRANCE

Du fait des difficultés engendrées par les travaux de rénovation des locaux, le laboratoire de Chimie de Interactions Moléculaires a été fermé.

Il a été montré que les lipo-aminoglycosides obtenus antérieurement présentent un transfert et une interférence de siRNA (23).

23. L. DESIGAUX, M. SAINLOS, O. LAMBERT, R. CHEVRE, E. LETROU-BONNEVAL, J.-P. VIGNERON, P. LEHN, J.-M. LEHN, B. PITARD, *Self-Assembled Lamellar Complexes of siRNA with Lipidic Aminoglycoside Derivatives Promote Efficient siRNA Delivery and Interference*, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **104**, 42, 16534-16539, 2007.

DISTINCTIONS — PRIX — NOMINATIONS

Jean-Marie Lehn a reçu des Doctorats Honoris Causa de l'Université de Patras et de l'Université Babeş-Bolyai (Cluj-Napoca) ainsi que la Médaille Costin Nenitzescu de la Société Roumaine de Chimie. Il a été nommé Membre d'Honneur de cette société ainsi que Grand Officier dans l'Ordre du Mérite Culturel de Roumanie (section Recherche Scientifique). Il a été nommé Professeur Honoraire de l'Université de Zhejiang (Hangzhou) et de l'Université Normale du Shaanxi (Xi'an).