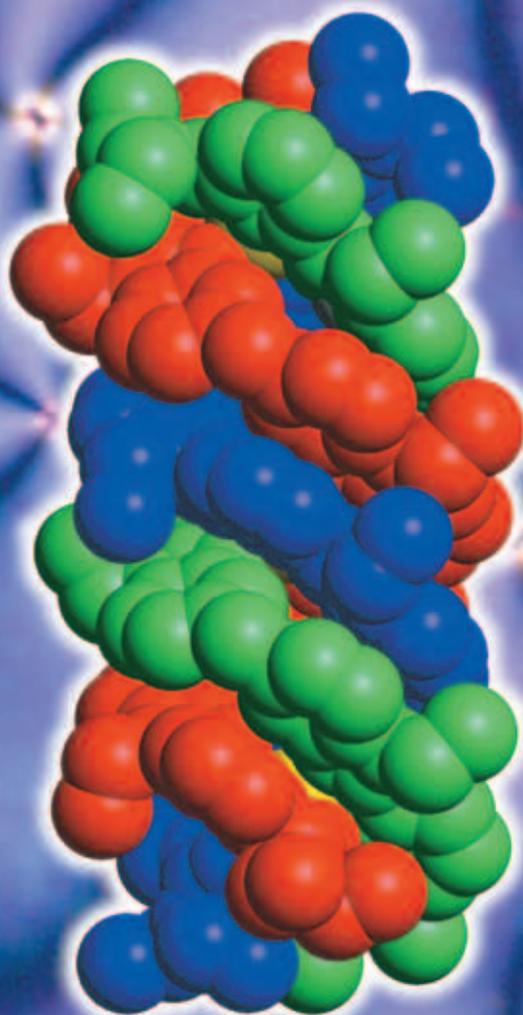


Numéro spécial de Vision
(octobre 2001)

PNR

«Matériaux fonctionnels supramoléculaires»



National Research Programme



Supramolecular Functional Materials

 *vision*

Le magazine suisse de la science et de l'innovation

Profitez de la vie !



Offrez-vous une des grandes richesses du troisième millénaire. Investi en actions au niveau mondial, **The Life Sciences Fund** vous permet de bénéficier durablement de la croissance d'un secteur d'avenir : les sciences de la vie.

Concept d'avant-garde, **The Life Sciences Fund** est né de l'alliance prestigieuse de l'expérience bicentenaire de Lombard Odier et du conseil d'une Commission de spécialistes scientifiques et industriels réputés.

Fonds **sectoriel / Actions / Monde** / Monnaie de base **EUR**
Numéro de valeur **000 812 274**

Designing Advanced Financial Concepts



Sommaire

Le contexte scientifique

- En quoi consistent les matériaux fonctionnels supramoléculaires? 2

Le contexte économique

- Recherche académique et industrie 5

Module I

- François Diederich: grue supramoléculaire 6
- Peter Günther: films pour la communication 8
- Andreas Hauser, Silvio Decurtins, Thomas Ward: états métastables 10
- Jürg Hulliger: cristaux polaires 12
- Beat Keller: mécanochromisme 14
- Wolfgang Meier: cheval de Troie moléculaire 16
- Reinhard Nesper: briques supramoléculaires 18
- Claude Piguet: lanthanides et cristaux liquides 20

Module II

- Peter Belser: molécules ON et OFF 22
- Gion Calzaferri: antennes pour l'énergie lumineuse 24
- Robert Deschenaux: molécules complices 26
- Bernd Giese: ADN, le silicium du futur 28
- Hans-Joachim Güntherodt: entre chimie et physique 30
- Titus Jenny: colonnes supramoléculaires 32
- Stefan Matile: nano-barils 34

Module III

- Claus Duschl: nanocristaux et biomolécules 36
- Michael Grätzel: entre supramoléculaire et macroscopique 38
- Werner Nau: cinétique supramoléculaire 40
- Nicholas Spencer, Marcus Textor: capteurs macromoléculaires 42
- Horst Vogel: langage des cellules 44

Module IV

- Hans-Ulrich Güdel: les plus petits aimants 46

- Adresses 49

Avant-propos



Chère lectrice, Cher lecteur,

Le développement de nouveaux matériaux présuppose une base solide fournie par la recherche fondamentale. Entre les deux, le chemin est souvent long et semé d'embûches. Soutenu par le Fonds national suisse de la recherche scientifique, le Programme national de recherche «Matériaux fonctionnels supramoléculaires» rassemble des projets encore enracinés dans la recherche fondamentale et

espère ainsi renforcer leur potentiel d'applications. Ces projets visent à synthétiser des assemblages supramoléculaires possédant des fonctions hautement spécifiques, souvent inspirées par la nature. Ces constructions complexes pourront servir de machines moléculaires, de détecteurs ou encore de systèmes de transport permettant le passage du monde moléculaire au nanomonde. Dans ce numéro spécial du magazine *Vision*, les différents projets ainsi que leurs relations avec la physique, la biologie et les technologies actuelles, sont présentés à un plus large public, dans l'économie et la société dans son ensemble. Vous aurez ainsi l'occasion de pénétrer dans les laboratoires et de découvrir la recherche et le potentiel d'application de la chimie supramoléculaire.

Andreas Ludi, président du comité de direction du PNR 47 ■

Vision, le magazine suisse de la science et de l'innovation, paraît 4 fois par an en deux éditions séparées française et allemande.

Copyright © Science Com SA, Berne.

Tous droits réservés.

ISSN 1420-2506 (*Vision* – édition française).

Tirage total français et allemand: 20000.

Rédaction, annonces et abonnements:

Science Com SA, Thunstrasse 7, 3005 Berne.

Tél. +41 31 356 53 53, fax +41 31 356 53 50

E-mail: vision@sciencecom.ch

Site web: www.swiss-science.org

Rédaction de ce supplément: Urs Aeberhard,

Almut Bonhage, Matthieu Buchs, Philippe

Gagnebin, Yves Bertrand.

Collaboration à l'édition française (traductions):

Jean-Jacques Daetwyler, journaliste scientifique,

Berne. Adapta traductions, Genève.

Collaboration à l'édition allemande (traductions):

Adapta traductions, Genève.

Mise en page, impression et envoi:

Benteli Hallweg Druck AG, 3084 Wabern-Berne.

Ce cahier spécial a été réalisé en collaboration et avec le soutien du Fonds national suisse.

Tirage total français et allemand: 4400.

Sources des illustrations:

La majorité des illustrations a été fournie par les chefs des différents projets.

Illustration p. 5: Ciba SC, Bâle – p. 11: Vital Gold, Ostermundigen – p. 17: Hans-Ruedi Bramaz, photographe, Zurich.

Couverture: structure supramoléculaire permettant l'alignement régulier de trois cations luminescents (image: Claude Piguet). Image de fond: texture liquide-cristalline observée par microscopie à lumière polarisée (image: Robert Deschenaux).

FNSNF

Matériaux fonctionnels supra-moléculaires: de quoi s'agit-il?

Le programme national de recherche intitulé «Matériaux fonctionnels supramoléculaires» (PNR 47) a été approuvé par le Conseil fédéral dans le cadre de la huitième série des PNR. Les responsables se sont efforcés de trouver un titre qui soit à la fois exact au niveau scientifique, pertinent et compréhensible. Il aura toutefois été difficile de satisfaire aussi bien une communauté scientifique spécifique qu'un plus large public.

DR MARCEL MAYOR*, CONSEILLER SCIENTIFIQUE
DU COMITÉ DE DIRECTION DU PNR 47

Des trois termes «matériaux fonctionnels supramoléculaires», c'est vraisemblablement le dernier qui est le moins compréhensible pour l'homme de la rue. On imagine sans trop de peine ce qui se cache derrière le terme «matériaux» et conçoit que ceux-ci puissent remplir certaines «fonctions». Le matériau dont est constitué un manteau de pluie a pour principale fonction l'imperméabilité. On ne saurait toutefois le définir comme étant «supramoléculaire», contrairement aux nouveaux matériaux dont il est question ici. Le terme «supramoléculaire» semble dès lors préciser la nature des matériaux et des fonctions qu'ils remplissent. Cet adjectif est donc non seulement partie intégrante du titre, mais c'est lui qui exprime avec le plus de pertinence le contenu du programme.

Les molécules traditionnelles sont très attachées les unes aux autres...

Un examen minutieux du domaine «supramoléculaire» commence dans la chimie traditionnelle. Celle-ci traite de

la constitution et des propriétés des molécules. Les molécules se composent de différents atomes qui sont unis par des liaisons covalentes selon des schémas très précis. La covalence se réfère au fait que deux atomes voisins mettent en commun un certain nombre d'électrons, lesquels maintiennent les atomes liés. Lors de réactions chimiques, deux molécules réagissent entre elles, ce qui a pour conséquence de casser des liaisons covalentes existantes et d'en créer de nouvelles. Il se forme alors au moins une nouvelle molécule, composée, elle aussi, de différents atomes qui entretiennent entre eux des liaisons covalentes.



tantes et d'en créer de nouvelles. Il se forme alors au moins une nouvelle molécule, composée, elle aussi, de différents atomes qui entretiennent entre eux des liaisons covalentes.

...ce qui n'est pas le cas des supermolécules

Dans le domaine de la chimie supramoléculaire, les molécules exercent une fois encore la fonction de briques.

Elles entrent dans la construction de dispositifs plus importants, appelés superstructures supramoléculaires ou supermolécules. Contrairement à ce qui se passe dans la chimie traditionnelle, ces molécules ne forment plus de liaisons covalentes, mais sont liées par des forces d'attraction relativement faibles, qui peuvent être de différentes natures. Ainsi, des molécules peuvent s'attirer du fait de leurs charges (partielles) opposées; on parle alors d'interactions électrostatiques. Il se peut également qu'un groupe fonctionnel, riche en électrons, d'une molécule se lie à l'atome d'hydrogène de l'un des groupes fonctionnels de la molécule voisine, ce qui conduit à la formation d'une liaison dite de pont hydrogène. Dans bien des cas de figure, les liaisons stables sont préférables. Certains concepts fondamentaux ne naissent

* Marcel Mayor

Né en 1965 à Zurich, il étudie la chimie à l'Université de Berne, où il obtient en 1995 le titre de docteur pour une thèse en chimie supramoléculaire. Au cours d'un stage post-doctoral qu'il effectue ensuite à l'Université de Strasbourg, il fait la connaissance du professeur Jean-Marie Lehn, avec lequel il collabore les années suivantes. Après cela, il effectue un séjour au Collège de France. Il s'occupe aujourd'hui de la mise sur pied d'un nouveau groupe de travail en chimie supramoléculaire à l'Institut de nanotechnologie du Centre de recherche de Karlsruhe, où il mène des recherches dans le domaine de l'électronique moléculaire. En tant que conseiller scientifique du comité de direction du PNR 47, il est chargé du suivi du programme.

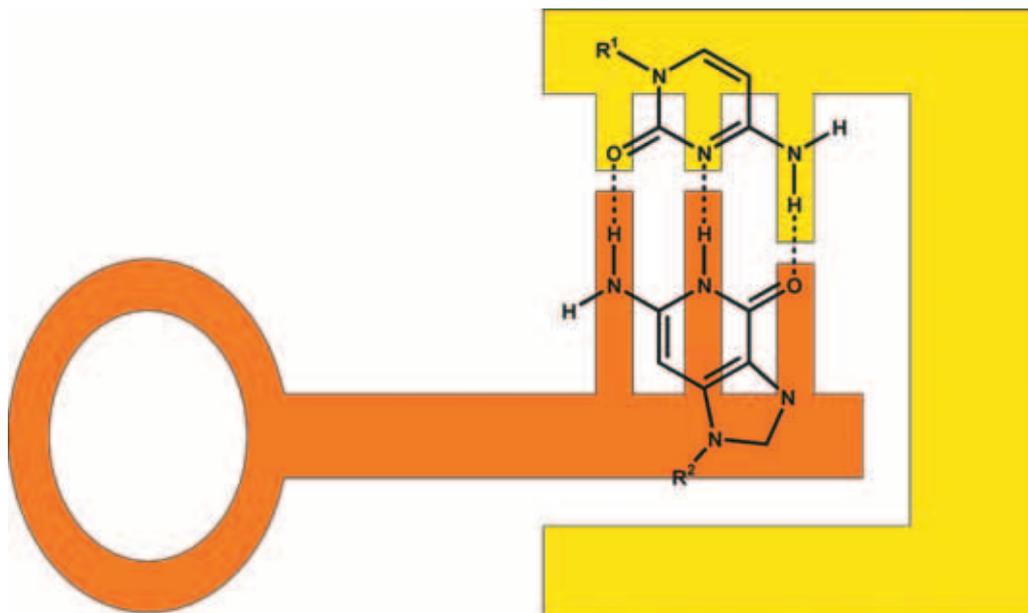


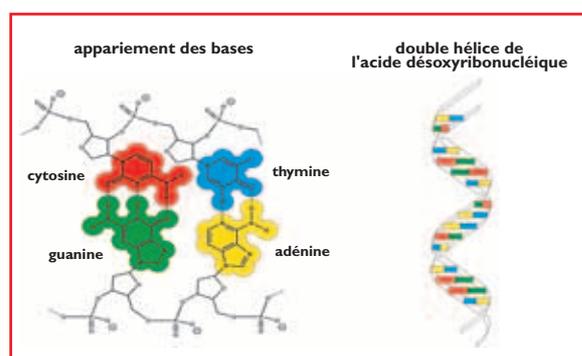
Illustration 1:
Deux molécules
compatibles,
comme une clé
et un trou de
serrure.

toutefois que de liaisons faibles et réversibles. Ce sont précisément ces concepts qui trouvent leur application dans la chimie supramoléculaire. La «reconnaissance moléculaire» est l'un de ces concepts.

Comme une clé dans un trou de serrure

Les molécules ont une forme, une taille et des sections fonctionnelles. Ces propriétés sont caractéristiques des molécules formant une liaison chimique donnée. Pour que deux molécules puissent former une superstructure supramoléculaire, elles doivent être extérieurement compatibles, comme une clé et un trou de serrure (illustration 1). C'est Emil Fischer, prix Nobel de chimie, qui a le premier fait cette constatation, il y a plus d'un siècle déjà. Un autre principe de la chimie supramoléculaire lui est directement lié, à savoir la «sélectivité». De même que l'on peut essayer plusieurs clés avant de trouver celle qui convient à une serrure donnée, de même une molécule peut essayer de former des liaisons avec différents partenaires avant de se lier à celui qui lui convient le mieux. On comprend aisément cet état de fait si l'on pense que le patrimoine héréditaire humain est lui aussi enregistré, transmis, lu et appliqué par des paires de molécules maintenues ensemble par des liaisons de pont hydrogène (illustration 2).

Illustration 2:
L'appariement des
deux chaînes poly-
nucléotidiques de
l'ADN se fait par
liaisons de pont
hydrogène entre les
bases (gauche).
Structure en double-
hélice de deux
molécules d'ADN
appariées (droite).



Les molécules qui s'assemblent spontanément pour former des structures plus importantes sont des briques intéressantes pour des matériaux – on peut se les représenter comme des blocs de Lego qui s'assemblent seuls et savent exactement où est leur place dans l'architecture qui a été prévue. Le plan de construction de la supermolécule est donc déjà enregistré dans les briques qui la constituent, à savoir chacune des molécules.

Des fonctions qui ne peuvent être remplies qu'à plusieurs

Quelques molécules ont des propriétés physiques tout à fait distinctes. Elles peuvent par exemple absorber la lumière ou attirer des électrons, ce qui se traduit par une modification de leur couleur ou de leur forme. Ces fonctions peuvent entrer en ligne de compte lors de l'exécution du plan de construction. De cette façon, plusieurs fonctions interdépendantes peuvent être réunies dans un objet plus grand.

Ce dernier peut remplir des fonctions complexes, qui n'auraient pas pu être envisagées au niveau des briques individuelles. Pour ce qui est de ces objets, le fait que les forces de liaison soient faibles est à nouveau un avantage. En cas de dommage, la brique endommagée est automatiquement remplacée par une nouvelle brique en état de fonctionner, puisque cette dernière se montrera plus appropriée pour le plan de construction. Ce processus de guérison naturelle n'est qu'un exemple des avantages fascinants que l'on peut espérer tirer des «matériaux fonctionnels supramoléculaires». ■

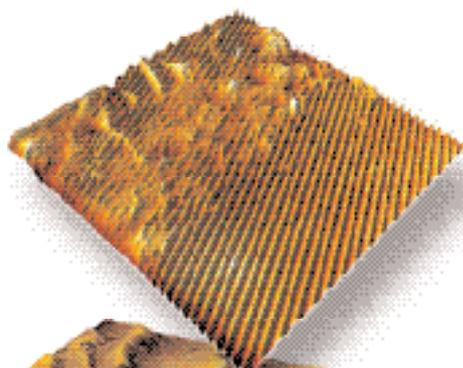
Contact:

Dr Marcel Mayor, Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH, Institut für
Nanotechnologie, Postfach 3640,
D-76021 Karlsruhe
Tél. +49 724 782 63 53
Fax +49 724 782 63 69
marcel.mayor@int.fzk.de
www.fzk.de/int

Nanometer resolution for Surface inspection

smart SPM solutions

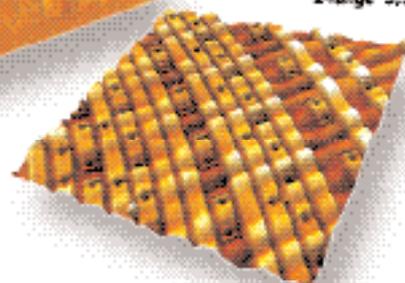
Injection molded polycarbonate with defects
scan size 50 μm z-range 200 nm



Plastic coating with defects
scan size 80 μm z-range 1,2 μm



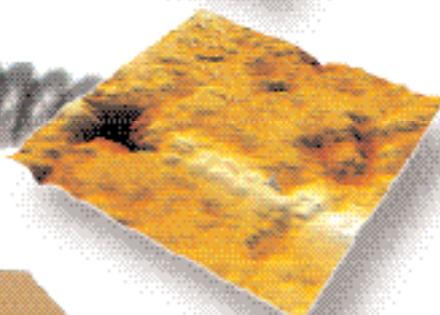
Microprocessor
scan size 85 μm
z-range 3,5 μm



Human hair
scan size 30 μm
z-range 2,5 μm



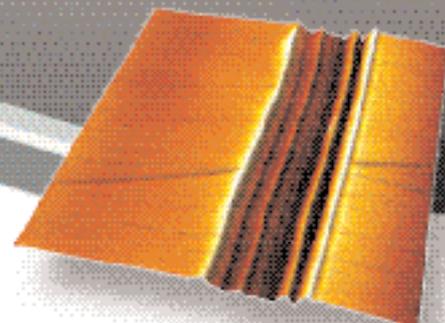
Grain analysis: sintered ceramics
scan size 80 μm z-range 11 μm



Polish tracks in metal
scan size 12 μm
z-range 300 nm



Stylus track
scan size 85 μm z-range 450 nm



www.easyScanAFM.com

Nanosurf AG
Grammetstrasse 14
CH-4410 Liestal

Tel. +41-61-927 56 46
Fax +41-61-927 56 47

www.nanosurf.com

Partenariat entre les universités et l'industrie



Grand intérêt de Ciba Spécialités Chimiques pour la chimie supramoléculaire bien que les applications ne soient pas attendues avant un certain temps.

«Dans la collaboration entre les hautes écoles et l'industrie, la complémentarité est essentielle», estime Werner Rutsch, responsable du Corporate Technology Office de Ciba Spécialités Chimiques. «Chacun des deux partenaires possède des compétences qui font défaut à l'autre, ajoute-t-il. Le travail commun permet de trouver plus rapidement la bonne solution.»

Il est important que les chercheurs académiques prennent contact avec l'industrie à un stade précoce du projet, souligne M. Rutsch. Les besoins de l'entreprise peuvent ainsi être pris en compte à temps. L'expérience montre en effet qu'il est généralement trop tard pour nouer une collaboration lorsqu'un produit fini a déjà été obtenu en laboratoire, car le risque qu'il ne corresponde qu'imparfaitement aux besoins du marché est trop grand. Mais Ciba ne se contente pas d'attendre que les chercheurs des hautes écoles prennent l'initiative. Elle accorde beaucoup d'importance à la veille technologique et établit elle-

A qui appartiennent les droits?

Les contrats de collaboration règlent entre autres la question de la propriété intellectuelle et des brevets. Auparavant, les entreprises traitaient directement avec les professeurs. Désormais, ce sont les services de transfert de technologie qui concluent ces accords. Lorsque des divergences s'expriment sur la valeur commerciale d'une découverte ou d'un brevet, il faut trouver une solution équitable qui ne lèse personne, ni du point de vue de la participation financière – et, par conséquent, des risques à assumer – ni en ce qui concerne la contribution de chacune des deux parties à la découverte. La rétribution financière est assurée par les droits de licence.

même le contact lorsqu'elle découvre que des recherches intéressantes sont menées dans telle ou telle institution.

Nombreux liens avec les hautes écoles

L'entreprise collabore aujourd'hui avec plus de soixante universités et hautes écoles spécialisées dans douze pays. Ces liens consistent en des mandats de conseil à des professeurs et en des coopérations par lesquelles elle externalise la réalisation de projets. Par ailleurs, huit collaborateurs de la R&D de Ciba assument des activités d'enseignement dans des universités helvétiques. «Nous réalisons des expériences très positives avec le monde universitaire», constate M. Rutsch.

L'impulsion peut venir de la recherche fondamentale, l'industrie se chargeant ensuite de traduire les résultats obtenus par celle-ci en produit commercialisable. Mais l'inverse est aussi possible: l'entreprise fait appel à une haute école

lorsque ses travaux soulèvent une question de base.

Perspective de long terme

La recherche industrielle travaille aujourd'hui sous une forte pression de temps et de productivité. Le court terme peut ainsi être trop fortement privilégié. M. Rutsch a conscience du risque de «contagion» qui en résulte pour les hautes écoles: «La formation et la recherche fondamentale s'inscrivent dans le long terme, rappelle-t-il. Nos collaborations avec des universités doivent tenir compte de cette différence.»

Intérêt pour les matériaux fonctionnels supramoléculaires

Ciba suit avec attention les avancées dans le domaine des matériaux fonctionnels supramoléculaires. «Nous espérons que de nouvelles opportunités commerciales naîtront de ces recherches et des nanosciences», explique M. Rutsch. Il entrevoit des possibilités d'application dans des secteurs high-tech comme le stockage de l'information, mais aussi dans des domaines plus traditionnels tels que la protection des surfaces. Le savoir technique est disponible dans la maison: le Nobel de chimie Jean-Marie Lehn, une sommité dans ce qu'il a lui-même appelé la «chimie supramoléculaire», est membre du Conseil d'administration de Ciba.

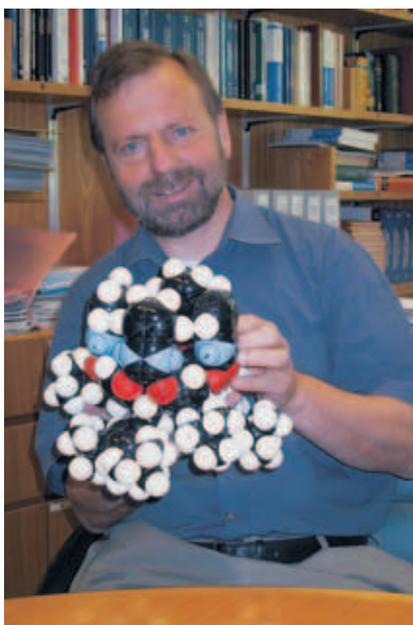
Ciba n'escompte cependant pas d'applications concrètes dans sa branche avant un certain temps. Dans le domaine des nanosciences, en revanche, l'entreprise s'intéresse de près à des «nanoparticules». «Nos chercheurs se penchent déjà là-dessus. Nous suivons également ce qui se passe sur le plan international, pour ne pas passer à côté de percées importantes.» ■

Le chantier de la construction supramoléculaire aura sa grue

Au Laboratoire de chimie organique de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, l'équipe du professeur François Diederich développe des récepteurs moléculaires. S'inscrivant dans le domaine encore jeune de la manipulation à l'échelle nanoscopique, ce projet relève de la recherche fondamentale. L'industrie se montre pourtant déjà intéressée.

«**A** moyen terme, nous espérons mettre sur pied une grue moléculaire, explique M. Diederich. A l'instar de son homologue macroscopique, cette grue doit être à même de capturer, de transporter puis de déposer un objet à un endroit et à un moment déterminés. L'objet en question est une molécule et la grue devrait ainsi permettre d'obtenir des assemblages supramoléculaires fonctionnels.»

«*Malgré l'interdisciplinarité, je dois rester spécialisé dans un domaine particulier.*»



François Diederich

Né en 1952 à Ettelbruck au Luxembourg. Après un diplôme de chimie, il obtient en 1979 le titre de docteur ès sciences de l'Université de Heidelberg pour une thèse en chimie organique. Il effectue ensuite un stage post-doctoral à l'Université de Californie à Los Angeles. De retour à Heidelberg, il s'intéresse au domaine de la chimie supramoléculaire à l'occasion d'une thèse d'habilitation sur la reconnaissance moléculaire de récepteurs cyclophanes synthétiques qu'il termine en 1985. Depuis 1992, il est professeur de chimie organique à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich.

Domaines d'application: construction supramoléculaire, bioanalytique.

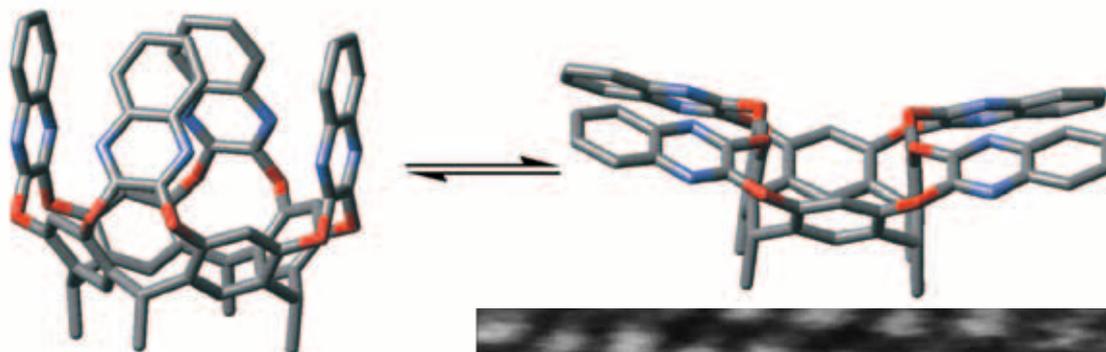
Affinités moléculaires

La possibilité de manipuler de manière individuelle des atomes ou des molécules existe déjà. Elle est permise par l'ensemble des microscopies à sonde locale. «L'inconvénient de cette technique est qu'elle est destructrice, poursuit le chercheur. Une impulsion électrique, dans le cas du microscope à effet tunnel, est nécessaire pour arracher une molécule de son site original et pour la libérer là où on le désire après l'avoir déplacée.»

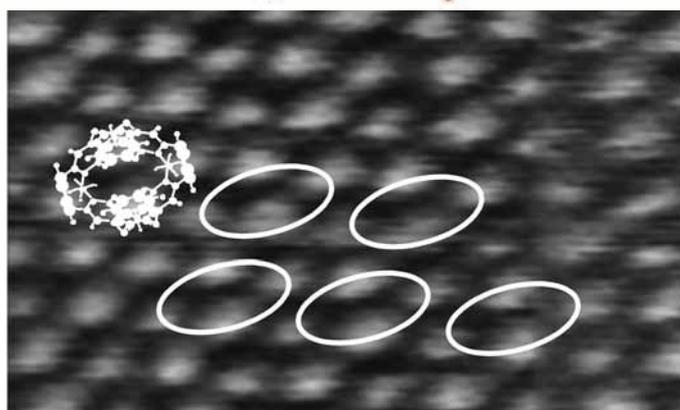
L'approche zurichoise ne désire pas faire appel à la force pour déplacer une molécule, elle ne désire qu'employer «l'affinité naturelle qu'a une molécule envers une autre molécule». On appelle ce phénomène la reconnaissance moléculaire. «Ce concept est au centre de nombreux processus biologiques. Il décrit la propriété, chez une molécule servant de récepteur, de reconnaître et de retenir une autre molécule.»

Récepteurs dynamiques

Les récepteurs étudiés à Zurich ont été mis en évidence par l'équipe du professeur Donald J. Cram, l'un des trois chimistes à avoir partagé le prix Nobel de chimie en 1987, qui est décédé au mois de juillet 2001. Ce sont des récepteurs dits dynamiques qui peuvent avoir deux formes différentes – les scientifiques parlent de «conformations». Une conformation en forme de vase permet au récepteur, par reconnaissance moléculaire, de capturer une molécule spécifique, alors qu'une conformation ouverte permet sa libération.



Les deux conformations du récepteur permettent au dispositif de capturer, de transporter puis de libérer une molécule. Il est possible de fixer ces récepteurs sur une surface.



6 nm

Module I:
Stockage de l'information,
dispositifs commutables et fils
moléculaires

Les structures des deux conformations sont connues. Concernant le stimulus permettant le passage d'une conformation à l'autre, seul un changement de température le permettait avant les travaux du groupe zurichois. «Ce n'est pas un moyen très pratique, convient M. Diederich. Suite à une suggestion du président du comité de direction du programme, le professeur Andreas Ludi, nous avons découvert une autre possibilité: un changement de pH.»

Important travail de synthèse

Un des aspects principaux du projet zurichois est la modification, par synthèse organique, de différentes zones des récepteurs pour les rendre plus performants. Une modification de la bordure permet par exemple une plus grande sélectivité vis-à-vis de certaines molécules. L'ajout de groupes fonctionnels appelés «jambes» permet aux récepteurs de se fixer sur des surfaces solides. «Récemment, nous sommes parvenus, en collaboration

avec la firme IBM, à visualiser une couche de récepteurs sur une surface d'or», signale M. Diederich.

L'échelle est un autre concept fondamental. Les chercheurs zurichois ne désirent plus travailler sur un échantillon de molécule mais sur une seule molécule. «Cela fait près de vingt ans que les chimistes appliquent le principe de reconnaissance moléculaire à des molécules en solution. Aujourd'hui, nous avons les moyens d'œuvrer sur une molécule unique.» Différentes techniques permettent l'observation à cette échelle, les principales étant la spectroscopie de fluorescence et les microscopies à sonde locale.

Collaborations indispensables

«Cette recherche est très interdisciplinaire, relève M. Diederich. Mais on ne peut pas tout faire. Je veux rester au sommet dans mes domaines de compétences qui sont la conception et la synthèse organique de molécules complexes capables d'exprimer une propriété ou une fonction désirée. Pour le reste, notamment pour les méthodes

de visualisation, nous devons conclure des collaborations, comme celle que nous entretenons avec la firme IBM, leader mondial dans le domaine de la microscopie à sonde locale, et qui offre, de plus, un environnement remarquable sur le plan humain.» ■

Contact:

Prof. François Diederich,
Laboratorium für Organische Chemie,
ETH-Zentrum, Universitätstrasse 16,
8092 Zürich
Tél. 01 632 29 65
Fax 01 632 11 09
diederich@org.chem.ethz.ch
www.diederich.chem.ethz.ch/group

Participants au projet:

Andrew Beeby, Andrew G. Cheetham, James K. Gimzewski, Volker Gramlich, Reto R. Schlittler, Philip J. Skinner, Yoko Yamakoshi.

«Supramolecular ordered films with non-linear optical, electro-optical and photoconductive properties»

Des films pour une communication

Les technologies modernes dans le domaine de la télécommunication font de plus en plus appel à la lumière comme support pour traiter ou transmettre l'information. Le professeur Peter Günter, directeur du Laboratoire d'optique non linéaire à l'École polytechnique fédérale de Zurich, espère participer à cet essor par le développement de films supramoléculaires permettant de modifier ou de moduler une onde optique.

«**N**ous cherchons à développer des matériaux organiques supramoléculaires capables de moduler un signal lumineux, par exemple pour en modifier la vitesse de propagation ou encore l'intensité, explique M. Günter. Réalisées selon un certain code, ces modifications permettent de transmettre rapidement un grand nombre d'informations par l'intermédiaire d'une onde optique.»
Pour cela, les matériaux mis au point à Zurich doivent présenter des propriétés soit électro-optiques, soit d'optique non linéaire. «Dans le premier type de matériaux, il est possible de modifier la vitesse de propagation d'une onde par un champ électrique. Dans le second, un rayon optique suffit à modifier les propriétés d'un autre rayon optique. Notre recherche couvre ces deux directions.»

Domaine d'application:
télécommunication optique.

Des molécules ordonnées

De nombreuses molécules organiques possédant les propriétés requises pour donner lieu à des matériaux présentant des propriétés d'optique non linéaire sont aujourd'hui connues. Parmi celles-ci, de nouvelles molécules dites polaires et développées ces dernières années à l'EPF Zurich seraient adéquates pour des applications dans le domaine de l'opto-électronique, pour autant que leur arrangement sous la forme de films soit possible. «Les molécules de départ possèdent déjà des propriétés très intéressantes, poursuit le chercheur. Pour que celles-ci soient utiles au niveau macroscopique, il reste aux molécules à s'aligner entre elles dans le matériau. Cet auto-assemblage des molécules est nettement moins bien connu et n'est donc

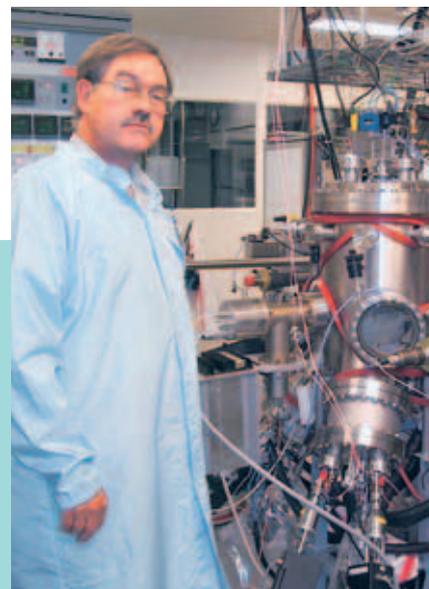
Peter Günter

Il a étudié la physique et les mathématiques à l'École polytechnique fédérale de Zurich. En 1976 il y obtient le titre de docteur ès sciences pour un travail de thèse portant sur l'étude des propriétés électro-optiques et photoréfractives de cristaux de KnbO_3 , travail lui valant une médaille d'argent de l'EPFZ. En 1982 il est nommé Privat Dozent de physique appliquée et en 1986 professeur de physique expérimental. Il est aujourd'hui à la tête du Laboratoire d'optique non linéaire où il est actif dans le développement et l'application de nouveaux matériaux destinés au traitement de l'information, à la télécommunication et au stockage de données de manière optique.

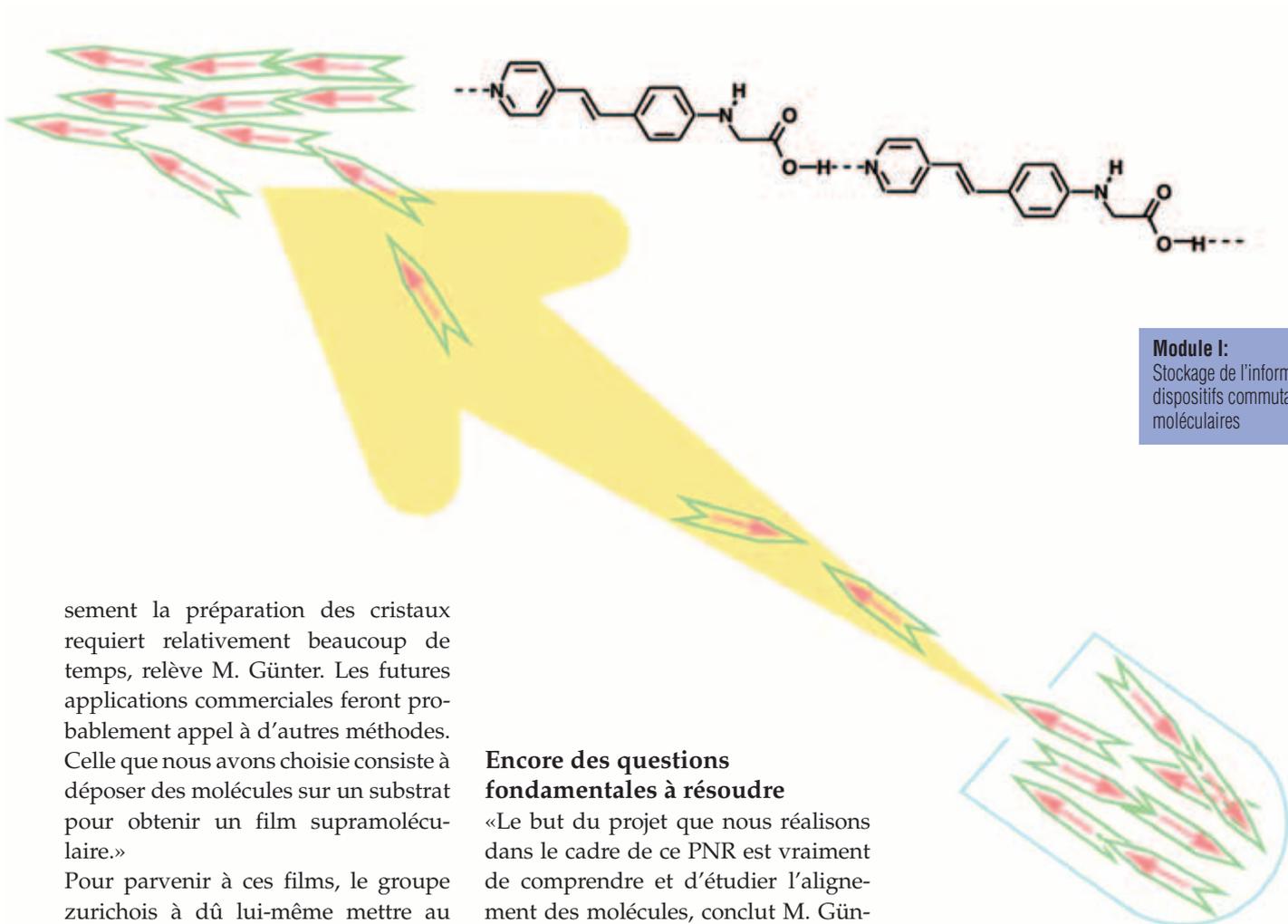
guère maîtrisé. Il nous faut ajouter à la molécule de départ un groupe fonctionnel lui permettant de reconnaître ses voisines et ainsi s'ordonner par rapport à elles.»

Entre films et cristaux

Des arrangements cristallins présentant ces propriétés non linéaires sont déjà connus. Le groupe zurichois lui-même possède à son actif la synthèse du cristal organique montrant le plus grand effet d'optique non linéaire au monde, le cristal DAST. «Malheureu-



«Les films organiques supramoléculaires pourraient constituer une alternative de choix.»



Module I:
Stockage de l'information,
dispositifs commutables et fils
moléculaires

sement la préparation des cristaux requiert relativement beaucoup de temps, relève M. Günter. Les futures applications commerciales feront probablement appel à d'autres méthodes. Celle que nous avons choisie consiste à déposer des molécules sur un substrat pour obtenir un film supramoléculaire.»

Pour parvenir à ces films, le groupe zurichois a dû lui-même mettre au point une technique qui porte le nom de «Oblique Incidence Organic Molecular Beam Deposition». Dans cette technique nécessitant un appareillage occupant un laboratoire entier, les molécules sont dans un premier temps chauffées, puis évaporées. Elles sont ensuite regroupées en un rayon moléculaire et dirigées sur une surface qu'elles atteignent avec un certain angle. Finalement, elles s'auto-assemblent. «Nous avons déjà obtenus nos premiers films et effectué nos premières analyses. Les résultats sont très encourageants. Leurs propriétés sont cependant encore trop faibles en vue des futures applications.»

Encore des questions fondamentales à résoudre

«Le but du projet que nous réalisons dans le cadre de ce PNR est vraiment de comprendre et d'étudier l'alignement des molécules, conclut M. Günter. Nous avons déjà les premiers résultats nous indiquant que l'alignement dépend de l'angle avec lequel les molécules arrivent sur le substrat. Il reste encore de nombreuses questions fondamentales à résoudre avant de penser aux applications. Nous souhaitons toutefois atteindre un niveau de compréhension tel qu'il nous permette de jeter les bases des futures applications en électro-optiques et en optique non linéaire.» ■

La technique dite de «Oblique Incidence Organic Molecular Beam Deposition» permet de déposer des molécules sur une surface et d'obtenir des films supramoléculaires ordres.

Contact:

Prof. Peter Günter, HPF E 8, IQE
Nichtlineare Optik, ETH Hönggerberg,
8093 Zürich
Tél. 01 633 22 95
Fax 01 633 10 56
nlo@iqe.phys.ethz.ch
www.nlo.ethz.ch

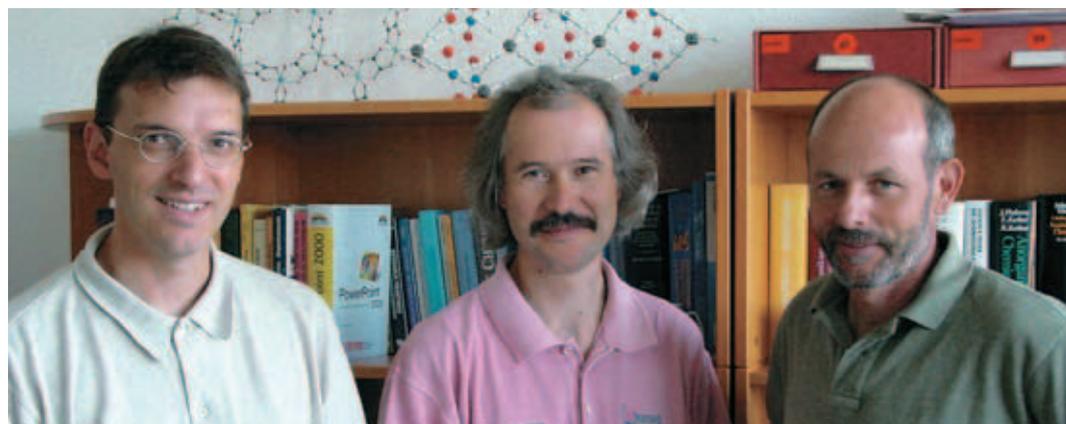
Participants au projet:

Johannes Barth, Ivan Biaggio,
Chengzhi Cai, Eric Delvigne,
Klaus Kern, Ali Rashid.

«Light-induced energy, electron and mass transfer in polynuclear transition metal complexes with heteroditopic ligands»

Etats métastables de longue durée

«L'interaction entre les molécules formant l'assemblage est décisive.»



(De gauche à droite)

Thomas Ward

Etudes de chimie à l'Université de Fribourg, doctorat à l'EPF de Zurich. Stages post-doctoraux à l'Université de Cornell et à l'Université de Lausanne. Actif jusqu'en 1999 à l'Université de Berne. Depuis 2000, professeur à l'Université de Neuchâtel. En 2001, professeur boursier du Fonds national suisse. Domaine de recherche: catalyse supramoléculaire.

Andreas Hauser

Etudes de chimie et doctorat à Berne. Stages post-doctoraux à Canberra, Australie et à Mainz, Allemagne. De 1992 à 1996, projet Profil-2 du FNS à Berne. Depuis octobre 1996, professeur ordinaire de chimie physique à l'Université de Genève. Domaines de recherche: propriétés photophysiques et photochimiques de composés de coordination.

Silvio Decurtins

Etudes de chimie à l'Université de Zurich, doctorat à l'Université de Berne. Stages post-doctoraux aux Etats-Unis et en Allemagne. Quatre années de recherche pour l'industrie, dont une année à l'EPF de Zurich et une année à l'Université de Lancaster en Angleterre. Depuis 1998, professeur à l'Université de Berne.

Domaines de recherche: chimie inorganique, chimie supramoléculaire, magnétisme moléculaire.

Le professeur Andreas Hauser de l'Université de Genève et ses partenaires visent à obtenir des structures possédant des états métastables de longue durée. En passant de l'état fondamental à un état métastable, ces composés voient leurs propriétés optiques ou magnétiques modifiées. Ils pourraient ainsi être utilisés comme commutateurs moléculaires ou comme matériaux de stockage de l'information.

Le surplus d'énergie que gagne une molécule grâce à une excitation lumineuse est habituellement rapidement rendu à l'environnement sous la forme d'une émission de lumière, la luminescence (illustration 1). M. Hauser est à la recherche de structures pouvant rester longtemps dans un de leurs états excités et utiliser

ce surplus d'énergie pour diverses actions ultérieures. Elles peuvent par exemple s'en servir pour modifier leurs propriétés optiques et magnétiques. Fonctionnant ainsi, le composé «spin-crossover» à base d'un ion ferreux remplit les conditions pour servir de dispositif de stockage optique d'information et peut ainsi être considéré comme un modèle dans ce domaine de la recherche, sans toutefois être un matériau supramoléculaire au sens propre du terme.

Collaboration interuniversitaire

Trois chercheurs de trois universités différentes collaborent à ce projet. M. Hauser est physico-chimiste et a donc un grand intérêt pour les propriétés photophysiques des composés synthétisés par ses partenaires. Le professeur Thomas Ward, à Neuchâtel, est un spécialiste de chimie synthétique et le professeur Silvio Decurtins, à Berne, est un spécialiste de chimie de coordination et du magnétisme des supermolécules. «A ce stade du projet, nous sommes occupés par la synthèse des molécules», relève M. Hauser.

Domaines d'application: stockage et traitement de l'information.

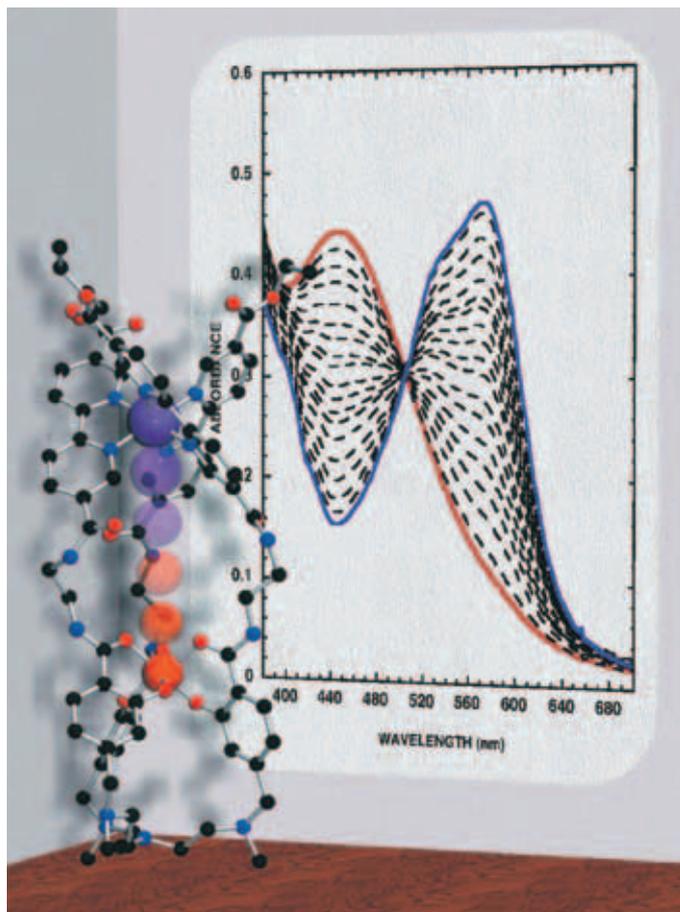


Illustration 2:
Structure et propriétés d'un commutateur moléculaire.



Illustration 1:
Luminescence d'un complexe de ruthénium.

Module I:
Stockage de l'information, dispositifs commutables et fils moléculaires

«Nous désirons obtenir des systèmes possédant des états métastables de longue durée. Leur occupation donne lieu à des changements de propriétés et cela peut être très utile», explique le trio de chercheurs en parlant des objectifs de ce projet. A la base se trouvent des composés de coordination dans lesquels un ion métallique est entouré de molécules, généralement organiques, appelées ligands. Les chercheurs ont l'intention de combiner différents centres métalliques ainsi que différents ligands pour finalement former des assemblages supramoléculaires.

Un centre métallique qui se déplace

Un bon exemple pour un tel assemblage est un complexe triple-hélice (illustration II) développé dans le laboratoire de M. Ward: au départ, un ion ferreux (bille violette) est entouré par trois ligands bipyridines. Suite à une oxydation, le centre métallique qui est devenu un ion ferrique (bille rouge) se déplace dans la macromolécule et s'entoure de ligands salicylamides.

Comme preuve de ce changement, le spectre d'absorption du composé change radicalement. La ligne bleue est celle du ion ferreux et la ligne rouge celle du ion ferrique. Ce phénomène de migration du centre métallique est réversible. Une telle structure possède ainsi les propriétés requises pour servir de commutateur moléculaire.

Transfert d'électrons induit par l'énergie d'excitation

Lorsque les éléments moléculaires de base sont assemblés pour former des supermolécules, ils vont interagir. «Ces interactions à l'intérieur de l'assemblage sont décisives», explique M. Hauser. Une molécule unique peut voir ses propriétés physiques modifiées. Et M. Decurtins d'ajouter: «C'est très exactement là l'objectif de l'ingénierie moléculaire dans le domaine des matériaux fonctionnels supramoléculaires.»

M. Ward synthétise les différents composés moléculaires de base correspondant aux différents lieux de coordination du centre métallique en fonction de son état d'oxydation. M. Decurtins

assemble ces différentes unités et permet ainsi au centre métallique de se déplacer. Chaque unité peut être excitée par la lumière et acquérir ensuite diverses fonctions suivant les propriétés du centre voisin. Elle peut par exemple se comporter soit comme un donneur, soit comme un accepteur d'électron. Il s'ensuit des états excités de transfert de charge. Si ces derniers sont de longue durée, ils peuvent alors servir à stocker une information ou de l'énergie.

L'énergie d'excitation peut également être transmise à l'unité voisine: la luminescence de l'unité chromophore initialement excitée disparaît au profit des unités voisines. La possibilité de diriger ce transfert à l'intérieur de l'assemblage supramoléculaire intéresse également M. Ward. ■

Contact:

Prof. Andreas Hauser, Département de chimie physique, Université de Genève, 30 quai Ernest-Ansermet, 1211 Genève
Tél. 022 702 65 59
Fax 022 702 61 03
andreas.hauser@chiphy.unige.ch
www.unige.ch/sciences/chifi/Hauser

Participants au projet:

Feyissa Gelalcha, Julietta Gradinaru, Andreas Loosli, Melanie Pilkington, Asmaa Sadki, Maria Cristina Senna, Mohamed Zerara.

Cristaux polaires

«Les solutions solides représentent un remarquable principe pour la conception de nouveaux matériaux.»



Jürg Hulliger

Etudes de chimie à l'EPF de Zurich et doctorat à l'Université de Zurich (1984). Postdoc à Pennsylvania State University, aux Etats-Unis. Collaborateur scientifique et chargé de cours à l'EPF et à l'Université de Zurich. Depuis 1993, Jürg Hulliger est professeur à l'Université de Berne, pour la chimie et la production de cristaux. Plusieurs fois professeur invité et plusieurs séjours sabbatiques à l'Institut Max-Planck, à Stuttgart, pour la recherche sur les corps solides.

Intérêts scientifiques: chimie orientée vers les sciences des matériaux, culture de cristaux et épitaxie en phase liquide, théorie du corps solide et propriétés physiques.

Le groupe de recherche du professeur Jürg Hulliger, à l'Université de Berne, conçoit, cristallise et étudie des cristaux moléculaires polaires. Son intérêt se focalise sur les solutions dites solides et les cristaux pourvus de canaux permettant d'habiter certaines substances. Un vaste champ d'applications high-tech s'ouvre aux cristaux polaires – il s'étend du domaine des capteurs à celui des convertisseurs de fréquence, en passant par le stockage de l'information.

Domaines d'application: capteurs, stockage de l'information, ordinateur optique, filtres, convertisseurs de fréquence.

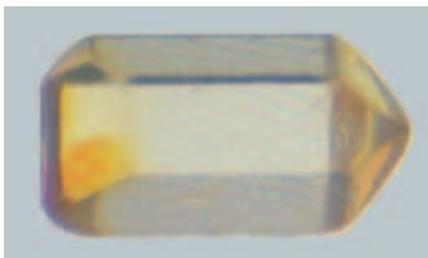
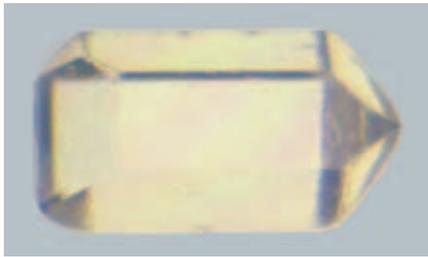
Le rêve de chaque concepteur de matériaux est de pouvoir prévoir les propriétés de ceux qu'il réalise. «Nous nous concentrons sur la polarité électrique, car c'est une propriété physique beaucoup plus facile à prédéterminer que le point de fusion d'un corps ou que d'autres propriétés colligatives», explique M. Hulliger. Le but de son projet est de produire de manière systématique et ensuite d'étudier des cristaux polaires composés de plusieurs molécules.

Approche en quatre étapes

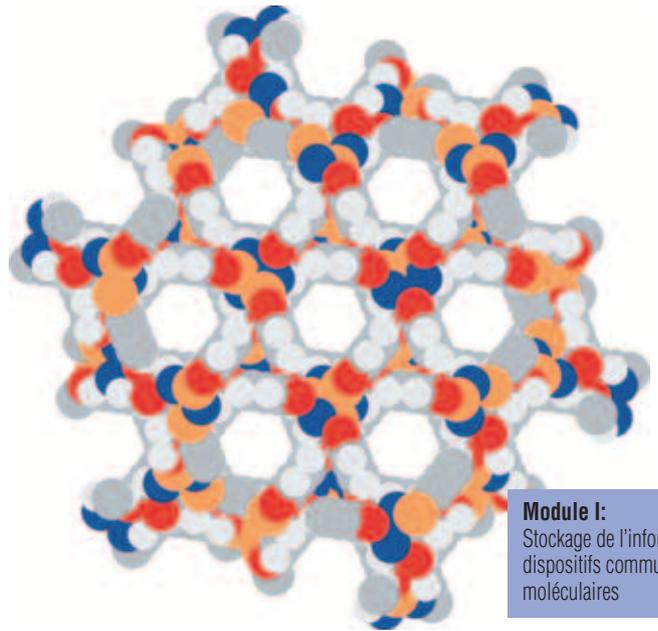
La polarité d'un cristal s'établit par accumulation des contributions polaires de chaque molécule du cristal en une polarité globale. Une analyse de tous les cristaux moléculaires connus et étudiés indique que seulement un quart environ de ces structures sont polaires. Dans tous les autres cas, les molécules sont disposées de telle manière dans le

cristal qu'il n'en résulte aucune polarité. «D'où notre question de départ: peut-on développer une méthode qui permette, partant de molécules polaires, d'obtenir dans tous les cas un cristal polaire?», indique M. Hulliger. Son approche s'articule en quatre étapes:

- évaluation des interactions intermoléculaires dans le cadre de la mécanique quantique;
 - évaluation de la polarité attendue sur la base d'une théorie statistique de la croissance des cristaux et des énergies d'interaction;
 - synthèse des molécules et cristallisation;
- mesures de la polarité à l'aide de méthodes développées à cet effet.



Les molécules qui pénètrent dans le cristal de zéolithe (en haut) et qui sont à l'origine du changement de couleur s'insèrent d'abord dans les extrémités de ce dernier (au milieu). Une fois le processus terminé, tout le cristal est coloré (en bas).
A droite: structure moléculaire du cristal.



Module I:
Stockage de l'information, dispositifs commutables et fils moléculaires

Solutions solides

«Les solutions solides sont un principe remarquable en technique pour concevoir des matériaux, explique le scientifique. Ce principe ne fait que décrire un solide dans lequel certains sites de la structure sont occupés par des atomes ou molécules étrangers qui sont répartis statistiquement. Des alliages or-argent ou un cristal de silicium dopé avec du germanium sont des exemples de solutions solides.» Le groupe de recherche bernois a récemment obtenu des cristaux moléculaires polaires qui consistent en molécules non polaires et polaires ayant une structure presque identique – une solution solide, donc. Les chercheurs poursuivent maintenant l'étude de l'organisation interne de ces cristaux.

Des canaux dans les cristaux

Les cristaux synthétisés sont constitués de molécules agencées de manière à former des canaux dans lesquels différentes molécules extérieures au cristal peuvent venir se loger. Travaillant sur de telles zéolithes organiques, les chercheurs bernois sont parvenus à des résultats intéressants montrant des échanges de molécules à l'intérieur des canaux (voir illustration). C'est ainsi par exemple que des radicaux stables (molécules comprenant un électron libre) ou des molécules formées de 60 ou 70 atomes de carbones ont été placés dans les canaux. Il a également été démontré que les zéolithes utilisées absorbent très rapidement l'iode gazeux ou dissout dans de l'eau. Cette observation fait maintenant l'objet d'une demande de brevet qui pourra conduire un jour à des filtres pouvant absorber l'iode radioactif (élimination de déchets radioactifs).

Un large champ d'applications

«Qu'il s'agisse de diodes, de transistors, de capteurs de pression, d'oscillateurs à quartz ou encore de cristaux doubleurs de fréquences, de nombreuses composantes high-tech de base sont polaires», expose M. Hulliger. Il voit ainsi de nombreuses possibilités d'applications pour les résultats de sa recherche. Il est ouvert à la collaboration avec l'industrie, et cela lui réussit bien. Toutefois, il voit la tâche

prioritaire de la recherche universitaire dans la création de produits intellectuels, par exemple de modèles théoriques pour résoudre certains problèmes. En dépit des résultats prometteurs déjà obtenus, la prochaine étape du programme met le groupe de M. Hulliger devant de nouveaux défis: il veut synthétiser encore d'autres solutions solides et fournir la preuve expérimentale des données théoriques sur la croissance bipolaire des cristaux. ■

Contact:

Prof. Jürg Hulliger, Département für Chemie und Biochemie, Universität Bern, Freiestrasse 3, 3000 Bern
Tél. 031 631 42 41
Fax 031 631 39 93
juerg.hulliger@iac.unibe.ch
www.dcb.unibe.ch/groups/hulliger

Participants au projet:

Miroslav Alaga-Bogdanovic, Felix Budde, Timo Hertzsch, Stefan Kluge, Heike Süß, Thomas Wuest.

Changements de couleur induits mécaniquement

Beat A. Keller

Etudes de chimie et biochimie, thèse de doctorat à l'Université de Zurich. Post-doctorat à l'Université de Stanford et à l'Université de Zurich. Suivent trois années d'activité en tant que chercheur en chimie auprès de l'EMPA. Depuis 1993, directeur du groupe Organic Interface Technology à l'EMPA. Activités liées à l'enseignement : depuis 1994 à l'EPF de Zurich et depuis 1999 à la Haute école spécialisée de Buchs.



Le groupe de chercheurs dirigé par Beat A. Keller du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (EMPA), à Dübendorf, produit des polymères à partir de molécules à liaisons multiples. Si ces polymères sont soumis à une pression mécanique, leur comportement d'absorption de la lumière se modifie. Cette propriété peut probablement être exploitée dans le domaine du stockage de l'information.

Domaines d'application: capteurs, cellules solaires, écrans.

Le projet trouve son point de départ dans la lecture d'un article sur des matériaux polymères chez lesquels une modification des conditions externes donne lieu à un changement de couleur. Les auteurs s'étaient servis de cette propriété pour concevoir un capteur à anticorps biologiques. «Alors nous est venue l'idée d'utiliser cette modification de l'absorption optique non pas dans un capteur, mais à des fins de transport de données», explique M. Keller. Le comportement chromatique de ce matériau peut être influencé non seulement par une réaction anticorps-antigène, mais aussi par d'autres facteurs externes, tels les effets d'un solvant, la chaleur ou la pression mécanique. Dans ce dernier cas de figure, on parle de mécanochromisme. Cette propriété supramoléculaire trouve son origine dans les distorsions

des liaisons conjuguées doubles et triples, qui sont responsables de l'absorption de la lumière. En choisissant judicieusement le matériau de départ, on peut influencer la structure du film polymère.

Éléments pour le stockage de l'information

Le groupe de chercheurs de Dübendorf fabrique à partir de diacétylène un film fin (film Langmuir-Blodgett), lequel est ensuite polymérisé. L'étape suivante consiste à structurer le film, au moyen d'un instrument adéquat, en minuscules carrés de quelques nanomètres de largeur.

«De nouvelles impulsions pour le stockage de l'information dans les polymères.»

«Chacune de ces unités possède la propriété supramoléculaire du système tout entier, explique M. Keller. Je veux pouvoir choisir l'une ou l'autre de ces unités indivi-

duellement et exercer une pression mécanique sur elle au moyen de la pointe d'un microscope à sonde locale, par exemple un microscope optique à effet champs rapproché. Ce faisant, je modifie le domaine d'absorption, et chaque petit carré devient porteur d'informations qui sont autant de réponses aux questions suivantes: le carré a-t-il ressenti une pression ou non? Laisse-t-il ou non passer la lumière laser d'une certaine longueur d'onde?» (illustration 1). M. Keller espère tirer de l'étude de ce comportement de nouvelles impulsions pour le stockage de l'information dans les matériaux polymères.

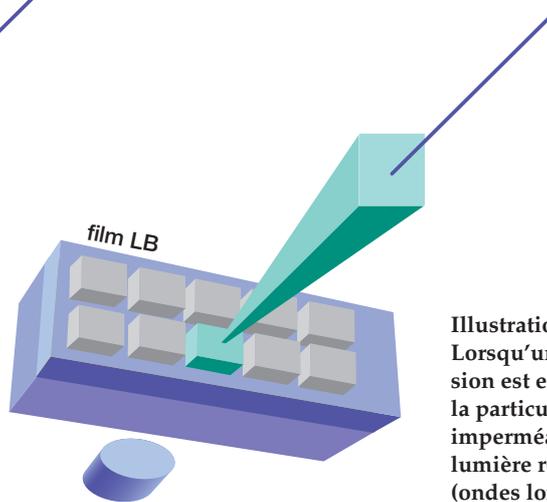
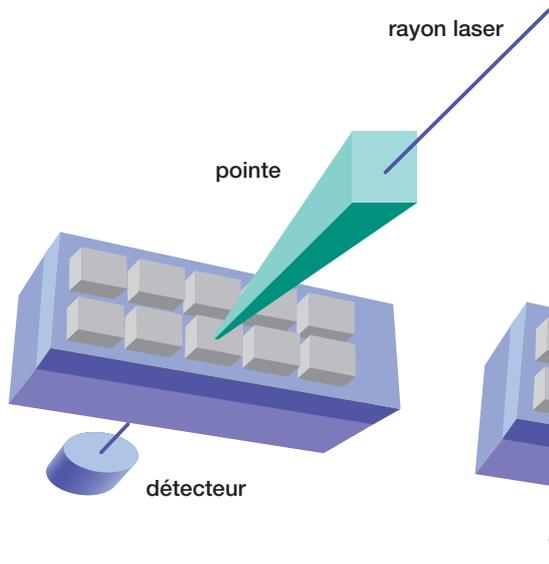


Illustration 1: Lorsqu'une pression est exercée, la particule devient imperméable à la lumière rouge (ondes longues) et perméable à la lumière bleue (ondes courtes).

Module 1: Stockage de l'information, dispositifs commutables et fils moléculaires

Les points qui doivent encore être éclaircis

De nombreuses questions restent encore sans réponse. Quelle est la taille minimale en dessous de laquelle les carrés perdent leur propriété supramoléculaire? Comment le film peut-il être structuré? Quel degré de pression est nécessaire pour provoquer le changement de couleur? Ce changement est-il réversible? A quelle vitesse l'opération se déroule-t-elle? C'est à la résolution de ces questions que s'attache le partenaire de projet de M. Keller, le professeur Wilfred van Gunsteren de l'EPF de Zurich, au moyen de simulations en chimie et en dynamique quantiques. Dans le domaine expérimental, le plus grand défi à l'heure actuelle consiste à fabriquer de façon homogène des morceaux de film polymérisé de plus grande dimension, et de les structurer au moyen d'un faisceau d'ions ou d'électrons (illustration 2). Par la suite, il conviendra de développer un système par lequel chacun des petits carrés pourra être adressé individuellement.

Capteurs et interrupteurs

Outre l'application dans le domaine du stockage de l'information, M. Keller envisage la possibilité de développer des capteurs dotés d'une ou de plusieurs molécules réceptrices, ainsi que des interrupteurs destinés à des

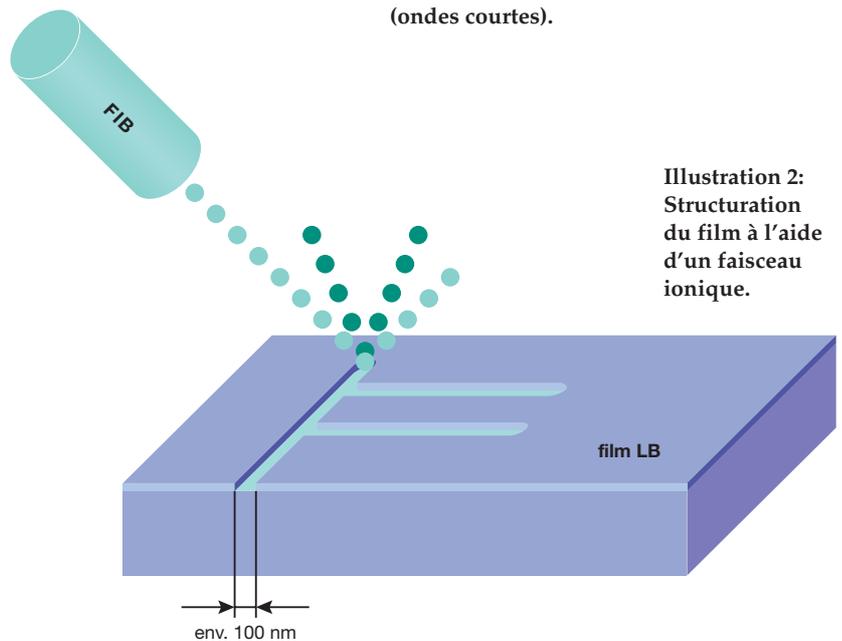


Illustration 2: Structuration du film à l'aide d'un faisceau ionique.

microréacteurs. «J'essaie constamment d'entretenir un lien étroit avec l'industrie, même si nous en sommes encore souvent à des éléments fondamentaux», explique le chercheur de Dübendorf, qui ajoute qu'«il existe également des contacts au niveau international». ■

Contact:

Dr Beat A. Keller, Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (EMPA), Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf
Tél. 01 823 46 52
Fax 01 823 40 12
beat.keller@empa.ch
www.empa.ch

Participants au projet:

Dirk Bakowies, Elisabeth Geiger, Wilfred van Gunsteren.

Cheval de Troie moléculaire

A l'Institut de chimie physique de l'Université de Bâle, l'équipe du chercheur et privat-docent Wolfgang Meier est parvenue à synthétiser de minuscules sphères creuses artificielles en s'inspirant de la nature. Ces nanocapsules, qui ont la capacité de délivrer, absorber et protéger diverses substances de manière spécifique, sont porteuses d'espoir. Notamment en médecine où elles permettraient de délivrer, de façon ciblée, des médicaments dans le corps humain.

En chimie ou en pharmacologie, il est plus fréquent de s'intéresser au contenu, le principe actif, plutôt qu'au contenant, le support. Pourtant les deux concepts sont fondamentaux, comme l'explique M. Meier: «Imaginons un patient atteint d'une maladie génétique et souffrant de l'absence d'une enzyme. Il est impossible d'introduire cette enzyme directement dans son corps. Son système immunitaire ne nous le permet pas. A l'intérieur d'une capsule en revanche, l'enzyme est protégée. Et dans les capsules que nous développons, l'enzyme peut même fonctionner.»

Entre 50 et 500 nanomètres

Ces capsules sont de minuscules sphères creuses, invisibles à l'œil nu: leur diamètre varie d'ordinaire entre 50 et 500 nanomètres. Les parois sont fabriquées à partir de polymères. Le

Domaines d'application:
médecine, pharmacologie.

« Nous avons démontré la faisabilité, démontrons l'utilité. »

principal attrait de ces nanocapsules provient de ce que la perméabilité de leur paroi peut être aisément modifiée. «Une substance présente à l'intérieur peut donc être libérée sur commande», explique M. Meier.

Ces substances peuvent être de différents types – médicaments, colorants ... Les applications potentielles de tels systèmes sont donc très nombreuses.

Virus artificiels...

Le groupe de M. Meier exploite deux stratégies différentes, toutes deux inspirées de la nature, pour fabriquer ces nanocapsules. Dans une première approche, l'équipe bâloise a cherché à imiter un virus végétal, le virus CCMV (cowpea chlorotic mottle virus). L'intérêt de ce modèle réside dans le fait qu'en fonction de l'acidité du milieu dans lequel se trouve le virus, la dimension de son enveloppe protéique est modifiée, et avec elle sa perméabilité. Il faut imaginer l'enveloppe du virus comme un filet. Lorsque l'enveloppe est repliée sur elle-même – en cas d'acidité élevée – les mailles du filet sont serrées et la membrane est imperméable. A



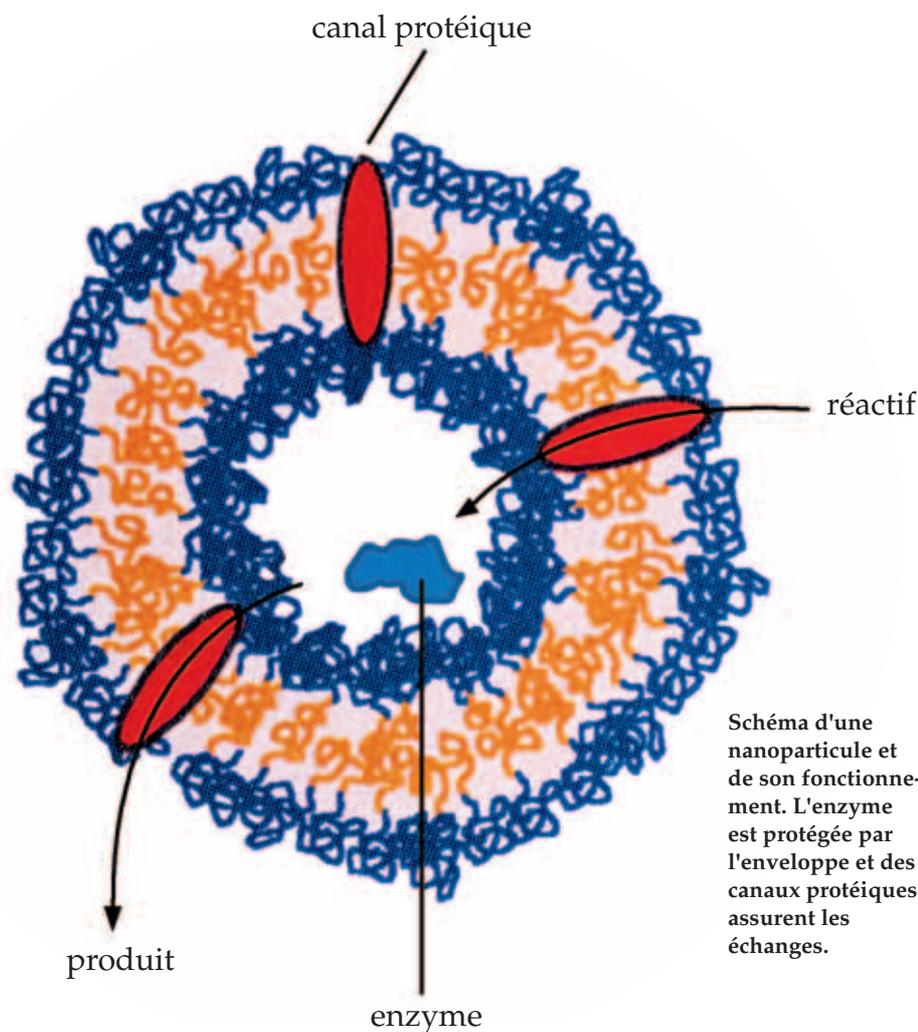
Wolfgang Meier

Né en 1964 à Biberach en Allemagne. Il a étudié la chimie à l'Université de Fribourg-en-Brisgau. En 1992, il y a également obtenu son titre de docteur pour un travail de thèse traitant des polymères formant une phase liquide cristalline. Depuis 1996, il dirige son propre groupe et peut ainsi mener une recherche indépendante à l'institut de chimie physique de l'Université de Bâle. Ses domaines d'intérêt sont la chimie des polymères et la chimie des colloïdes.

l'inverse, lorsque le volume de l'enveloppe est plus important – en cas d'acidité faible – les mailles se détendent et une substance piégée à l'intérieur de la capsule peut alors être libérée. Des scientifiques sont parvenus à isoler cette enveloppe naturelle, à encapsuler une substance et à observer sa libération en fonction des conditions environnantes. «Techniquement, il n'est pas aisé de travailler avec les virus, explique M. Meier. C'est la raison pour laquelle nous tentons une approche artificielle avec des polymères à la place de protéines.»

...et cellules artificielles

Dans une deuxième approche, les chercheurs se sont inspirés de la cellule biologique. Celle-ci est entourée d'une membrane cellulaire traversée par



Module I:
Stockage de l'information,
dispositifs commutables et fils
moléculaires

des canaux protéiques permettant l'échange de matière entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. Par analogie, le groupe de M. Meier a synthétisé des nanocapsules artificielles à partir de polymères et a placé des canaux protéiques naturels à leur surface. En fonction du type de canaux choisis, seules certaines substances spécifiques peuvent entrer ou sortir de la capsule. Pour tester l'efficacité d'un tel système, le groupe de M. Meier a encapsulé une enzyme capable de décomposer un antibiotique particulier. La capsule a ensuite été plongée dans une solution contenant cet antibiotique. Trop grand pour passer par le canal protéique, l'enzyme est restée enfermée dans la capsule. Plus petit, l'antibiotique a pu passer par le canal et réagir avec l'enzyme, comme l'a démontré la diminution de la concentration de l'antibiotique dans la solution.

Du temps avant la commercialisation

Dans l'état actuel de la recherche, le groupe bâlois maîtrise la synthèse de ces deux différents types de capsule. «Les deux méthodes ont fait l'objet de publications dans des revues spécialisées, relève M. Meier. Le but est maintenant de s'interroger sur les possibilités qu'offrent de tels systèmes». Le chercheur a déjà des contacts avec des entreprises du secteur chimique. «Mais cela va encore prendre du temps avant qu'un produit soit commercialisé.»

La situation du groupe bâlois est intéressante. «Nous sommes les seuls à posséder de telles substances. Nous avons démontré l'année dernière seulement la faisabilité d'encapsuler une protéine naturelle dans une enveloppe polymérique artificielle. De nombreux collègues pensaient cela impossible. Il s'agit maintenant d'en démontrer l'utilité.» ■

Contact:

PD Dr Wolfgang Meier, Institut für Physikalische Chemie, Universität Basel, Klingelbergstrasse 80, 4056 Basel
Tél. 061 267 38 35
Fax 061 267 38 55
wolfgang.meier@unibas.ch
www.chemie.unibas.ch

Participants au projet:

Samantha Benito, Alexandra Graff, Julie Grumelard, Marc Sauer, Roxana Stoenescu, Michael Strobel.

Nouvelles briques pour la construction supramoléculaire

Pour Reinhard Nesper, professeur de chimie inorganique à l'École polytechnique fédérale de Zurich, les matériaux actuels ne sont pas satisfaisants. Comment espère-t-il les améliorer? Par la mise sur pied d'une bibliothèque de nanoparticules.

«**B**ien que la science des matériaux soit un domaine reconnu depuis longtemps, j'estime que ceux dont nous disposons actuellement ne sont pas optimisés, explique M. Nesper. C'est au niveau nanoscopique que beaucoup reste à faire: à cette échelle, les matériaux sont bien souvent le résultat d'un regroupement plus ou moins fortuit de particules de constitution et de taille différentes. Une meilleure maîtrise permettrait d'optimiser leurs propriétés.»

Pour illustrer son propos, le chercheur évoque une récente collaboration avec l'Institut Paul Scherrer. «L'idée était de développer des batteries électriques plus performantes que celles dont nous disposons actuellement. Nous avons synthétisé de nouvelles nanoparticules pouvant entrer dans la composition des batteries et les améliorer. Après cinq années de travaux, nous avons mis au point un matériau qui est toujours le meilleur au monde dans sa catégorie.»

Domaine d'application:
construction supramoléculaire.

Des propriétés plus fortes...

L'objectif de ce projet n'est pas de développer un matériau précis, encore moins une batterie. M. Nesper part du principe que ces minuscules particules pourraient se révéler utiles dans de nombreux domaines. «En plus de nouvelles propriétés dues à la dimension, toutes celles que l'on peut observer sur les matériaux actuels sont également disponibles à l'échelle nanoscopique. Mais elles y sont renforcées.»

Partant de ce principe, les zurichois développent une bibliothèque de nanoparticules. Comme dans une boîte à outils ou dans un catalogue de chez «Brico-shop», l'ingénieur pourra ensuite faire son choix en fonction du matériau et des propriétés qu'il recherche.

...en jouant sur la composition, la surface et la forme

«Nous désirons générer une bibliothèque de nanoparticules anisotropes – dont les propriétés varient selon la direction observée – à partir d'oxydes de métaux de transition», poursuit le chercheur. Ces particules possèdent d'étonnantes propriétés qui sont le résultat de différents paramètres: certaines proviennent de leur forme, généralement des tubes ou des fils; d'autres de leur composition, essentiellement des métaux de transition; les dernières de leur taille nanoscopique.

Le traitement de la surface des nanoparticules constitue une autre partie importante de ce projet. «Cela pour deux raisons, explique M. Nesper: la modification est importante en vue

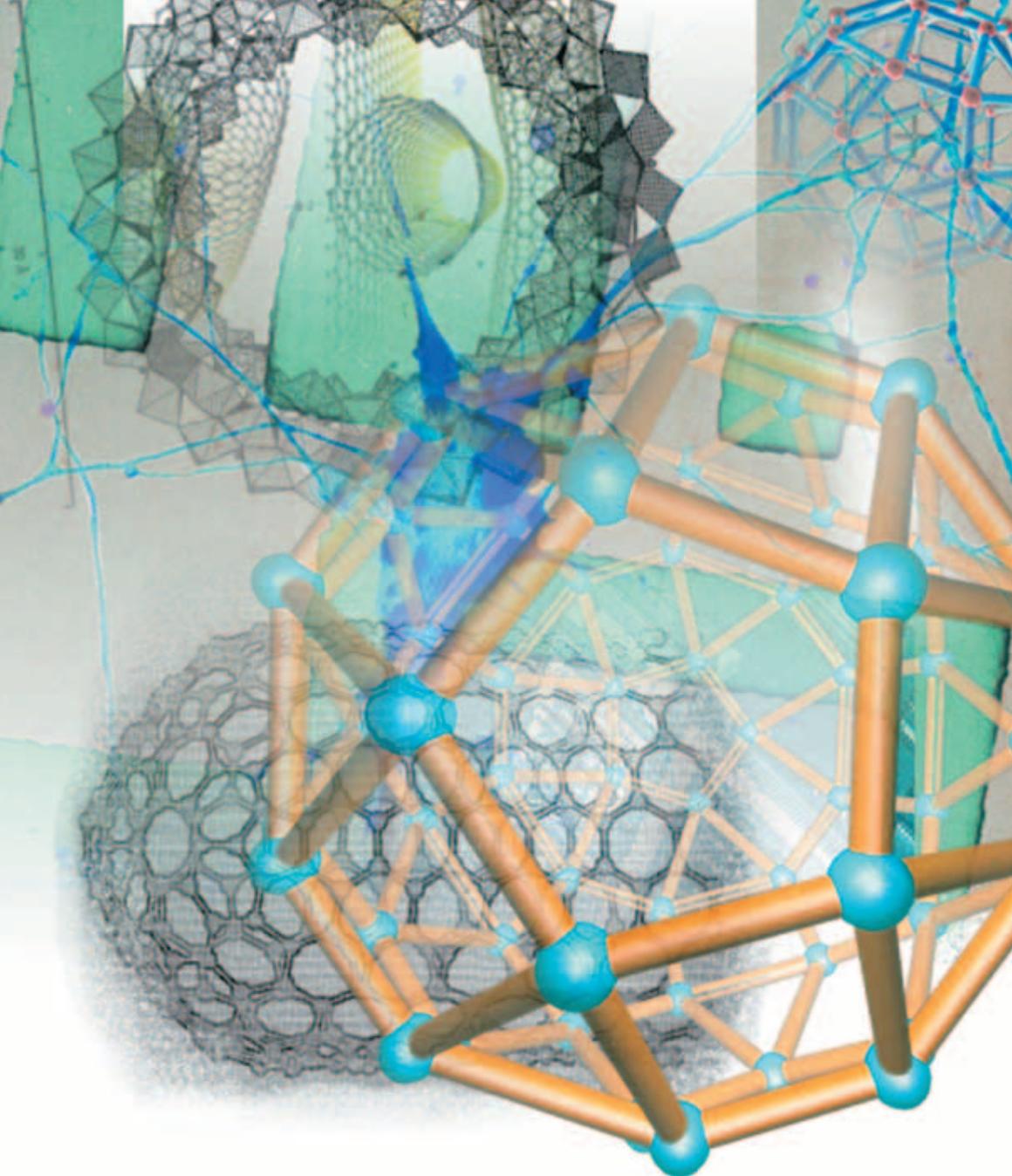
d'une combinaison ultérieure des particules entre elles ou en vue de leur organisation sur une surface. En outre, elle peut également apporter une deuxième fonction à la particule.» La même nanoparticule peut avoir sa surface modifiée de différentes manières et ainsi posséder plusieurs fonctionnalités.



Reinhard Nesper

Né en 1949 à Elze en Allemagne. Il a étudié la chimie à l'Université de Münster. Il termine ses études par une thèse portant sur les oxydes d'étain qu'il effectue à l'Institut Max-Planck à Stuttgart. En 1989, il obtient son habilitation à l'Université de Stuttgart. Depuis 1990, il est professeur au Laboratoire de chimie inorganique de l'École polytechnique fédérale de Zurich. Il y a introduit le domaine de la chimie des solides.

«Maîtriser les matériaux à l'échelle nanoscopique pour en améliorer les fonctions.»



Module I:
Stockage de l'information,
dispositifs commutables et fils
moléculaires

**Représentation
moléculaire de
quelques nano-
particules.**

Applications secondaires

«Lorsque nous détectons une particule avec une priorité intéressante – optique, magnétique ou autre – dans le cadre de la mise sur pied de cette bibliothèque, nous cherchons une collaboration en vue de développer un produit, explique M. Nesper. Nous cherchons des applications au fur et à mesure de l'avancement du projet.» Il rappelle toutefois que ce travail relève de la recherche fondamentale: «Il vaut mieux rester prudent en parlant des applications potentielles car les gens oublient bien vite qu'elles n'expriment qu'une possibilité et s'attendent à une commercialisation dans l'année.»

De manière générale, l'industrie observe attentivement ce qui se passe dans la recherche à l'échelle nanoscopique, sentant que les technologies actuelles auront bientôt atteint une limite. «Les entreprises attendent une nouvelle approche, de nouveaux matériaux, de nouvelles constructions. Les nanoparticules mises au point à Zurich pourrait en être les briques», conclut M. Nesper. ■

Contact:

Prof. Reinhard Nesper, Laboratorium für Anorganische Chemie, ETH-Hönggerberg, HCI H137, 8092 Zürich
Tél. 01 632 30 69
Fax 01 632 11 49
nesper@inorg.chem.ethz.ch
www.inorg.chem.ethz.ch/solid/home.html

Participants au projet:

Fabian Bieri, Stefania Costanza, Anton Ivantchenko, Frank Krumeich, Christian Mensing, Greta Patzke, Michael Woerle, Jaroslaw Zygmunt.

Lanthanides et cristaux liquides: une brillante combinaison

En vue d'améliorer la luminosité des affichages à cristaux liquides, l'équipe du chercheur Claude Piguet, professeur au Département de chimie minérale de l'Université de Genève, étudie l'insertion d'un certain type de particules chimiques dans des matériaux liquides-cristallins. Bien qu'il se situe encore du côté de la recherche fondamentale, le projet pourrait bientôt intéresser les milieux industriels.



Claude Piguet

Né à Genève en 1961. Il a étudié la chimie à l'Université de Genève. A Genève toujours, il obtient le titre de docteur en 1989 pour une thèse en chimie de coordination. Au cours de ce travail, il se familiarise avec les lanthanides. A l'occasion d'un stage post-doctoral dans le groupe du professeur Jean-Marie Lehn à l'Université de Strasbourg, il est initié à la chimie supramoléculaire. Nommé ensuite à l'Université de Genève comme maître assistant (1995) puis comme professeur ordinaire (1999), il y développe la chimie supramoléculaire des lanthanides.

«**E**n observant les écrans des ordinateurs portables, je me suis toujours demandé pour quelle raison on ne voit plus rien quand on les regarde avec un angle supérieur à 10 ou à 15°, explique M. Piguet. Après avoir compris que cela provenait de ce que la lumière, peu intense, est condensée dans une seule direction, je me suis demandé comment modifier cet état de choses.»

C'est ainsi que l'équipe genevoise a eu l'idée de doper les matériaux liquides-cristallins, généralement à la base des écrans plats, à l'aide de certaines substances chimiques réémettant de la lumière dans toutes les directions.

Vert, rouge, bleu

«Il faut trois substances émettant chacune une couleur différente et permettant ainsi de reconstruire le blanc par assemblage, un peu comme dans les tubes de télévision», poursuit M. Pi-

«Cette approche inductive est passionnante.»

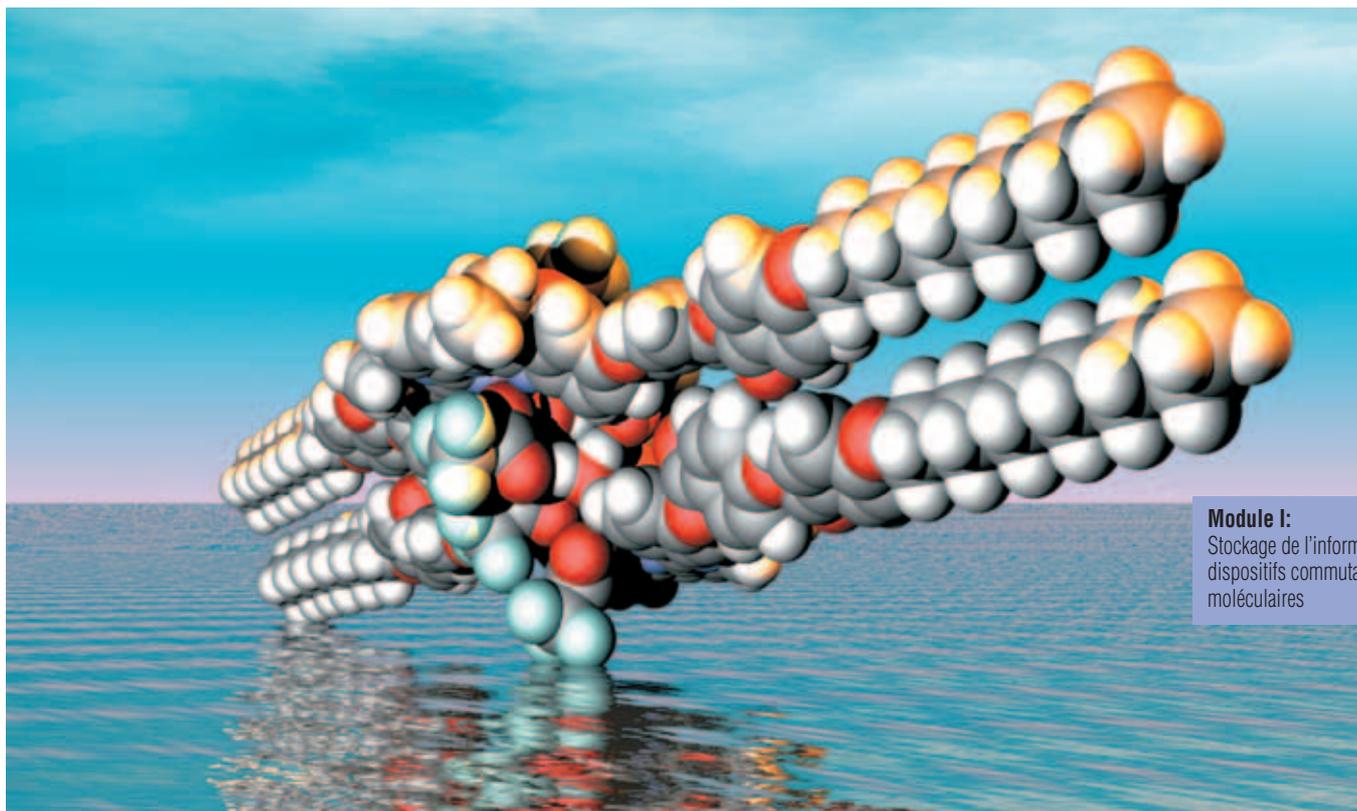
guet. Les éléments chimiques de la famille des lanthanides possèdent ces propriétés. Le terbium (Tb) émet dans le vert et l'euporium (Eu) émet dans le rouge ou dans le bleu selon son état d'oxydation. Ces substances entrent déjà dans la composition de certains produits commerciaux. Mais comment les intégrer dans des cristaux liquides? Toute la question est là.

«La difficulté provient de ce que les lanthanides sont des atomes assez volumineux, à l'opposé des unités moléculaires donnant lieu à un matériau liquide-cristallin qui sont généralement plates et allongées. Les lanthanides ont ainsi une tendance naturelle à désorganiser un état liquide-cristallin.»

Accueillir les lanthanides

«Pour contrer ce phénomène, nous avons pensé créer une molécule avec un réceptacle pouvant accueillir ces particules», explique M. Piguet. Deux approches ont été envisagées. Un réceptacle en forme de banane, ou de demi-cercle, est développé à Genève, et un réceptacle en forme de couronne, ou de cercle complet, est développé à l'Université de Lausanne dans le groupe du professeur Jean-Claude Bünzli. «Deux approches différentes mais complémentaires», ajoute M. Piguet en parlant de cette étroite collaboration.

Domaine d'application:
affichage électronique.



Module I:
Stockage de l'information,
dispositifs commutables et fils
moléculaires

Structure à l'état solide d'un complexe de lanthanide en forme de bâtonnet.

«Dans les deux cas, nous avons dans une première étape synthétisé les réceptacles et leur avons incorporé les lanthanides. Il convient maintenant de réfléchir à ce qu'il faut ajouter à ces unités de base pour que leur organisation supramoléculaire soit un cristal liquide.»

Une approche inductive

L'approche genevoise est de ce fait différente de l'approche par «essai successif» habituellement employée en recherche appliquée, qui consiste à tester un grand nombre de composés pour en obtenir un avec les bonnes propriétés. «Nous ne cherchons pas une application à tout prix. Nous sommes désireux de comprendre le mécanisme associé.» Selon le chercheur, l'approche est plus risquée mais également plus valorisante. «Lorsque ça ne marche pas, on ne peut pas prendre la molécule suivante. Il faut comprendre ce qui ne marche pas et se demander par quelle modification cela pourrait fonctionner. Pour nous, chercheurs universitaires, cette approche inductive est passionnante.»

Pour l'heure, le groupe de M. Piguet ne collabore pas avec l'industrie. «L'industrie attend de nous que nous lui montrions que ça marche, ce qui est compréhensible. De toute manière, il est préférable d'attendre avant de contacter une entreprise. La liberté académique est très importante pour développer de nouveaux concepts. Avec l'évolution de notre recherche, nous en viendrons à nous poser des questions de réalisation à grande échelle. Des collaborations avec l'industrie deviendront alors intéressantes.»

Une idée derrière la tête

Tout en encourageant des projets dirigés vers des applications, le programme du Fonds national assure cette liberté académique et du temps pour la réflexion. «Ce concept est pour moi idéal. Je n'ai jamais pu développer une recherche sans avoir en tête une idée d'application, aussi lointaine soit-elle.»

Quelques groupes étrangers s'intéressent au même sujet de recherche. «J'en suis heureux, car je vois la compétition comme extrêmement positive et stimulante.» La course n'a toute-

fois pas encore véritablement démarré. «Il est encore trop tôt, le domaine est trop récent. Avec l'obtention des premiers résultats encourageants, je ne doute pas qu'il y ait alors une forte émulation.» ■

Contact:

Prof. Claude Piguet, Département de chimie minérale, analytique et appliquée, Université de Genève, quai E. Ansermet 30, 1211 Genève 4
Tél. 022 702 60 34
Fax 022 702 68 30
claude.piguet@chiam.unige.ch
www.unige.ch/chiam/piguet

Participants au projet:

Jean-Marc Bénech, Gérald Bernardinelli, Jean-Claude Bünzli, Robert Deschenaux, Bertrand Donnio, Daniel Guillon, Hélène Lartigue, Olimpia Mamula, Pierre-Yves Morgantini, Homayoun Nozary, Jean-Pierre Rivera, Stéphane Suárez, Paul Tissot, Jacques Weber.

Molécules sur ON ou sur OFF

Architecte de l'infiniment petit, Peter Belser, professeur au Département de chimie de l'Université de Fribourg, élabore des composants nécessaires au développement d'un domaine plein de promesses: l'électronique moléculaire.

La miniaturisation est sans conteste le leitmotiv des technologies actuelles. La chimie participe naturellement à ce mouvement et la construction de dispositifs ou d'appareillages au niveau moléculaire revêt un intérêt majeur. «La chimie supramoléculaire peut nous permettre de grandes avancées, estime M. Belser. Alors que les molécules ne sont impliquées que dans de simples réactions, des systèmes supramoléculaires – des assemblages de molécules – sont capables de remplir des fonctions plus compliquées et ainsi de se comporter comme de véritables machines.»

«Le même phénomène se retrouve au niveau macroscopique, poursuit le chercheur. Imaginez un sèche-cheveux: il se compose d'un corps de chauffe, d'un ventilateur, d'un interrupteur... Un seul de ces éléments ne peut pas remplir la fonction d'un sèche-cheveux. Pour cela, il faut les assembler.»

Domaines d'application: électronique moléculaire, stockage de données.

Peter Belser

Né à Bâle en 1944. Après un apprentissage auprès de la société Ciba-Geigy à Bâle et un diplôme de chimie de l'Ecole d'ingénieurs de Winterthur – devenue entre-temps un établissement membre de la HES zurichoise – M. Belser entame des études universitaires de chimie à l'Université de Fribourg. Il les complète par une thèse qu'il termine en 1979. Fidèle à Fribourg, il y obtient en 1981 une place de maître assistant à l'Institut de chimie inorganique. En 1992, il est nommé professeur associé. Il développe une recherche associant la photochimie à la chimie des métaux de transition.



«Comme un transistor de taille bien inférieure.»

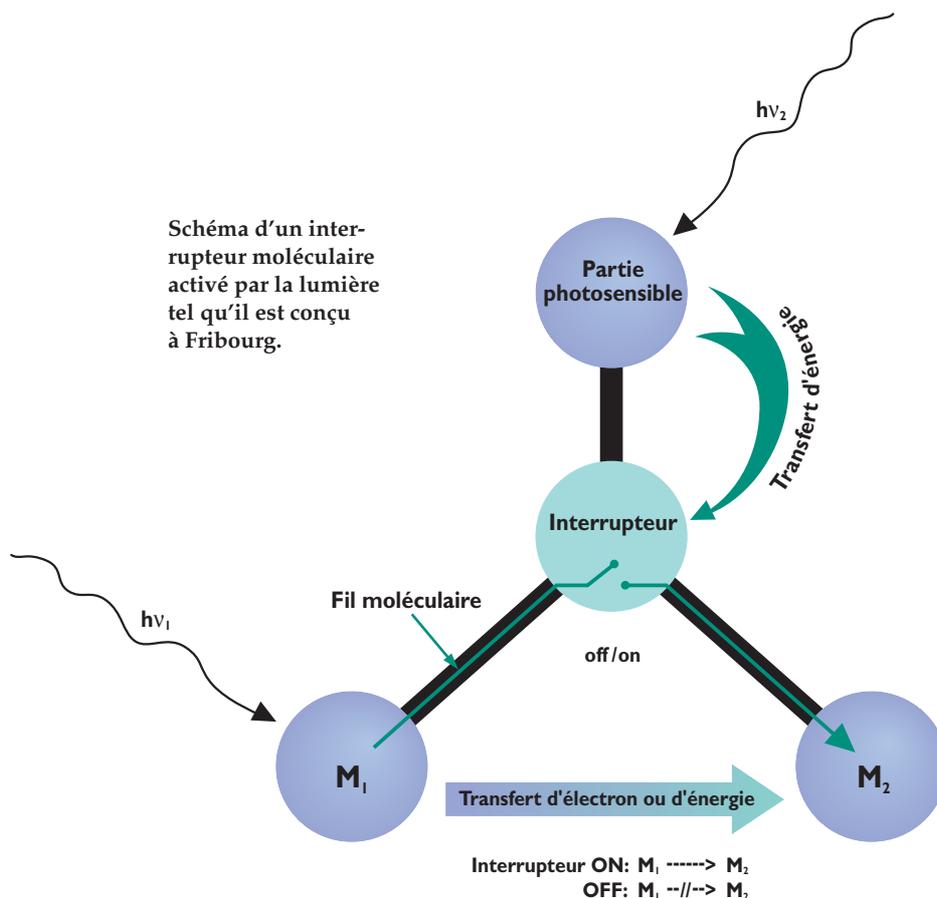
Dispositifs activés par la lumière

Aussi original que soit le projet fribourgeois, il ne vise pas à développer un sèche-cheveux moléculaire. Il ambitionne la création d'assemblages supramoléculaires ayant la propriété de commutation. La spécificité d'un tel système provient du fait qu'il peut se trouver dans deux états différents. Un stimulus externe permet de commuter d'un état à l'autre. «Si l'un des deux états est conducteur et l'autre isolant, on obtient un composant électronique dont le fonctionnement n'est pas sans rappeler celui d'un transistor à une taille toutefois bien inférieure, explique M. Belser. Le potentiel est

énorme mais les applications sont encore assez éloignées.»

A un niveau fondamental donc, l'équipe fribourgeoise développe simultanément quatre systèmes supramoléculaires sensiblement différents. «Chaque système est traité par un autre membre de l'équipe.» Cela étant, les quatre dispositifs présentent des similitudes. «Chacun de ces systèmes est activé, ou commuté, par la lumière. De plus, chaque système intègre une brique moléculaire identique sur laquelle va se dérouler l'absorption de

Schéma d'un interrupteur moléculaire activé par la lumière tel qu'il est conçu à Fribourg.



Module II:
Transfert d'électrons et de photons

lumière, la partie photosensible. Cette molécule est un complexe métallique de la famille du ruthénium tris-bipyridine, molécule découverte il y a une trentaine d'années et qui a longtemps focalisé de grands espoirs dans la conversion d'énergie solaire en énergie chimique ou électrique.»

Interrupteur moléculaire

Suite à l'absorption de lumière, cette partie photosensible acquiert un surplus d'énergie. Elle le transmet à la partie commutable dont les propriétés en sont modifiées. Cette modification, qui peut être géométrique, chimique ou d'une autre nature encore, constitue le principe même de ce que l'on nomme dispositif commutable. Un des quatre dispositifs mis au point à Fribourg pourrait servir d'interrupteur électronique moléculaire. Dans un tel dispositif, l'énergie transmise par la partie photosensible sert soit à former, soit à casser une liaison chimique.

Lorsque la liaison est formée, l'interrupteur est sur la position ON et un électron – donc du courant – passe à travers le dispositif. Lorsque la liaison est cassée, l'interrupteur est sur la position OFF et le courant ne passe plus. «Le passage de l'état ON à l'état OFF est assuré par un rayonnement lumineux. Pour former la liaison, il suffit de soumettre le système à un rayonnement violet (400 nm) alors qu'un rayonnement orange (600 nm) casse la liaison.»

Situation enviable sur le plan international

Les chercheurs fribourgeois planchent encore sur d'autres projets. «L'un pourrait conduire à un système de stockage de données dans lequel l'information serait écrite, effacée et lue par la lumière. Un autre pourrait permettre de stocker l'énergie solaire.» Arbitre pour différentes revues scientifiques, M. Belser est très au fait de la situation internationale: «De nombreux groupes sont actifs dans ce do-

maine. Heureusement, nous parvenons à maintenir une position enviable du fait de la complexité de nos systèmes et de notre longue expérience dans la synthèse.» ■

Contact:

Prof. Peter Belser, Département de chimie, Université de Fribourg, chemin du Musée 9, 1700 Fribourg
Tél. 026 300 87 39
Fax 026 300 97 38
peter.belser@unifr.ch
www-chem.unifr.ch/ac/PB.html

Participants au projet:

Vincent Adamo, Biljana Bozic, Yoel Chriqui, Luisa De Cola, Manuel Querol Sans, Silvia Roma.

«Energy collection, transport and trapping by supramolecular organization of dyes in hexagonal zeolite nanocrystals»

Des antennes pour l'énergie lumineuse

Le groupe de recherche du professeur Gion Calzaferri, à l'Université de Berne, réalise des systèmes d'antennes supramoléculaires qui absorbent la lumière et en acheminent ensuite de façon ciblée l'énergie sans rayonnement à des molécules accepteurs. En comparaison internationale, le système d'antennes du groupe bernois est de loin le plus réussi. Des applications possibles sont les capteurs, les piles solaires et les écrans.

Les plantes vertes disposent d'unités d'antennes formées de quelques centaines à milliers de molécules de chlorophylle. Elles captent la lumière et la conduisent en des sites spécifiques de la plante, dédiés à la mise en route de réactions chimiques. «Nous produisons en laboratoire un système d'antennes photoniques qui est organisé autrement, mais qui a la même fonctionnalité, et à cet égard, nous nous sommes beaucoup rapprochés du système naturel», se réjouit M. Calzaferri. Ses systèmes d'antennes captent la lumière et en conduisent l'énergie de molécule en molécule, sans rayonnement, donc sans émission de photons libres. Le groupe bernois réalise ce système au moyen de cristaux cylindriques de zéolithe, dont la longueur varie entre 30 et 3000 nanomètres. L'intérieur du

cristal est constitué de tubes exactement parallèles. Un cristal de 600 nm de diamètre comprend en gros 100 000 de ces tubes. «Nous remplissons ces tubes avec des molécules de colorant qui ont juste la taille nécessaire pour pouvoir y entrer. Nous obtenons ainsi un arrangement linéaire de molécules de colorant dans chacun des tubes, et dans l'ensemble du cristal des zones de couleur disposées de façon bien définie», explique M. Calzaferri. Les chercheurs de son groupe sont arrivés au point où il leur est possible de réaliser n'importe quelle séquence de colorant.

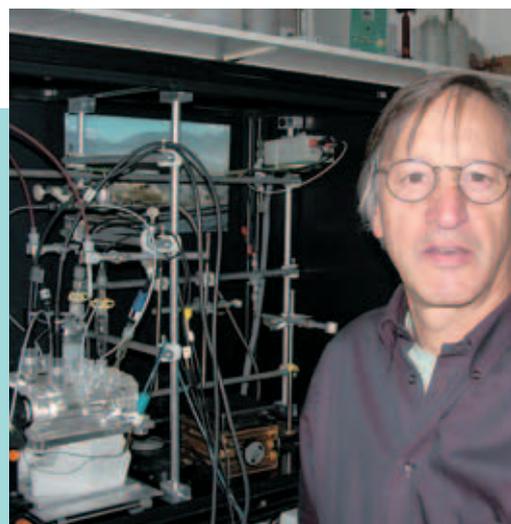
Une preuve du transfert d'énergie

Pour mettre le transfert d'énergie en évidence expérimentalement, M. Calzaferri travaille avec deux types d'antennes photoniques (voir l'illustration). Le type «normal» (à gauche) contient dans la région centrale du cristal de la couleur bleue, limitée aux deux extrémités par une zone rouge. Dans le type «inverse», les couleurs se succèdent dans l'ordre contraire. Si les zones bleues sont soumises de façon bien définie à une excitation lumineuse, on observe de la luminescence non seulement dans les zones bleues,

Gion Calzaferri

Etudes de chimie et doctorat en 1971 à l'Université de Fribourg. Postdoc auprès d'Edgar Heilbronner et Rolf Gleiter à Bâle, suivi de deux années dans la recherche pharmaceutique chez Ciba-Geigy. Gion Calzaferri travaille à l'Université de Berne depuis 1973 et est depuis 1988 professeur de chimie physique. Séjours de recherche au National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, à Cornell University, Ithaca, New York, et à l'Ecole Supérieure de Cachan, Paris.

Intérêts scientifiques: molécules organisées en structures supramoléculaires, clusters et complexes dans des cristaux de zéolithe; systèmes d'antennes artificiels servant à absorber, transporter et capter la lumière; transformation et stockage photochimiques d'énergie solaire.



«Au niveau de la fonctionnalité, nous nous sommes beaucoup rapprochés du système naturel.»

Domaines d'application: capteurs, cellules solaires, écrans.

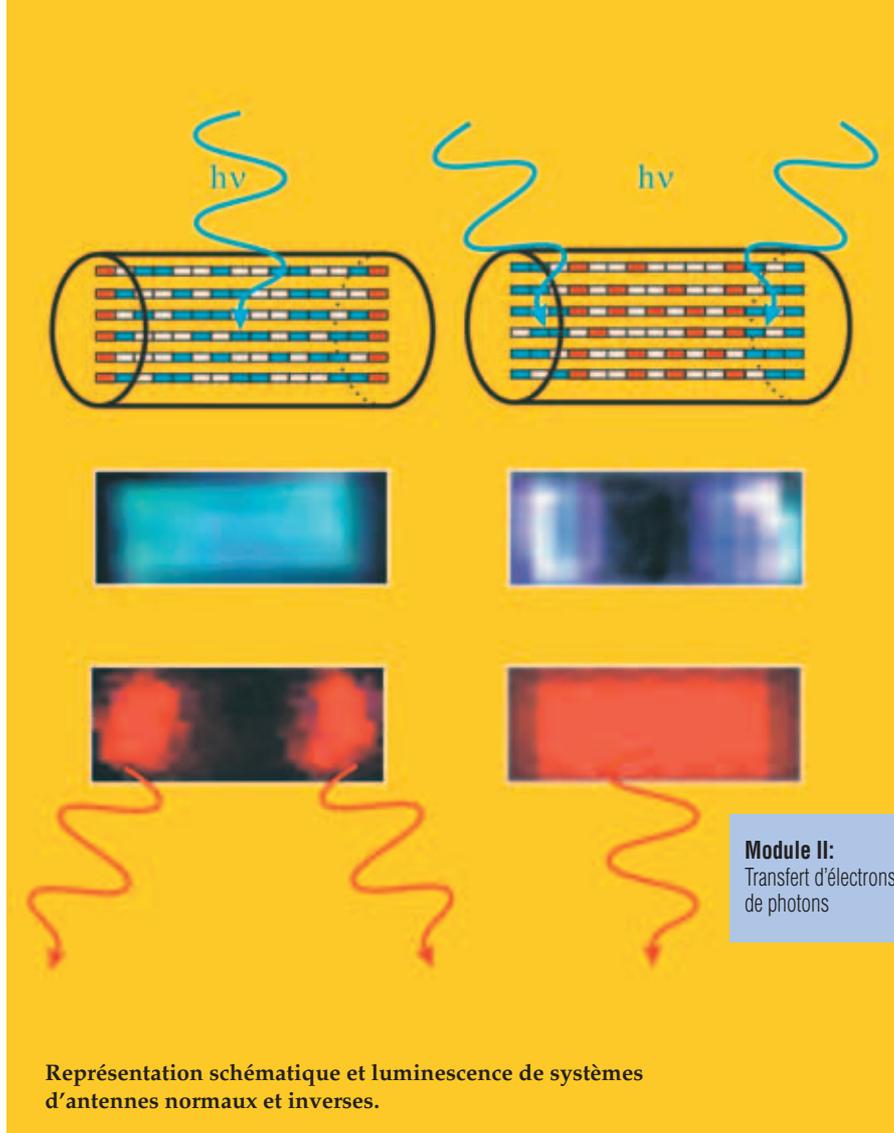
mais aussi dans les rouges. «En recourant aux méthodes spectroscopiques adéquates, nous pouvons montrer que les portions d'énergie qui sont absorbées dans la zone bleue se déplacent de molécule en molécule jusqu'à la zone rouge et y produisent de la luminescence», résume M. Calzaferri.

Une approche simple et efficace

«De nombreux projets de groupes de recherche internationaux réputés ont également pour but de réaliser des systèmes d'antennes. Mais notre approche semble être de loin la plus simple et la plus réussie. Toutes les autres impliquent une part considérable de synthèses chimiques. Aussi nos travaux ont-ils été remarqués au niveau international», constate le professeur bernois avec satisfaction.

Des perspectives intéressantes

Un des grands défis consiste à placer le meilleur récepteur d'énergie possible à l'extrémité des tubes, donc à leur surface, à y conduire l'énergie et à la mettre à disposition d'autres étapes de la réaction. «Si cela réussit je pourrai absorber de la lumière par exemple avec 100 000 molécules et concentrer toute l'énergie récoltée sur une seule molécule à la surface. Cela représente donc un facteur d'amplification de 100 000. Cela pourrait être intéressant dans un domaine comme les capteurs.» Une application ambitieuse, mais envisageable, serait d'utiliser le



Module II:
Transfert d'électrons et
de photons

Représentation schématique et luminescence de systèmes d'antennes normaux et inverses.

système d'antennes comme couche mince dans des piles solaires à couches semi-conductrices ou dans des écrans. Une demande de brevet pour l'Amérique du Nord, effectuée en novembre 2000 en collaboration avec le service de transfert de technologie Unitectra, constitue un premier jalon sur le long chemin menant aux applications.

Une bonne équipe

M. Calzaferri et ses collaborateurs ont avancé plus vite que prévu. Leur stratégie pour la prochaine phase du projet vise à édifier des molécules de colorant plus efficaces. La composition de son groupe – des chimistes orientés vers la physique et l'expérimentation – offre des conditions favorables pour aller vers de nouveaux succès. «Nous attachons de l'importance à une bonne formation en chimie ou en physique expérimentale. Des thèses de doctorat rien que sur la chimie de synthèse n'existent pas chez nous», confirme-t-il. Pour les examens analytiques, il collabore avec Alfred Meixner, professeur à l'Université de Siegen (Alle-

magne), avec Robert Pansu, à l'École supérieure de Cachan, à Paris, et avec Tjeerd Schaafsma, professeur à la Wageningen University (Pays-Bas). ■

Contact:

Prof. Gion Calzaferri, Département für Chemie und Biochemie, Universität Bern, Freiestrasse 3, 3000 Bern
Tél. 031 631 42 36
Fax 031 631 39 94
gion.calzaferri@iac.unibe.ch
www.dcb.unibe.ch/groups/calzaferri

Participants au projet:

Antonio Currao, André Devaux, Stephan Glaus, Stefan Huber, Abderrahim Khatyr, Claudia Leigener, Hubert Maas, Marc Meyer, Michel Pfenninger, David Schürch.

Molécules complexes, molécules complices

Regrouper en un seul matériau les propriétés de trois systèmes chimiques connus: tel est l'objectif du professeur Robert Deschenaux et de son équipe à l'Institut de chimie de l'Université de Neuchâtel. Bien que des applications soient envisageables, leur approche, de nature supramoléculaire, relève de la recherche fondamentale.

Le propre d'un assemblage supramoléculaire est de posséder une fonction élaborée que les entités moléculaires qui le composent ne possèdent pas lorsqu'elles sont isolées – la transposition chimique, en quelque sorte, de l'adage voulant que l'union fasse la force. Peut-être inspiré par cette maxime, M. Deschenaux a eu l'idée de réunir en un nouveau matériau les propriétés des polymères, celles des cristaux liquides et celles du ferrocène.

Si l'idée est attrayante, sa réalisation n'est pas triviale. «C'est là qu'intervient la chimie supramoléculaire, une sorte de sociologie des molécules, explique M. Deschenaux. Il faut assurer la bonne cohabitation de chacune des unités formant le matériau supramoléculaire. Si l'assemblage d'une molécule particulière donne par exemple lieu à une organisation liquide-cristalline, une légère modification de la molécule peut suffire à empêcher cet arrangement. Il s'agit de comprendre pourquoi.»

Domaines d'application: affichage électronique, électronique moléculaire.



«Une recherche fondamentale dans des domaines d'application.»

Robert Deschenaux

Né au Locle en 1957. Il a étudié la chimie à l'Université de Neuchâtel, avant d'y obtenir le titre de docteur ès sciences en 1983 pour une thèse en chimie inorganique sur les complexes de cuivre. Après trois stages post-doctoraux dont un dans le groupe du professeur Jean-Marie Lehn à Strasbourg, il travaille durant un peu plus d'une année chez Ciba-Geigy. Un stage industriel qui lui aura beaucoup apporté. Depuis 1991, il est professeur ordinaire de chimie organique à l'Université de Neuchâtel. L'ensemble de ses recherches portent sur les matériaux supramoléculaires organisés.

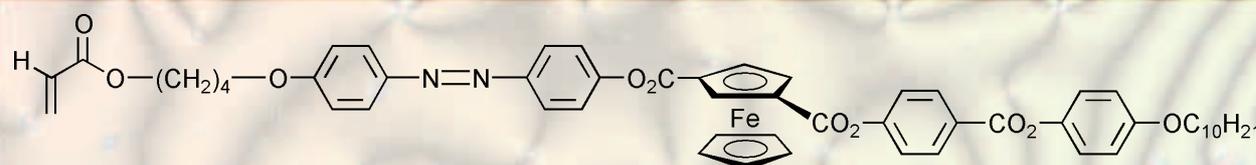
Ferrocène and co

La première étape du projet neuchâtelois consiste à réaliser l'unité moléculaire qui sera à la base du fameux matériau. Celle-ci contient le ferrocène. Du fait de sa structure unique, un atome de fer pris en sandwich entre deux cycles organiques, le ferrocène présente des propriétés particulières, tant en électrochimie qu'en optique. «Nous espérons que ces propriétés se retrouveront également dans le matériau macroscopique», précise M. Deschenaux.

Les deux autres éléments présents dans l'unité moléculaire de base doivent permettre à la molécule dans un premier temps de polymériser puis dans un second, de former un cristal liquide. «En ce moment, nous nous intéressons à la relation entre la structure de la molécule et l'organisation au niveau supramoléculaire. Lorsque cette étape sera franchie, nous nous intéresserons à la relation entre l'organisation du matériau et ses propriétés.»

Ne rien laisser au hasard

«Une autre approche aurait été de synthétiser un grand nombre de molécules jusqu'à obtenir celle qui présente les propriétés désirées, tant microscopiques que macroscopiques», explique M. Deschenaux. Mais ce n'est pas l'option retenue à Neuchâtel. «Nous ne partons pas d'une molécule en nous disant: «On verra bien ce qu'elle peut faire.» Nous désirons une propriété précise et nous cherchons la molécule qui devrait nous permettre de l'obtenir.»



Polymère

Cette propriété si spécifique a donc été définie en tout début de projet. «Nous désirons développer un matériau polymère liquide-cristallin ayant la propriété de commutation, explique M. Deschenaux. Un tel matériau peut se trouver dans deux états différents. Par réaction avec un stimulus externe – absorption de lumière, application d’une tension aux extrémités... – le matériau commute entre deux états.»

Nombreuses applications...

Ce type de matériau devrait ouvrir la porte à de nombreuses applications, dans des domaines aussi divers que l’affichage électronique, la bioanalytique, le stockage de données... «Je définis mon travail comme étant de la recherche fondamentale dans des domaines d’application. Des collaborations industrielles sont donc envisa-

geables. A nous d’apporter les principes fondamentaux des matériaux et de leurs propriétés, à l’industrie de développer des technologies à partir de là.»

...et collaborations

Le domaine des cristaux liquides est un domaine très vaste. «Nous ne pouvons pas en couvrir tous les aspects, constate M. Deschenaux. Nous collaborons donc avec des groupes suisses et étrangers, spécialement pour la détermination de l’organisation tridimensionnelle du matériau à l’aide de la technique de diffraction des rayons X. A Neuchâtel, nous nous occupons de la conception des molécules.» ■

Texture de la phase nématique présentée par un monomère du ferrocène et observée par microscopie à lumière polarisée. Ce monomère servira pour obtenir des polymères liquides-cristallins.

Contact:

Prof. Robert Deschenaux, Institut de chimie, Université de Neuchâtel, Av. Bellevaux 51, case postale 2, 2007 Neuchâtel
Tél. 032 718 24 27
Fax 032 718 25 11
robert.deschenaux@ich.unine.ch
www.unine.ch/chim/Des1.html

Participants au projet:

Julie Brettar, Thierry Chuard, John Goodby, Daniel Guillon, Marjorie Séverac, Antonio Togni.

ADN: le silicium du futur?

A l'Institut de chimie organique de l'Université de Bâle, l'équipe du professeur Bernd Giese étudie les propriétés de conductance de l'ADN. Les enjeux sont de taille dans l'optique de la lente mais inéluctable transposition de la microélectronique à la nanoélectronique.

En accord avec la fameuse «loi de Moore», les composants des dispositifs électroniques ont subi une réduction drastique de leur taille dans les dix dernières années. Cette miniaturisation ne s'arrêtera pas là. Il est dès lors indispensable de comprendre le transfert électronique à l'échelle moléculaire, transfert qui est parfois très différent de celui dont la microélectronique a tiré profit jusqu'à présent.

Forte de ce constat, l'équipe bâloise étudie le transport de charge dans l'ADN, le support de l'information génétique. «Le but premier de ce projet est de découvrir si l'ADN peut être utilisé comme support pour conduire l'électricité, un peu à la manière d'un fil électrique, explique M. Giese. La question est sujette à des débats animés depuis le début des années 1990 déjà.»

Une découverte très importante

Les travaux de l'équipe bâloise avancent bon train. «Dans un article paru récemment dans la revue Nature, raconte M. Giese, nous y décrivons le transport d'une charge positive dans l'ADN sur une longue distance. Avant cela, nous pensions que l'ADN ne conduisait que sur de très courtes distances. Nous montrons que cette décroissance de la conductance en fonction de la distance disparaît à un certain point. La vitesse du transfert de charge n'est alors plus très grande, de l'ordre de la microseconde, mais elle est très efficace.»

Cette découverte est très importante pour la communauté scientifique. Elle ouvre d'intéressantes perspectives à l'emploi de l'ADN en apportant une nouvelle interprétation du mécanisme de transfert de charge. Quant à savoir si l'ADN pourra être utilisé en électronique et s'il remplacera le silicium dans la nanoélectronique de demain, comme certains scientifiques le pensent déjà, il n'y a qu'un pas. M. Giese se garde de le franchir: «Nous sommes encore loin de pouvoir répondre à la question. Nous nous trouvons encore en pleine recherche fondamentale.»

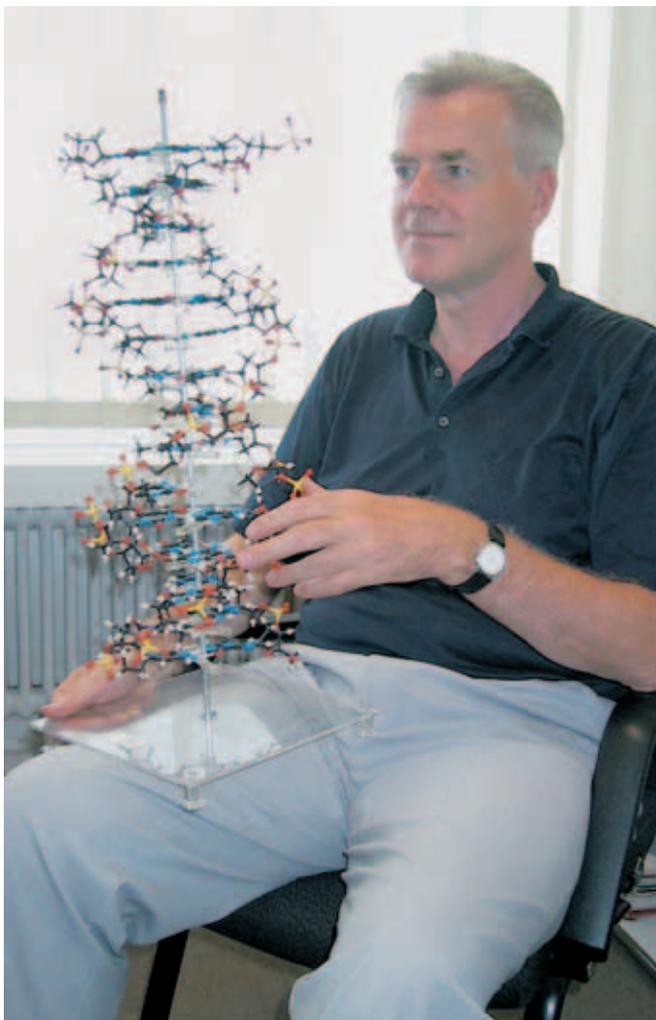
Transfert de charge salutaire

Les informations que nous apportent ces études sur l'ADN s'avèrent également capitales dans la compréhension d'un tout autre phénomène. Ce mécanisme de transfert de charges dans l'ADN nous renseigne sur des mala-



Représentation schématique du transfert de charge dans l'ADN.

Domaine d'application:
électronique moléculaire.



« Une recherche ne mène pas toujours à ce à quoi nous pensons initialement. »

Bernd Giese

Né à Hambourg en 1940. Il a étudié la chimie conjointement dans les universités de Heidelberg, de Hambourg et de Munich. En 1969, il obtient le titre de docteur pour une thèse effectuée à l'Université de Munich dans le domaine de la chimie organique. En 1989, il est nommé professeur ordinaire à l'institut de chimie organique de l'Université de Bâle. Sa recherche porte essentiellement sur les réactions radicalaires dans les systèmes biologiques.

Module II:
Transfert d'électrons et de photons

dies comme celle de Parkinson ou celle d'Alzheimer, liées aux dommages occasionnés par l'oxygène sur l'ADN. «Comme souvent en science, une recherche fondamentale conduit à des enseignements touchant à d'autres domaines.»

De par la forte concentration en oxygène et la perpétuelle présence de lumière, le milieu dans lequel nous vivons est très agressif. Il peut occasionner une oxydation de certaines molécules du vivant. Lorsque ce phénomène touche l'ADN, une mutation peut s'ensuivre. Celle-ci a des conséquences graves si elle a lieu sur une séquence dite codante de l'ADN. En revanche, si la charge positive est déplacée par transfert de charge sur une

séquence dite non codante, alors la mutation peut avoir lieu sans conséquence. On peut ainsi penser que le transfert de charge protège l'ADN d'une mutation néfaste. Cette très récente théorie qui porte la dénomination anglaise de «cathodic protection of genes» dans le milieu scientifique n'est encore qu'une supposition.

Rêves d'applications

L'un des objectifs à long terme de cette recherche étant d'utiliser l'ADN en nanoélectronique, le principal but de M. Giese est d'acquérir un maximum d'informations fondamentales sur cette structure. «En tant que chimistes, nous essayons de comprendre notre environnement au niveau moléculaire. Ensuite seulement nous rêverons à des applications». Cela dit, les applications ne sont peut-être pas si éloignées puis-

qu'un certain nombre de scientifiques se posent la question de savoir si l'ADN remplacera le silicium dans le futur. M. Giese et son équipe y auront alors bien contribué. ■

Contact:

Prof. Bernd Giese, Institut für Organische Chemie, Universität Basel, St. Johannis-Ring 19, 4056 Basel
Tél. 061 267 11 06
Fax 061 267 11 05
bernd.giese@unibas.ch
www.chemie.unibas.ch/~giese/index.html

Participants au projet:

Anne-Kathrin Köhler, Maria E. Michel-Beyerle, Martin Spormann, Stephan Wessely.

Au point de rencontre entre la chimie et la physique

Hans-Joachim Güntherodt, professeur ordinaire à l'Institut de physique de l'Université de Bâle, exploite le potentiel des microscopies à sonde locale pour développer des assemblages supramoléculaires susceptibles de faire progresser le domaine encore jeune de l'électronique moléculaire.



«L'idée est de remplacer les circuits intégrés par l'électronique moléculaire.»

«**E**n parcourant l'histoire de l'électronique, on trouve en premier les tubes à vide, explique M. Güntherodt. Progressivement, ils ont été remplacés par les transistors pour finalement donner lieu aux circuits intégrés que l'on trouve actuellement: toujours plus petits et plus performants. Leur miniaturisation ne pourra cependant pas se poursuivre à l'infini. Nombre de scientifiques, dont nous faisons partie, ont l'idée de remplacer ces circuits actuels par l'électronique moléculaire.»

Des molécules qui présentent la propriété de pouvoir commuter entre deux états ou, par analogie avec l'informatique, d'être sur la position 1 ou 0. «Récemment, une collaboration entre l'Université de Californie, Los Angeles, et la firme Hewlett Packard a abouti à une molécule particulière, le rotaxane. Mais personne ne sait vraiment quelle molécule remplira au mieux cette fonction de commutation. La question reste ouverte.»

Domaine d'application:
électronique moléculaire.

Quelle famille de molécules est la bonne?

Pour le groupe bâlois, la réponse ne viendra pas sans une étroite collaboration entre les branches de la chimie et de la physique. «Dans le cadre d'une collaboration, des experts en chimie synthétique – le professeur Constable autrefois à l'Université de Bâle et actuellement à Birmingham, ainsi que les professeurs Diederich et Seebach à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich – nous préparent différentes molécules susceptibles de répondre à nos besoins», poursuit le docteur Bianca Hermann, préparant une thèse d'habilitation dans le groupe du professeur Güntherodt et responsable scientifique de ce projet.

«Nous étudions actuellement quatre différentes familles de molécules: des dendrimères ou «molécules cascades» en raison de leurs très nombreuses ramifications; des ligands de fullerènes; des complexes métalliques; des complexes de colorant. Chacune de ces quatre familles présente d'intéressantes propriétés électroniques. Nous

Hans-Joachim Güntherodt

Né à Suhl en 1939. Il étudie la physique à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, études qu'il conclut par un travail de thèse portant sur les propriétés électriques des métaux liquides. En 1974, il est nommé professeur ordinaire à l'Université de Bâle. Dans le cadre général de sa recherche, il applique les récents développements en microscopies à sonde locale à la physique, à la chimie et à la biologie. Depuis 2001, il est à la tête du pôle de recherche national «Nanoscale sciences».

ne savons pas encore laquelle convient le mieux pour notre projet. En fonction des résultats, nous nous concentrerons peut-être sur une seule d'entre elles.»

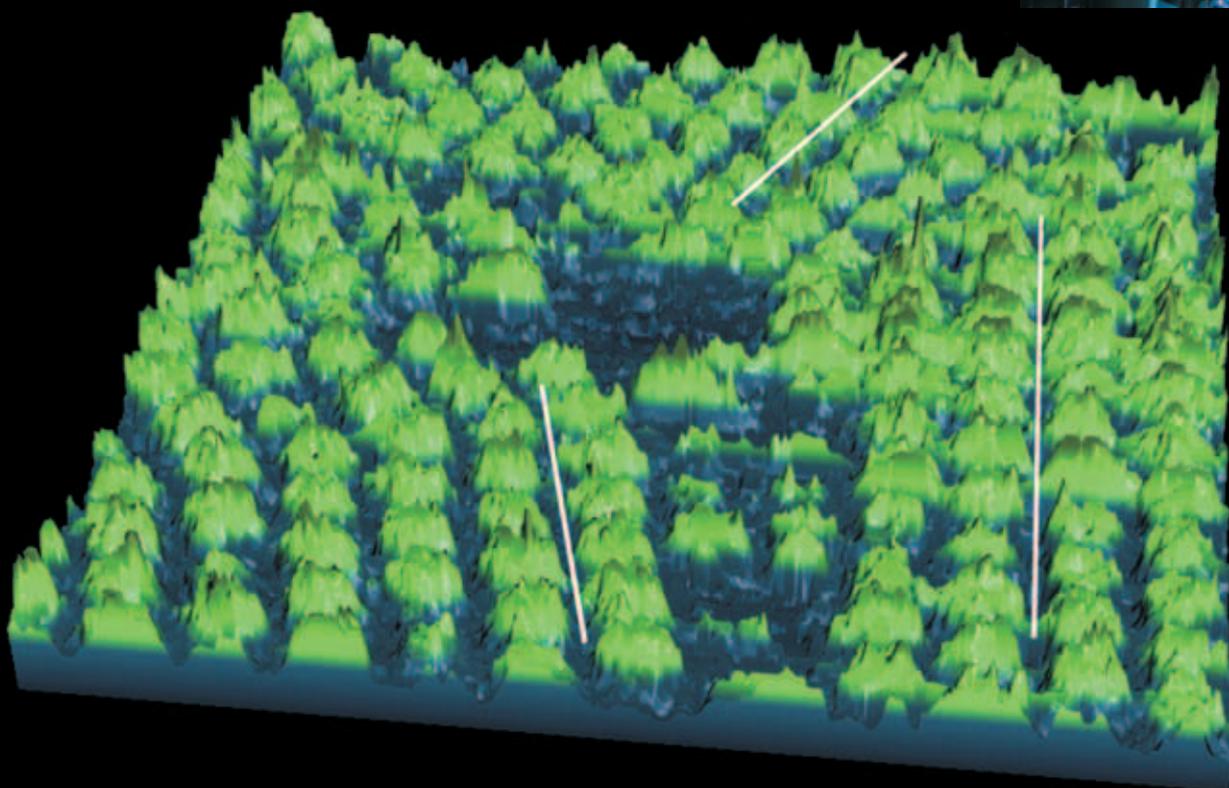
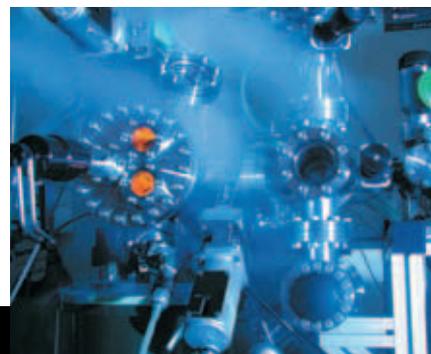
Des films supramoléculaires

Et que font les physiciens dans ce projet? «Aussitôt les molécules obtenues par les chimistes, notre travail consiste à les assembler dans des constructions supramoléculaires en forme de films, explique M^{me} Hermann. Trop grandes pour être évaporées, ces molécules sont dissoutes puis déposées sur une surface conductrice.»

L'arrangement supramoléculaire est ensuite observé à l'aide de la microscopie à effet tunnel ou de la spectro-

scopie à force atomique, instruments par excellence du monde nanoscopique qui ont été mis au point au début des années 80 dans les laboratoires d’IBM à Rüschlikon. «Nous pouvons ainsi visualiser la structure de nos films au niveau moléculaire. En fonction de ce que nous voyons, nous es-

molécule du film pourrait provenir de la pointe du microscope, ajoute M^{me} Hermann. De cette manière, il serait possible d’opérer un changement non plus uniquement sur un ensemble de molécules, mais sur une molécule unique et de manière précise.»



Module II:
Transfert d’électrons et de photons

Les microscopes à sonde locale permettent l’observation et la modification de la structure des matériaux au niveau moléculaire.

sayons ensuite de développer une méthodologie pour construire efficacement de tels assemblages.»

Un billion de molécules au cm²

Mais l’originalité et le potentiel du projet bâlois ne se limitent pas à la synthèse et à la caractérisation de films supramoléculaires. Dans un deuxième temps, il est prévu d’utiliser les techniques de microscopies à sonde locale non plus seulement pour observer le film, mais pour le modifier. «Le stimulus permettant de faire commuter une

Appliqué à un dispositif de stockage de données, un tel film, composé d’un billion de molécules au cm², en augmente considérablement la capacité. «Si les espoirs que suscitent de tels systèmes sont très grands, la recherche en est encore à un stade très fondamental», tempère M. Güntherodt. Un stade qui a tout de même justifié le récent déplacement à Bâle de chercheurs de la firme japonaise Sony. ■

Contact:

Prof. Hans-Joachim Güntherodt,
Institut für Physik, Universität Basel,
Klingelbergstrasse 82, 4056 Basel
Tél. 061 267 37 67
Fax 061 267 37 95
hans-joachim.guentherodt@unibas.ch
www.physik.unibas.ch/forschung.html

Participants au projet:

Damaris Ammann, Edwin Constable, François Diederich, Egbert Figgemeier, Guy Greiveldinger, Bianca Hermann, Jan Hitz, Urs Hubler, Leo Merz, Peter Murer, Beat Rheiner, Dieter Seebach, Thierry Sifferlen, Philipp Weyermann, Yves Zimmermann.

De minuscules colonnes pour des écrans plats

Les chimistes ont leur mot à dire dans la mise au point des nouvelles générations d'écrans plats. C'est en tous les cas ce que pense Titus Jenny, professeur associé au Département de chimie de l'Université de Fribourg.

A l'origine, il y avait les tubes cathodiques. Le premier a été réalisé en 1911 par le russe Boris Rosing. Aujourd'hui encore, certains écrans de télévision et d'ordinateur fonctionnent selon ce principe mis à jour au début du 20^e siècle. Ce sont les écrans dits CRT («Cathode Ray Tube»). «Le problème, explique M. Jenny, c'est qu'il n'est pas imaginable, pour des questions de poids et de taille, de construire de grands écrans selon ce principe. De plus, leur consommation en énergie est élevée.»

C'est pour cette raison que la recherche dans le domaine des écrans plats s'est fortement accélérée au cours de ces dernières années. Les méthodes mises au point à ce jour sont soit très onéreuses, soit peu satisfaisantes, bien souvent les deux à la fois. «Il y a un challenge à relever et c'est ce qui nous motive.»

Ecrans à émission de champ

Le groupe fribourgeois s'inspire des écrans dits à émission de champ. Leur principe de fonctionnement est similaire à celui des écrans CRT. Au lieu de n'avoir qu'un grand tube cathodique – ou un par couleur – l'écran est com-

Domaine d'application:
affichage électronique.



Titus Jenny

Né à Arlesheim (BL) en 1950. Il a effectué des études de chimie à l'Université de Zurich. A Zurich encore, il obtient le grade de docteur pour un travail de thèse à mi-chemin entre la chimie organo-métallique et la chimie analytique. Depuis 1992, il est professeur associé à l'Institut de chimie organique de l'Université de Fribourg. Il y développe une recherche en chimie organique-métallique synthétique recourant beaucoup à des méthodes analytiques. De manière générale, ces sujets de recherche sont plus inspirés de la chimie physique que de la biochimie.

«J'aime inventer des choses.»

posé d'une multitude de minuscules pointes jouant chacune le rôle d'un tube cathodique. De celles-ci – métalliques pour l'instant – sont libérés les électrons qui vont ensuite animer l'écran.

Proche de l'application? Oui...

La méthode est connue et semble fonctionner. «Elle suscite un intérêt grandissant des milieux industriels», ajoute M. Jenny. Elle est cependant difficile à réaliser techniquement. Les pointes métalliques sont très délicates à obtenir de manière uniforme, ce qui est pourtant indispensable en raison de la sensibilité de l'œil humain. «C'est là que la chimie supramoléculaire intervient. Nous aimerions réaliser ces minuscules pointes à partir de molécules qui auraient la particularité de s'em-

piler automatiquement, formant des colonnes. Les propriétés supramoléculaires de celles-ci devraient théoriquement assurer cette uniformité qui pose problème actuellement.»

En outre, une équipe de physiciens collaborant avec le groupe fribourgeois dans le cadre de ce projet a récemment démontré la propriété d'émission de champ avec des structures similaires, des nanotubes. Malheureusement, il est très difficile d'obtenir ces derniers de manière structurée. «Avec la molécule adéquate et un soupçon de chimie supramoléculaire, nous devrions obtenir un alignement de structures supramoléculaires en forme de colonne.»

...mais

Tout semble pour le mieux dans le meilleur des mondes. M. Jenny n'a toutefois rien du Candide de Voltaire. «Pour l'instant, nous ne sommes pas sûr si les molécules peuvent s'empiler

s supramoléculaires

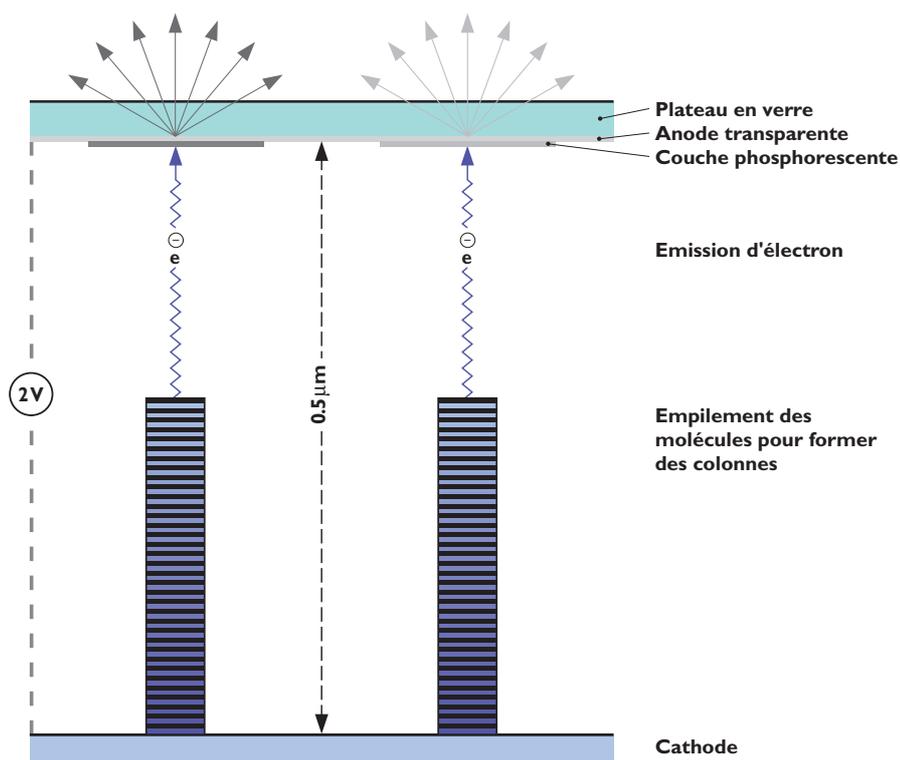


Schéma de l'écran à émission de champ imaginé par le groupe fribourgeois: la chimie supramoléculaire devrait permettre l'obtention de pointes uniformes.

Module II:
Transfert d'électrons et
de photons

Atomes crochus avec la physique

Une rencontre entre un chimiste et un physicien est à l'origine de ce projet. «Après avoir suivi la conférence d'un physicien expliquant les problèmes qu'il rencontrait pour faire pousser des diamants sur un support solide, je me suis mis à examiner la question du point de vue d'un chimiste, explique M. Jenny. Nous nous sommes dès lors rencontrés régulièrement, lui m'introduisant dans le domaine de l'émission de champ et moi lui apportant des solutions chimiques.» Le hasard fait bien les choses: à la même époque, le PNR 47 était lancé. ■

dans des colonnes isolées, explique M. Jenny. Nous étudions différentes molécules susceptibles de réaliser un tel arrangement. Toutes possèdent un cycle aromatique qui devrait orienter l'empilement.» Nous n'en saurons pas d'avantage. «C'est une idée qui se laisserait copier facilement.»

«Une fois que nous aurons formé des assemblages supramoléculaires à partir de telles molécules, il nous faudra encore vérifier que l'assemblage est bien en forme de colonne. Nous aurons alors recours à des techniques analytiques bien connues telles que la résonance magnétique nucléaire à l'état solide, la microscopie à effet tunnel ou encore la microscopie à force atomique.»

Obtenir des piles à partir de telles molécules ne signifie pas pour autant qu'il y ait une émission de champ. «Il nous faudra encore le tester. Si cette émission est également au rendez-vous, il conviendra alors, en collaboration avec la physique, de créer le support sur lequel seront fixées nos micro-colonnes. Le support devra être conducteur et contenir des points d'ancrage auxquels devront être fixées nos colonnes.»

Finalement, une commercialisation sera envisageable. La route est bien tracée jusqu'à l'obtention du produit. «Il ne faut cependant pas se faire d'illusions, relève M. Jenny. Si chaque étape est bien définie, chacune est également entachée de nombreuses incertitudes.»

Contact:

Prof. Titus Jenny, Département de chimie, Université de Fribourg, chemin du Musée 9, 1700 Fribourg
Tél. 026 300 87 78
Fax 026 300 97 39
titus.jenny@unifr.ch
www-chem.unifr.ch/oc/jenny/TJ.html

Participants au projet:

Jean-Nicolas Aebischer, Bassam Alameddine, Emmanuelle Ben-tabet-André, Patrick Folly, Sophie Gomez-Von Allmen, Pierangelo Groening, Raoul Mariaca, Pascal Ruffieux, Louis Schlapbach.

Nano-barils «à la baguette»

Au Département de chimie organique de l'Université de Genève, le professeur Stefan Matile et son équipe ont mis au point la première méthode permettant de synthétiser des structures chimiques artificielles en forme de barils. A l'instar des barils macroscopiques, ceux de M. Matile offrent un espace pouvant contenir diverses substances. De plus, étant ouverts aux extrémités, ils peuvent servir de canaux à travers lesquels sont transportés diverses molécules. Les perspectives d'applications sont très importantes.

«**D**ans le cadre de ce projet, mon inspiration provient des cellules qui peuplent notre organisme», raconte M. Matile. Ce qui retient plus particulièrement l'intérêt du groupe genevois, ce sont de petits canaux, appelés canaux ioniques, répartis sur la membrane cellulaire et qui assurent les échanges de matière entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule. «Ces canaux ioniques remplissent une fonction vitale. Placés hors de leur milieu naturel, ces barils – les canaux extraits de la membrane ressemblent à des barils ou à des tonneaux dont les extrémités sont ouvertes – pourraient remplir mille autres fonctions encore», ajoute M. Matile. De ce fait, ces barils, ou nano-barils de par leur taille, suscitent un intérêt important de la communauté scientifique.

Domaines d'application: thérapie génique, détecteur chimique, catalyse.

Perspectives d'applications considérables

Avant le travail de M. Matile, de tels barils avaient déjà été obtenus en laboratoire. Comme leurs homologues naturels, ils étaient formés de larges biomolécules, des protéines, que l'on avait modifiées chimiquement. L'équipe genevoise a réussi l'exploit de parvenir la première à synthétiser ces barils artificiels à partir de simples molécules organiques en forme de bâtonnets. Pour la petite histoire, les molécules en forme de bâtonnets sont parfois également appelées baguettes – de là la dénomination de chimie «à la baguette» qu'aime à employer M. Matile.

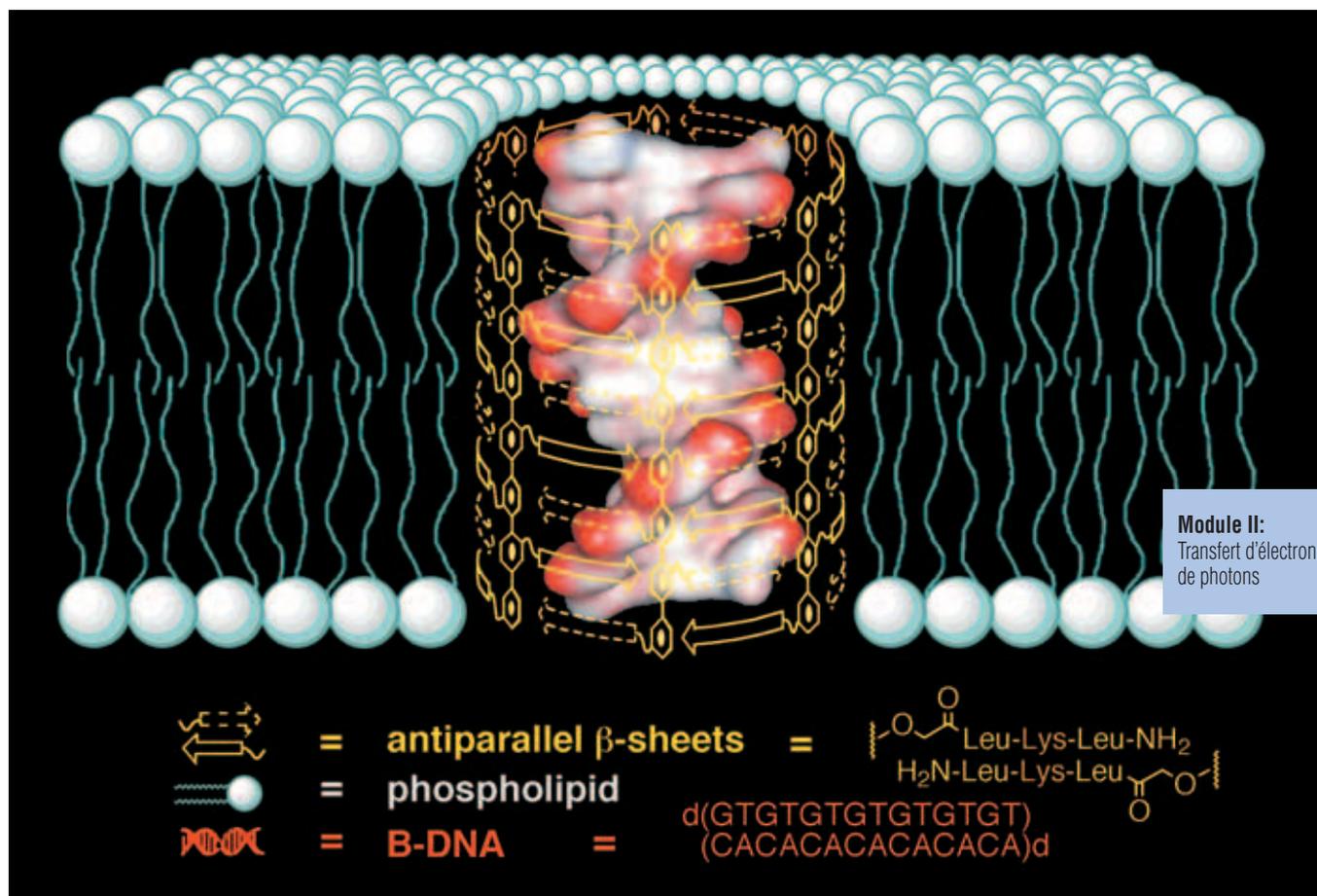
Dans l'assemblage supramoléculaire, ces molécules-bâtonnets forment les douves du baril. Le diamètre intérieur du baril varie entre 2 et 3 nanomètres, «suffisamment large pour contenir par exemple une structure double-hélice d'ADN, ce qui pourrait être intéressant en thérapie génique». Mais ces structures pourraient être utilisées dans d'autres domaines encore tels que la catalyse, la pharmacologie, la détection chimique, le transport de médicament... «En l'état actuel des connaissances, un grand nombre d'applications sont envisageables. Aucune n'a cependant encore vu le jour.»

«**Nous avons créé le domaine et nous en sommes donc les leaders.**»

Stefan Matile

Né à Zurich en 1963. Il a étudié la chimie à l'Université de Zurich. Il y a également obtenu son titre de docteur avec un travail de thèse dans le domaine de la chimie bioorganique. A l'occasion d'un stage post-doctoral à l'Université Columbia à New York, il travaille pour la première fois sur des molécules en forme de bâtonnets. En 1996, il obtient une place de professeur assistant à l'Université Georgetown à Washington DC où il commence à développer le domaine de la chimie bioorganique «à la baguette», comme il aime à le nommer. Depuis 1999, M. Matile est professeur assistant dans le département de chimie organique de l'Université de Genève.





Grande expertise synthétique

Depuis lors, le groupe genevois a encore progressé dans la synthèse. «Par les méthodes mises au point dans mon laboratoire, on peut aujourd'hui aisément agir sur les propriétés externes et internes de ces barils, explique M. Matile. C'est dans cette double maîtrise des propriétés internes et externes que réside le potentiel de nos nano-barils.» En modifiant les propriétés externes du nano-baril, son insertion dans un milieu tiers comme des membranes va être favorisée. La modification chimique de l'intérieur du baril permet une plus grande sélectivité sur les molécules qui pourront rentrer dans le baril.

Collaboration avec l'industrie

Maintenant que le groupe genevois maîtrise la synthèse de ces nano-barils, il désire recenser tous les domaines d'applications possibles. «Mais le développement n'est pas du ressort des laboratoires universitaires. Cette tâche doit revenir à l'industrie», précise M. Matile.

«Dans la mesure où les deux partis sont gagnants, une collaboration avec l'industrie serait intéressante, poursuit-il. Nous faisons la synthèse, démontrons par des exemples les domaines d'applications possibles. A l'industrie, qui possède également des chercheurs talentueux, de prendre en charge l'étape du développement. Nous pouvons leur fournir des conseils et de l'aide.»

Dans le domaine des nano-barils, le groupe de M. Matile est confortablement installé. «Nous avons créé le domaine et nous en sommes donc les leaders», conclut le chercheur. ■

Un des barils supramoléculaires mis au point à Genève: suffisamment large pour contenir une structure double-hélice d'ADN.

Contact:

Prof. Stefan Matile, Département de chimie organique, Université de Genève, 30 quai E. Ansermet, 1211 Genève 4
Tél. 022 702 60 85
Fax 022-328-7396
stefan.matile@chiorg.unige.ch
www.unige.ch/sciences/chiorg/Matile

Participants au projet:

Marc Adrian, Yoann Baudry, Bodo Baumeister, Jack Bourdon, Gopal Das, Lahoussine Ouali, Naomi Sakai, Shatrugan Shahi, Abhigyan Som, Nathalie Sordé, Kevin J. Wilkinson, Eiji Yashima.

«Self-organization of biochemically-modified nanoparticles for the development of novel optical composite materials»

Marier nanocristaux et biomolécules

Assembler des nanocristaux et des biomolécules: c'est l'idée qu'a eu Claus Duschl, privat-docent au Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes de l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Ces nouveaux matériaux composites possèdent des propriétés optiques pouvant être modifiées par un stimulus biologique – une perspective intéressante dans le domaine très prometteur de la bioanalytique.

Des propriétés intéressantes à l'échelle nanoscopique ne sont pas nécessairement à l'échelle humaine. Cela rend le passage du monde moléculaire au monde macroscopique non trivial. L'équipe de M. Duschl en fait quotidiennement l'expérience. Elle désire tirer parti, à notre échelle, de l'énorme potentiel représenté par les nanoparticules. «Le but de ce projet est de combiner des nanocristaux et des molécules biologiques pour former des matériaux composites aux propriétés optiques intéressantes en bioanalytique», explique M. Duschl.

Domaine d'application:
bioanalytique.

«J'observe des systèmes chimiques et biologiques avec les yeux d'un physicien.»



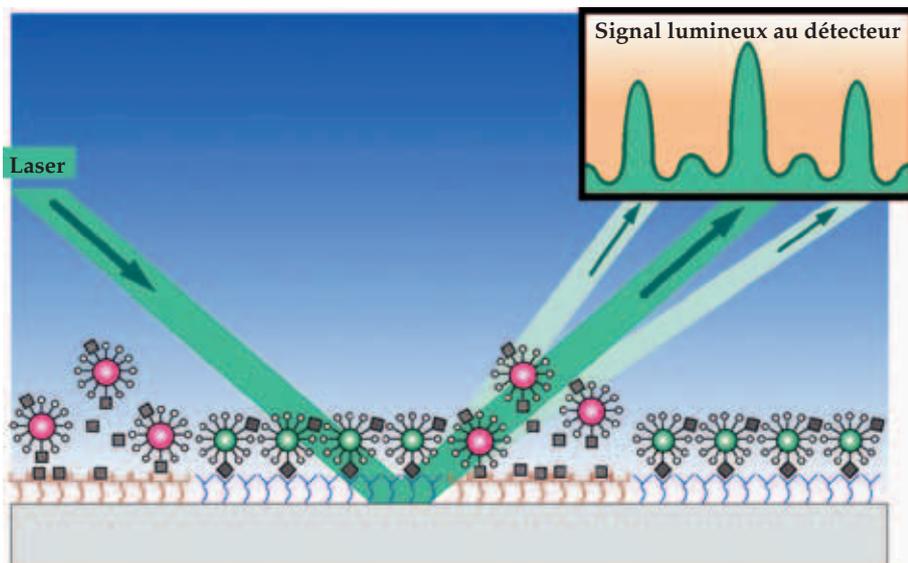
Claus Duschl

Né en 1954 à Eggenfelden en Allemagne. Il a étudié la physique à l'Université de Munich. Il y a également obtenu son titre de docteur au terme d'un travail de thèse dans le domaine de la spectroscopie sur des films organiques. Il effectue ensuite un stage post-doctoral à l'Institut de biotechnologie de l'Université de Cambridge. En 1994, il arrive au Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, où il mène aujourd'hui des recherches dans le domaine de la spectroscopie et de l'optique sur des surfaces organiques.

Des nanocristaux...

De minuscules cristaux aux propriétés fort intéressantes sont à la base du projet de M. Duschl. En raison de leur diamètre variant entre 2 et 6 nanomètres, ces particules sont également appelées nanoparticules ou, comme il s'agit de cristaux, nanocristaux. Avec des dimensions aussi minuscules, ces matériaux sont régis par les lois à première vue quelque peu étranges de la physique quantique.

L'effet est particulièrement perceptible sur les propriétés optiques de ces nanocristaux. Parmi celles-ci, le fait d'émettre de la lumière dont la couleur dépend de la taille du cristal: un cristal de composition donnée et de 2 nanomètres de diamètre émettra une lumière verte, alors que celle-ci sera rouge avec un cristal de même composition et de 5 nanomètres de diamètre. Pour un cristal d'une taille donnée, l'émission de lumière se fera ainsi à une couleur donnée. «A moins que l'environnement du nanocristal ne change, relève M. Duschl. Dans ce cas, l'émission de lumière sera modifiée. Autrement dit, en fonction des modifications de l'émission de lumière provenant du nanocristal, des infor-



Différents nanocristaux enveloppés de biomolécules s'alignent sélectivement sur une surface par reconnaissance supramoléculaire. Les nanocristaux verts forment un réseau qui module la lumière réfléchie du laser.

mations sur l'environnement sont obtenues.» Ces nanoparticules sont ainsi des candidats très prometteurs pour la détection et le marquage de réactions chimiques et biologiques.

...recouverts de biomolécules

Mais encore faut-il que ces nanocristaux soient enveloppés de biomolécules. Cette enveloppe va permettre, par reconnaissance moléculaire, l'assemblage des nanocristaux entre eux. Ce matériau composite devrait posséder de nouvelles propriétés, différentes de celles des particules isolées puisque chacune ressent sa voisine. «Ce sont ces nouvelles propriétés qui nous intéressent. De plus, lorsqu'une biomolécule étrangère s'approche, elle va interférer avec le matériau composite par reconnaissance moléculaire. Nous avons ainsi un nouveau concept pour un détecteur biologique.»

Vastes perspectives

«Les perspectives qu'ouvrent ces matériaux composites dans le secteur de la bioanalytique sont prometteuses, souligne M. Duschl. Certaines compagnies s'intéressent déjà à notre recherche.» En effet, un arrangement de matériaux composites sur une surface serait un excellent moyen pour étudier le principe actif de composés chimiques en vue d'applications pharma-

ceutiques. Il permettrait de déterminer rapidement quel principe actif réagit avec quel type de biomolécules.

«Mais en dépit de ces vastes perspectives d'application, il reste de nombreux points fondamentaux à éclaircir.» C'est justement l'objectif du groupe lausannois. Si la synthèse de ces nanoparticules est relativement bien maîtrisée, la déposition d'une couche de biomolécules sur leur surface est plus problématique. «Cette difficulté est en partie due à l'importante courbure de ces particules qui ont un diamètre allant de 2 à 6 nanomètres. Pour être parfaitement efficace, cette couche doit en plus être suffisamment dense, homogène et stable. Son influence sur les propriétés optiques des nanocristaux doit être comprise.»

Compétition stimulante

«Il commence à y avoir un peu de compétition dans ce domaine, relève M. Duschl. Mais cela est très positif, car cela signifie que le domaine est intéressant et doté d'un grand potentiel.» Les premières recherches ont été menées par des spécialistes de la chimie minérale. Les nanocristaux leur étaient très familiers, mais leur connaissance

Module III:

Capteurs et instruments de diagnostic

des biomolécules un peu lacunaire. «Notre avantage, conclut M. Duschl, est de posséder une certaine expertise dans ces deux domaines.» ■

Contact:

PD Dr Claus Duschl, Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPF - Ecublens, 1015 Lausanne
Tél. 021 693 6168
Fax 021 693 6190
claus.duschl@epfl.ch
icpsg3.epfl.ch

Participants au projet:

Isabelle Geissbühler, Gopakumar Gopala Krishnanin, Michael Grätzel, Martha Liley, Caterina Minelli, Ravindranathan Thampi, Horst Vogel.

A la frontière des mondes supra et macroscopiques

Au Laboratoire de photonique et interfaces de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, le professeur Michael Grätzel et son équipe développent des surfaces aux propriétés optiques et électroniques remarquables. De la conversion de l'énergie solaire aux systèmes de stockage de l'information, leur potentiel est grand.

Plus qu'une machine supramoléculaire dotée d'une fonction précise, c'est une méthodologie permettant de créer un lien entre les propriétés supramoléculaires et le monde macroscopique qui intéresse le groupe lausannois. Tout ce qui brille n'est pas de l'or...

Ce qui brille? «D'un côté, des molécules composées de deux parties actives soit électroniquement soit optiquement et, de l'autre, des surfaces nanocristallines semi-conductrices très rugueuses», explique M. Grätzel. L'or? «C'est le matériau résultant de l'assemblage de ces entités entre elles. Il devrait être capable d'amplifier, de transmettre et de stocker des signaux photochimiques et électrochimiques», poursuit le chercheur.

Augmenter le rendement des cellules solaires

Utilisés par exemple dans la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, les matériaux élaborés à Lausanne pourraient en augmenter

Domaines d'application:
électronique moléculaire, stockage
de l'information.



Michael Grätzel

Né en 1944 à Dorchemnitz en Allemagne. Il obtient son diplôme de chimiste à l'Université libre de Berlin en 1968. Il entre ensuite à l'Université technique de cette même ville où il passe en 1971 une thèse de doctorat consacrée à la cinétique de réactions rapides. En 1977, il est nommé professeur de chimie physique à l'EPFL. Son domaine de recherche est la photosynthèse artificielle (réalisation d'un nouveau type de pile photovoltaïque, réduction catalytique du gaz carbonique), la bioélectronique, la catalyse de même que la préparation et l'application de nanocristaux.

«Viser les publications scientifiques de premier ordre plutôt que les applications.»

le rendement. Les cellules solaires conventionnelles convertissent la lumière en électricité en exploitant l'effet photovoltaïque des semi-conducteurs.

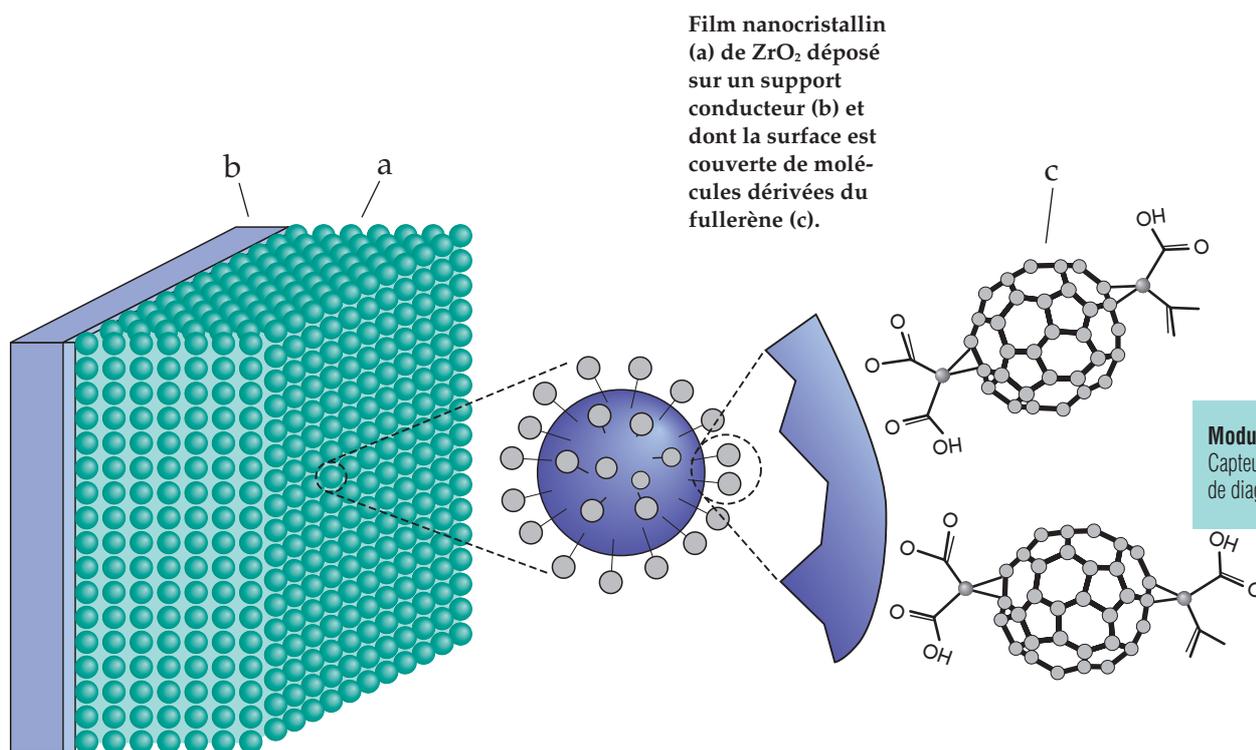
«Ces derniers remplissent alors simultanément les fonctions d'absorption de la lumière et de séparation des charges électriques. Bien souvent, lorsque le matériau n'est pas de grande pureté, les charges se recombinent trop tôt et le rendement de la conversion est diminué», explique M. Grätzel.

Les matériaux développés dans le cadre de ce projet permettent de différencier les fonctions d'absorption de la lumière et de séparation des charges électriques. «Ils offrent ainsi l'espoir d'une augmentation significative du rendement des cellules solaires, et, par la relative simplicité de fabrication, une baisse du prix de l'électricité solaire.»

Molécules greffées sur des particules nanocristallines

L'absorption de la lumière est assurée par une couche de molécules greffée à la surface du semi-conducteur. Une partie dite chromophore de ces molécules est excitée par l'absorption d'un photon de lumière. Il s'ensuit l'injection d'un électron dans la particule semi-conductrice attachée. Une deuxième partie dite électrochrome de la molécule prévient du retour de l'électron, d'une recombinaison de charges trop rapide.

moléculaires



L'absorption de la lumière par une mono-couche de ces molécules serait très faible. Pour remédier à ce problème et atteindre un rendement de conversion appréciable, la surface du semi-conducteur n'est pas plane. «Elle a la forme d'un film poreux de très haute rugosité. De cette manière la superficie du système est beaucoup plus importante et il en résulte une forte absorption de la lumière et finalement une conversion en électricité plus efficace», relève M. Grätzel.

D'autres applications

Le même type de matériau pourrait conduire à un système optique pour le stockage de l'information. Dans ce concept, les nanoparticules semi-conductrices et les molécules qui les entourent sont dispersées dans un

polymère. Suite à une excitation lumineuse, ces particules se chargent négativement. Elles permettent ainsi l'enregistrement de données à une échelle nanométrique, de même que la possibilité de lecture et d'effacement de l'information.

«Ce projet du PNR 47 nous offre plus de liberté pour faire de la recherche fondamentale, se réjouit M. Grätzel. Il y a certes une idée d'application, mais elle est prévue pour le long terme. Cette situation est très agréable, car pour se positionner dans le milieu scientifique, il ne faut pas viser la commercialisation mais il faut produire des publications de premier ordre.» ■

Contact:

Prof. Michael Grätzel, Laboratoire de photonique et interfaces, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPF - Ecublens, 1015 Lausanne
Tél. 021 693 31 12
Fax 021 693 61 00
michael.graetzel@epfl.ch
dcwww.epfl.ch/lpi/

Participants au projet:

Davide Bonifazi, François Diederich, Olivier Enger, Jessica Krüger, Richard Meier, Jacques-Edouard Moser, Nicholas Papageorgiou.

Sortir la cinétique supramoléculaire de l'ombre

Les vitesses d'association et de dissociation à l'intérieur d'un assemblage supramoléculaire sont des paramètres fondamentaux dont la compréhension et la maîtrise précéderont nécessairement toute commercialisation. Werner Nau, professeur à l'Institut de chimie physique de l'Université de Bâle, est un des précurseurs de ce domaine qui porte le nom de cinétique supramoléculaire.

«Si je veux acheter une voiture de course, je regarde en premier lieu à quelle vitesse elle peut rouler. En chimie supramoléculaire, où les chercheurs développent des machines fonctionnelles, cela devrait être la même chose, relève M. Nau. Pourtant, de tous les scientifiques actifs dans le domaine, très peu sont intéressés de savoir à quelle vitesse leurs machines fonctionneront. Cette question deviendra bientôt cruciale.»

Imaginons une machine supramoléculaire dont la fonction est de libérer un médicament de manière ciblée dans notre corps. S'il est certes important de connaître la structure d'une telle machine, il est également fondamental

de connaître la vitesse à laquelle le médicament sera libéré. De celle-ci dépendra son efficacité. Ce domaine d'étude porte le nom de cinétique supramoléculaire.

Détecteurs fluorescents

A la recherche d'une méthode d'analyse très sensible où il est possible d'observer une réaction se déroulant sur une seule molécule, le groupe bâlois a jeté son dévolu sur la spectroscopie de fluorescence. «Cette méthode recourt à des détecteurs moléculaires fluorescents dont le développement constitue le principal objectif de notre recherche. Plongés au cœur du système à étudier, ils émettent une lumière fortement influencée par leur environnement, ce qui permet d'obtenir des informations détaillées sur celui-ci», explique M. Nau.

Ces détecteurs fluorescents devront être différents en fonction du système. Ils sont conçus et modifiés au sein du groupe bâlois qui acquiert ainsi une grande expertise synthétique. «Nous avons mis au point des détecteurs avec une très longue durée de vie de l'état fluorescent, de l'ordre de la microseconde. Il s'agit de la plus longue durée de vie observée dans le cas de détecteurs organiques. Ils nous permettent d'étudier aussi bien des réactions rapides que des réactions lentes.»



Werner Nau

Né à Fulda en Allemagne en 1968. Il a étudié la chimie à l'Université de Würzburg. Après avoir effectué un master en sciences à l'Université St. Francis Xavier au Canada, il revient à Würzburg où il obtient, en 1994, le titre de docteur. En 1996, il arrive à Bâle en tant que chercheur associé. Au début de l'année 2000, il décroche une bourse du Fonds national lui permettant d'occuper la position de professeur assistant à l'Université de Bâle. Il y mène une recherche interdisciplinaire dans le domaine de la chimie physico-organique.

Domaine d'application: machines supramoléculaires, pharmacologie.

«Mesurer la vitesse des machines supramoléculaires et apprendre à la contrôler.»

Système hôte-invité

L'équipe bâloise applique sa méthode à deux types de systèmes supramoléculaires. Le premier, le plus trivial, est constitué de seulement deux molécules. Une molécule dite hôte peut accueillir une autre molécule dite invitée. Cette dénomination de système hôte-invité est due au prix Nobel Donald J. Cram, un des trois chimistes ainsi honorés en 1987 pour leurs travaux en chimie supramoléculaire. «Nous cherchons à déterminer les vitesses de dissociation et d'association entre les deux éléments, poursuit M. Nau. Celles-ci peuvent être directement reliées à la vitesse de libération d'un médicament.»

Dans un premier temps, le détecteur fluorescent est la molécule invitée. Le groupe bâlois étudie la vitesse à laquelle il se lie à une molécule hôte. «Nous cherchons à comprendre les facteurs qui influencent ces cinétiques supramoléculaires. En outre, nos détecteurs nous permettent également d'obtenir des informations fondamentales sur l'intérieur d'une molécule hôte, région inaccessible jusqu'alors.» Dans un deuxième temps il est prévu d'utiliser le détecteur comme marqueur, greffé sur une autre molécule invitée. «Il sera alors possible d'étudier de véritables machines supramoléculaires.»

Processus biologiques

Le groupe bâlois étend sa méthodologie à l'étude de certains processus biologiques, c'est là le deuxième type de système. «Cette extension est due au fait que de nombreuses recherches en chimie supramoléculaires visent à créer des machines fonctionnelles imitant des systèmes biologiques, relève M. Nau. Nous étudions par exemple la cinétique de diffusion sur la membrane cellulaire, cinétique directement liée à sa fonction. Cette étude est très importante en vue du développement de membranes synthétiques.»

Une recherche fondamentale

«La cinétique supramoléculaire est un domaine de la recherche fondamentale, conclut M. Nau. Nul doute qu'elle fera prochainement partie des préoccupations des industries. En outre, il est fréquent, au cours de nos travaux, que nous découvrons de possibles applications. Nous cherchons alors des contacts. La situation s'est déjà présentée pour la commercialisation de nos détecteurs ainsi que pour la propriété qu'ils ont de détecter les vitamines E et C présentes dans la membrane cellulaire.» ■

Contact:

Prof. Werner Nau, Institut für
Physikalische Chemie, Universität
Basel, Klingelbergstrasse 80,
4056 Basel
Tél. 061 267 38 31
Fax 061 267 38 55
werner.nau@unibas.ch
www.chemie.unibas.ch/~nau/

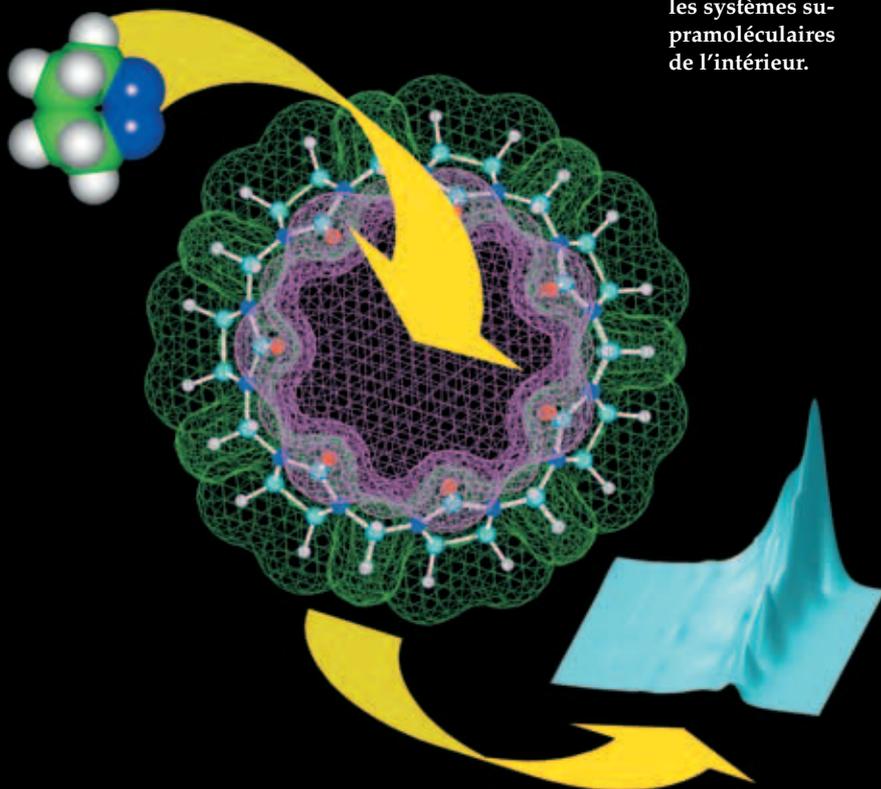
Participants au projet:

Huseyin Bakirci, Huang Fang,
Gaby Gramlich, Robert R. Hudgins,
Dieter Klapstein, César Márquez,
Uwe Pischel, Xiaojuan Wang,
Jiayun Zhang, Xiangyang Zhang.

Module III:

Capteurs et instruments
de diagnostic

Le détecteur
fluorescent permet d'étudier
les systèmes supramoléculaires
de l'intérieur.



«The creation of surface macromolecular docking sites
by means of self-assembly»

Une surface pour recevoir

Au Laboratoire de science et technologie des surfaces de l'École polytechnique fédérale de Zurich, le professeur Nicholas D. Spencer, le professeur Jeffrey A. Hubbell et le docteur Marcus Textor ont eu l'idée de développer un nouveau procédé pour l'analyse des protéines. Il s'agit d'une surface sur laquelle viennent s'attacher sélectivement ces macromolécules, tout en conservant leur activité.

Les protéines sont les molécules les plus abondantes chez les êtres vivants. Elles sont responsables de la majorité des activités cellulaires et sont également les principaux éléments de construction des structures cellulaires et extracellulaires. «Il est fondamental de pouvoir observer ces macromolécules qui ne mesurent que quelques nanomètres, explique M. Spencer. Cela d'autant plus que leur fonction est fortement dépendante de leur structure.»

Laisser les macromolécules dans leur environnement naturel

La détermination de la structure des protéines est aujourd'hui possible grâce aux progrès faits dans les domaines de la cristallographie et de la microscopie. «Cette technique présuppose cependant que la molécule que l'on désire observer se présente sous la forme d'un cristal. D'une part cela n'est pas facile à obtenir, et, d'autre



«Il est fondamental de pouvoir observer la structure des protéines sur des surfaces.»

part, la macromolécule est alors extraite de son environnement naturel.» L'équipe zurichoise s'est donné pour objectif de résoudre ce problème et a donc pour but de développer une nouvelle méthode faisant appel à la liaison d'anticorps pour l'analyse des protéines. «L'idée est de réaliser une surface sur laquelle s'attacheraient sélectivement ces macromolécules, explique M. Spencer. Les conditions devraient être telles qu'elles imitent au mieux l'environnement naturel. A l'aide de la technique dite OWLS – optical wave-

guide lightmode spectroscopy – un rayon laser balaie ensuite la surface et permet une analyse quantitative de haute sensibilité.»

Comment résoudre le problème de la dénaturation?

Le concept est limpide mais la réalisation reste un défi. «La protéine ne doit pas pouvoir s'attacher n'importe où et n'importe comment sur la surface, poursuit M. Textor. Il en résulterait une

Nicholas D. Spencer (droite)

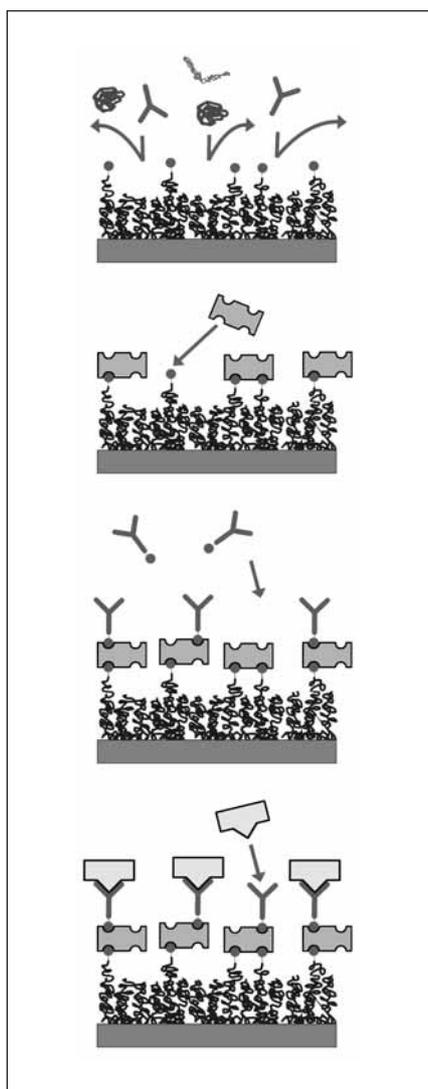
Né en 1955 à Bromley en Angleterre. Il a étudié la chimie à l'Université de Cambridge. En 1980 il y obtient le titre de docteur pour une thèse traitant de la chimie à la surface de l'or et de l'argent. Entre 1982 et 1993, il travaille en qualité de chercheur auprès de la firme américaine Grace. En août 1993, il est nommé professeur de technologie des surfaces au Département des matériaux de l'École polytechnique fédérale de Zurich.

Marcus Textor

Né à Wädenswil (ZH) en 1946. Il a effectué des études de chimie à l'Université de Zurich. A Zurich toujours, il obtient le grade de docteur pour un travail de thèse en chimie organo-métallique. De 1978 à 1994, il travaille chez Alusuisse où il est nommé, en 1992, directeur du département des matériaux. Depuis 1994 à l'École polytechnique fédérale de Zurich, il est à la tête du groupe «Biomatériaux et biocapteurs de surfaces».

Domaine d'application:
bioanalytique.

Capturer et étudier les protéines



Le nouveau capteur macromoléculaire de surface développé à l'EPF de Zurich est capable de détecter des protéines avec une grande sensibilité et une grande sélectivité.

modification de sa structure – on parle de dénaturation – et elle perdrait ainsi son activité biologique. La surface doit donc être globalement anti-adhésive par rapport aux protéines, mais elle doit posséder des sites d'ancrage équidistants sur lesquels puissent venir se fixer ces macromolécules.»

Cette dénaturation est un des plus grands problèmes que rencontre un chercheur désireux de capturer une protéine, tout en la maintenant fonctionnelle, sur une surface. «D'une part, reprend M. Spencer, il faut attacher une biomolécule dans sa conformation naturelle sur un site d'amarrage beaucoup plus petit qu'elle, afin que l'attachement ait le moins d'influence possible. D'autre part, l'interaction entre les deux parties doit être suffisamment forte pour que la protéine soit maintenue à la surface.»

Créer la surface

Autre aspect du problème: comment créer une surface répondant à toutes ces exigences? Dans une de ses approches, l'équipe zurichoise a mis au point un polymère n'offrant aucune prise aux protéines et capable de se déposer sur une surface composée d'oxyde. Sur ce polymère, il est possible dans un deuxième temps de greffer un groupe fonctionnel qui va servir de site d'amarrage. «C'est comme si la même molécule pouvait se trouver dans deux différents états, l'un permettant l'amarrage d'une protéine, l'autre le défendant», explique M. Spencer.

L'adsorption du polymère sur une surface n'est pas instantanée. Elle dépend de la durée d'exposition et de la concentration. «En jouant sur ces para-

mètres, ajoute M. Textor, il est possible de créer des îlots de polymères prêts à accueillir les protéines.» La même surface est ensuite exposée plus longtemps au polymère dépourvu du site d'arrimage qui remplit la place restante. «Nous parvenons déjà à obtenir une surface sur laquelle certaines zones permettent le dépôt de protéines et d'autres pas. Mais nous ne maîtrisons pas encore leur répartition à l'échelle moléculaire.»

A moyen terme, de nombreuses applications pourront tirer profit des résultats de cette recherche dans les domaines des biocapteurs et de la bioanalytique. «La concurrence y bat son plein. La localisation spatiale de sites d'amarrage dans un environnement non interactif, en revanche, est une approche unique», concluent, non sans fierté, les deux chercheurs. ■

Module III:
Capteurs et instruments
de diagnostic

Contact:

Prof. Nicholas D. Spencer, Oberflächentechnik, ETH-Zentrum NO-H64, 8092 Zürich
Tél. 01 632 58 50
Fax 01 633 10 27
nspencer@surface.mat.ethz.ch
www.surface.mat.ethz.ch

Participants au projet:

Susan M. De Paul, Stephanie Finken, Andreas Gössl, Ning-Ping Huang, Jeffrey A. Hubbel, Ilya Reviakine, Janos Vörös.

Déchiffrer le langage des cellules

Les protéines G et les récepteurs membranaires qui leur sont liés constituent un des systèmes fondamentaux de la communication cellulaire. Bien qu'ils soient, de ce fait, la cible privilégiée de nombreux médicaments, leur fonctionnement au niveau moléculaire a encore très peu été étudié. Horst Vogel, professeur au Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, et Susanna Cotecchia, professeur à l'Université de Lausanne, espèrent combler une partie de cette lacune.

Pour que les cellules des organismes vivants soient capables de remplir correctement leur fonction, elles doivent pouvoir communiquer avec leur environnement. Elles disposent pour cela de récepteurs incorporés à leur membrane. Parmi ceux-ci se trouve la famille des récepteurs couplés aux protéines G (RCPGs). Leur fonction biologique consiste à reconnaître un signal venant de l'extérieur et à le transmettre à l'intérieur de la cellule par l'intermédiaire des protéines G auxquelles ils sont couplés.

Domaines d'application:
pharmacologie, bioanalytique.

La cible des médicaments

«Ces RCPGs constituent une des plus importantes familles de molécules réceptrices, explique M. Vogel. Ils sont logiquement la cible d'une grande partie des composés pharmaceutiques. Une grande proportion des médicaments actuels sont dirigés vers ces récepteurs membranaires, et on s'attend à ce que cette proportion aille en augmentant dans le futur.»

Paradoxalement, de nombreuses zones d'ombre subsistent encore autour de ces récepteurs. Leur structure ainsi que le mécanisme exact, au niveau moléculaire, du transfert des signaux ne sont, dans la très grande majorité des cas, pas connus. «Seule la structure d'un RCPG a déjà été déterminée précisément, poursuit M. Vogel. Il s'agit de la rhodopsine, le récepteur visuel des cellules de la rétine.» Ce n'est pourtant qu'un cas particulier. Il en existe d'autres, jouant un rôle central dans la transmission des signaux nerveux, du goût, de l'odorat...

La lumière comme source d'informations

«En collaboration avec Susanna Cotecchia, professeur ordinaire à l'Institut de pharmacologie de l'Université de Lausanne, nous désirons mettre au point une méthode fiable et rapide permettant d'étudier le transfert de signal entre la protéine G et son récepteur.» Cette méthode s'appuie sur la spectroscopie de fluorescence. Dans cette technique, des marqueurs fluorescents, de petites molécules émettant de la lumière, sont greffés sur les récepteurs membranaires. La lumière émise, très sensible à l'environnement, fournit de nombreuses informations aux

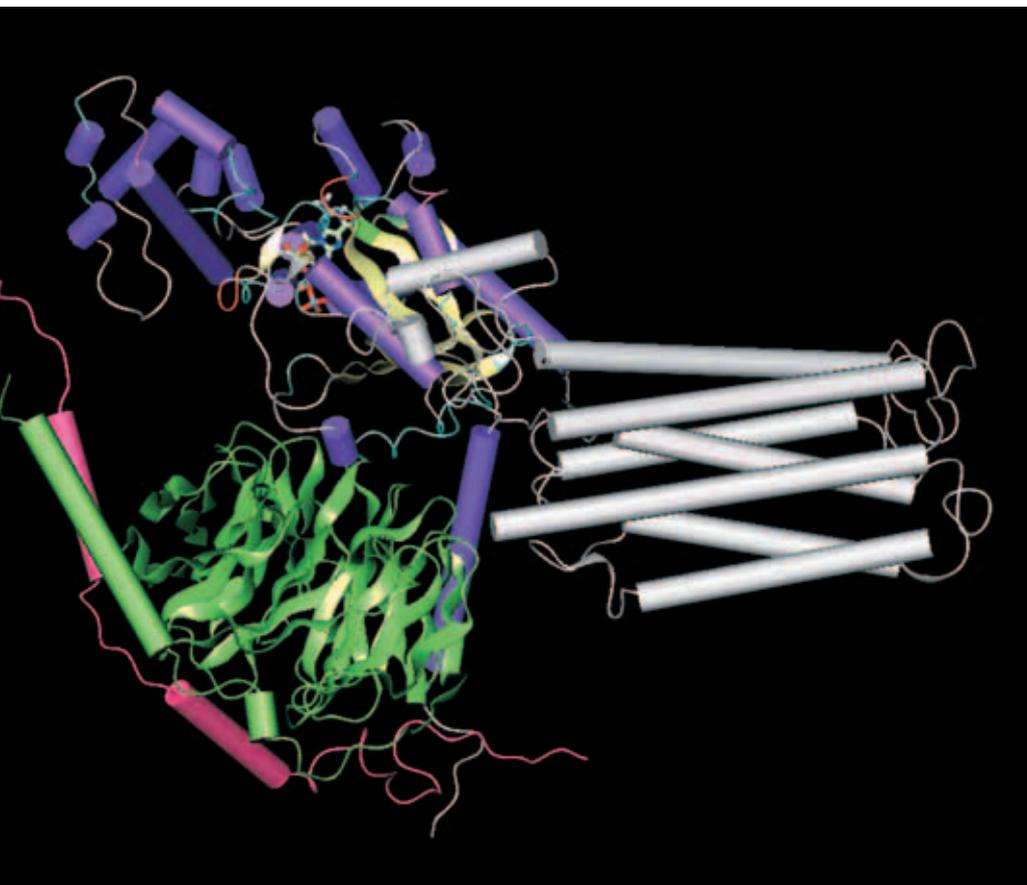


Horst Vogel

Né en 1948 à Würzburg en Allemagne. Après des études de chimie à l'Université de Würzburg, il obtient en 1978 le titre de docteur du «Max-Planck Institut für biophysikalische Chemie» à Göttingen pour un travail de thèse portant sur la structure des membranes lipidiques. Il a ensuite travaillé dans plusieurs instituts de recherche comme le «Max-Planck Institut für Biologie» à Tübingen, le Biocentre à Bâle et le «Karolinska Institute» à Stockholm. En 1994, il est nommé professeur à l'EPFL où il dirige le Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes. Ses recherches portent sur la structure et la dynamique des récepteurs membranaires ainsi que sur la bioanalytique, la nanobiotechnologie et la chimie physique des interfaces.

« Dans ce domaine, le chemin entre la recherche fondamentale et l'application est très court. »

Modèle de la structure tridimensionnelle d'un récepteur et de sa protéine G.



chercheurs. « Nous sommes ainsi renseignés sur la structure moléculaire des récepteurs, sur leur propriété de lier des ligands et, enfin, sur la modification structurale qui en découle, directement liée au transfert du signal vers la protéine G et le système intracellulaire d'amplification du signal. » Par rapport à des techniques plus traditionnelles pour étudier la structure des protéines, comme la diffraction aux rayons X ou la résonance magnétique nucléaire, la spectroscopie de fluorescence peut s'opérer dans des conditions physiologiques, par exemple pour étudier une seule cellule vivante ou des fragments cellulaires. « Cela nous permet de travailler avec des quantités très faibles, jusqu'à une molécule unique. En conséquence, les ana-

lyses nous informent immédiatement sur les fonctions des récepteurs, et permettent de plus d'étudier parallèlement un grand nombre de récepteurs et de substances actives. »

Des applications pas si éloignées

Cette approche est très fondamentale. « Elle nécessite toutefois de développer une nouvelle méthode et de nouveaux concepts d'analyse qui pourraient, dans un deuxième temps, mener à l'élaboration d'instruments de diagnostic. Ces derniers sont très attendus par l'industrie pharmaceutique pour mettre au point de nouveaux composés thérapeutiques. Mais c'est encore de la musique d'avenir... »

Que l'approche soit fondamentale ou appliquée, de nombreux groupes de recherche s'intéressent à ces protéines

G et à leurs récepteurs. « Toutes les grandes entreprises pharmaceutiques étudient ces systèmes. Dans les milieux académiques, l'intérêt est également considérable. Il n'y a pas beaucoup de méthodes qui permettent de travailler directement sur la structure et la fonction des récepteurs en condition physiologique. C'est là l'originalité de notre approche et certainement aussi notre avantage », conclut M. Vogel. ■

Module III:
Capteurs et instruments
de diagnostic

Contact:

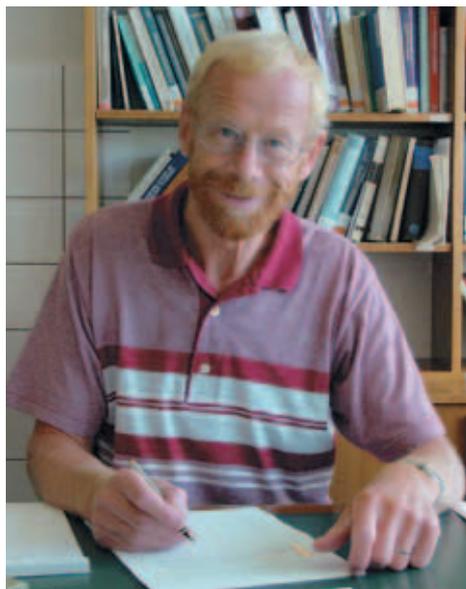
Prof. Horst Vogel, Laboratoire de chimie physique des polymères et membranes, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, EPF - Ecublens, 1015 Lausanne
Tél. 021 693 31 55
Fax 021 693 61 90
horst.vogel@epfl.ch
icpsg3.epfl.ch

Participants au projet:

Susanna Cotecchia, Ruud Hovius, Bruno Meyer, Jean-Baptiste Perez, Horst Pick, Laura Stanasila.

Des aimants minuscules

Les propriétés magnétiques de molécules individuelles pourraient acquérir de l'importance dans le développement de nouveaux matériaux pour le stockage de l'information. Le groupe du professeur Hans-Ulrich Güdel, à l'Université de Berne, synthétise de telles structures et en analyse le comportement magnétique. Pendant les 18 premiers mois de ce projet, les chercheurs sont parvenus à synthétiser différentes nouvelles structures et ont fourni une contribution importante, d'ordre fondamental, à la compréhension du comportement magnétique de molécules.



Domaine d'application:
stockage de l'information.

Dans les laboratoires de Hans-Ulrich Güdel, professeur de chimie inorganique et de chimie physique à l'Université de Berne, se trouvent d'innombrables éprouvettes contenant des solutions vertes ou brun rouge. «Le vert est la couleur caractéristique de solutions contenant du nickel, et le brun rouge de celles contenant du manganèse», explique Hans-Ulrich Güdel. Dans le cadre du PNR 47, son groupe synthétise des aimants moléculaires à l'échelle du nanomètre et en étudie les propriétés magnétiques. Ces structures compren-

«Notre principale méthode est la diffusion inélastique des neutrons.»

Hans-Ulrich Güdel

Etudes de chimie à Berne. Post-doc pendant 4 ans à Copenhague puis à Canberra. Professeur à Berne depuis 1978. Deux séjours sabbatiques en Californie.

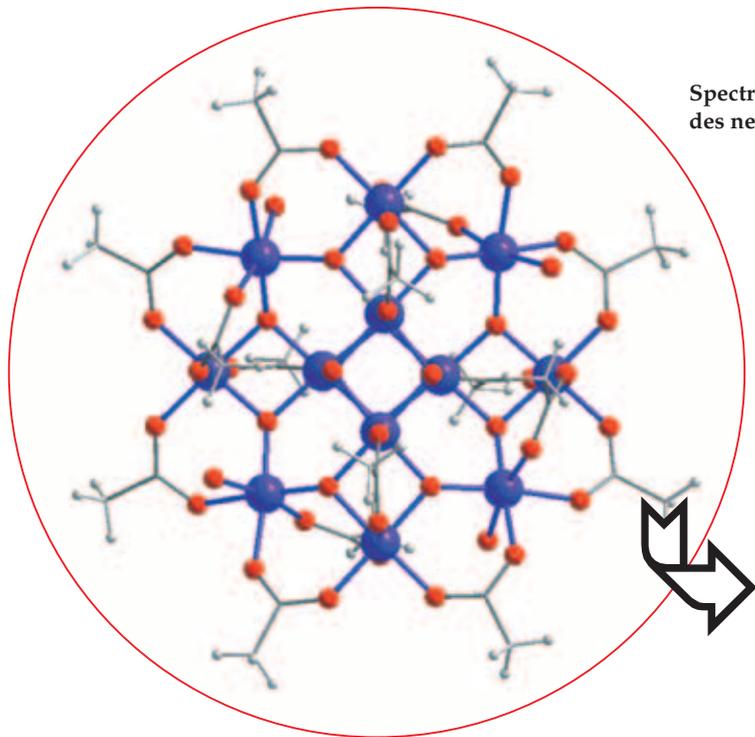
Intérêts dans la recherche: chimie et physique orientées vers les sciences des matériaux. Par exemple: étude de nouveaux processus pour l'émission de lumière dans des matériaux inorganiques, avec applications possibles comme substances luminescentes dans des écrans et dans les domaines de l'éclairage, des matériaux pour lasers et des scintillateurs; étude des propriétés magnétiques de «clusters de spins» et d'«aimants moléculaires», avec applications possibles pour le stockage de l'information.

nent plusieurs ions métalliques encastés dans une ossature constituée de ligands qui jouent le rôle de ponts et assurent la cohésion du tout. Ces assemblages, appelés «clusters de spins», constituent une nouvelle classe de composés inorganiques et sont dotés de propriétés magnétiques spécifiques.

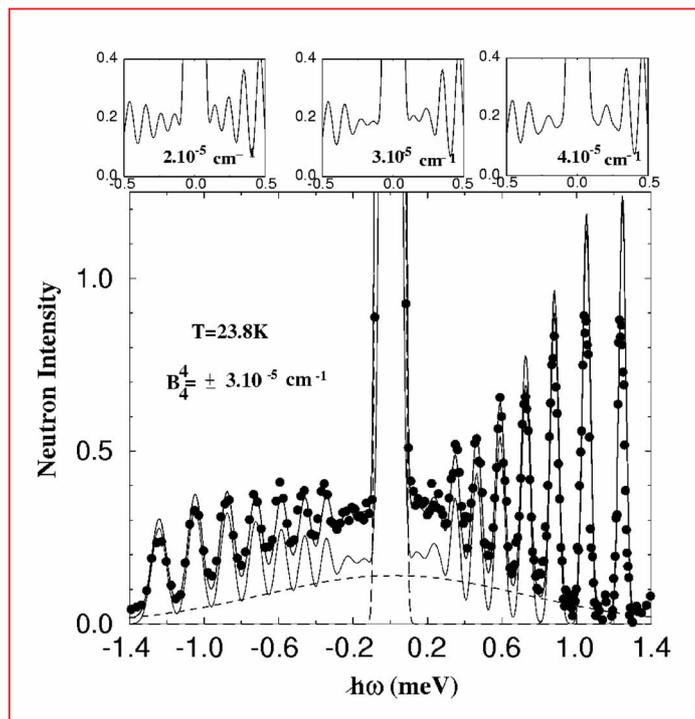
De tels aimants moléculaires pourraient être utilisés un jour comme matériaux pour le stockage de l'information. «Il faudra encore beaucoup de recherche fondamentale pour pouvoir évaluer leur potentiel. Mais nous savons qu'il faudra de nouveaux matériaux pour poursuivre la miniaturisation des processeurs et unités de mémoire. L'ordinateur quantique, si souvent évoqué aujourd'hui, renvoie à de nouvelles technologies faisant intervenir des phénomènes quantiques. Nos aimants constitués d'une seule molécule sont si petits que l'effet tunnel, par exemple, s'y produit également.» Le groupe de recherche bernois est confronté à un double défi: synthétiser des assemblages stables et étudier leurs propriétés magnétiques.

Collaboration internationale

Pour mesurer les propriétés magnétiques, il faut travailler à des températures proches du zéro absolu. Une partie des analyses est effectuée à 1,5 Kelvin au moyen d'un magnétomètre moderne appartenant à l'institut. «Mais notre principale méthode est la diffusion inélastique des neutrons, explique M. Güdel. Les neutrons cèdent une partie de leur énergie à la molécule



Spectre caractéristique de diffusion inélastique des neutrons par l'acétate de manganèse 12.



examinée. La différence d'énergie nous fournit des informations sur les excitations magnétiques élémentaires de nos molécules. Nous avons accès à la source de neutrons dits de spallation de l'Institut Paul Scherrer, dans laquelle les neutrons sont produits non pas par des réactions nucléaires, mais par l'impact d'un faisceau de protons sur un matériau servant de cible.» Des mesures sont également effectuées à l'Institut Laue-Langevin à Grenoble, à l'Institut Hahn-Meitner à Berlin ou au laboratoire anglais Rutherford. Ces instituts de grande renommée n'attribuent du temps de faisceau que très sélectivement; aussi cette collaboration internationale est-elle une preuve de la qualité du groupe de recherche bernois. Des groupes de recherche allemands, espagnols, français, anglais et américains sont également associés au projet.

Points forts des 18 premiers mois

«Pendant les dix-huit premiers mois du PNR 47, nous sommes parvenus, en utilisant du citrate comme ligand, à produire des «clusters de spins» comprenant 7, 8 et 21 ions Ni^{2+} . En vue de futurs développements, nous avons besoin d'assemblages comprenant

plusieurs ions métalliques et un spin total élevé. Le but est d'augmenter la température à laquelle l'effet tunnel peut être réprimé.»

Le deuxième point fort relève du domaine de la physique. Un partenaire de recherche, le groupe de George Christou, en Floride, a mis à disposition des Bernois différents assemblages constitués de ions de manganèse ($\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$) et de divers ligands, pour les examiner par diffusion inélastique des neutrons. «Nous avons pu mettre en évidence le mécanisme à la base de la corrélation entre la structure chimique et les propriétés magnétiques. Mis à disposition des spécialistes de la physique théorique, ce résultat permet de mieux comprendre le comportement magnétique. En approfondissant ainsi les connaissances sur ce genre de mécanismes, nous posons les bases de nos recherches futures», se réjouit M. Güdel.

Selon lui, la collaboration interdisciplinaire est un facteur de succès. «Le fait que les gens de la physique et de la chimie synthétique aient abordé ensemble ce domaine de recherche a

permis des progrès rapides et importants. Nous en sommes toutefois encore au stade de la recherche fondamentale et les applications commerciales sont encore assez éloignées. L'interdisciplinarité augmente les chances de succès.» ■

Module IV: Aimants moléculaires

Contact:

Prof. Hans U. Güdel, Département
Chimie, Universität Bern, Freiestrasse
3, 3000 Bern
Tél. 031 631 42 49
Fax 031 631 43 99
hans-ulrich.guedel@iac.unibe.ch
dcbwww.unibe.ch/groups/guedel

Participants au projet:

Reto Basler, Colette Boskovic,
Gregory Chaboussant, Mark
Murrie, Stefan Ochsenbein,
Andreas Sieber.

Une nouvelle dynamique pour votre communication



dans les domaines de la formation, de la science, de la technologie et de l'innovation

Conseil en communication

- > Concepts de communication intégrée
- > Mesures stratégiques de communication interne et externe

Edition & management de l'information

- > Magazines, publications, lettres d'information, prospectus...
- > Contenus et plates-formes pour sites web et intranets

En collaboration avec



Technologies et services multimédias

- > DVDs, vidéos, animations 3D
- > Web-TV et Business-TV

Projets & événements

- > Parcs à thème, parcs d'aventures
- > Design d'expositions

science **com** sa

Thunstrasse 7 Tél. 031 356 53 53 vision@sciencecom.ch
CH-3005 Berne Fax 031 356 53 50 www.swiss-science.org

Comité de direction

Andreas Ludi (président)

Departement Chemie und Biochemie
Universität Bern
Freiestrasse 3
3012 Bern
andreas.ludi@iac.unibe.ch

Peter Day

David Faraday Research Laboratory
The Royal Institution of Great Britain
21 Albemarle Street
London W1S 4BS
United Kingdom
pday@ri.ac.uk
www.ri.ac.uk/DFRL

James K. Gimzewski
Department of Chemistry and Biochemistry
UCLA
607 Charles E. Young Drive East
Box 951569
Los Angeles, CA 90095-1569
United States
gim@chem.ucla.edu
www.chem.ucla.edu/dept/Faculty/gimzewski/index.html

Hanspeter Schelling

Novartis International AG
Group Technology
R. 1001.4.41
4002 Basel
hanspeter.schelling@novartis.com
www.novartis.com

Ulrich W. Suter

Department of Materials
Institute of Polymers
ETH Zentrum – CNB E 92
Universitätsstrasse 6
8092 Zürich
suter@ifp.mat.ethz.ch
mat.ethz.ch/d-werk/ifp/ifp.html

Fritz Vögtle

Kékulé-Institut für Organische Chemie und Biochemie
Universität Bonn
Gerhard-Domagk Strasse 1
D-53121 Bonn
Germany
voegt@uni-bonn.de
www.chemie.uni-bonn.de/oc/ak_vo/default.html

Conseiller scientifique du Comité de direction

Marcel Mayor

Forschungszentrum
Karlsruhe GmbH
Institut für Nanotechnologie
Postfach 3640
D-76021 Karlsruhe
Tel. +49 724 782 63 53
Fax +49 724 782 63 69
marcel.mayor@int.fzk.de
www.fzk.de/int

Rapporteur

Thomas Kaden

Institut für anorganische Chemie
Spitalstrasse 51
4056 Basel
Tél. +41 61 267 10 06
Fax +41 61 267 10 20
th.kaden@unibas.ch

Secrétariat scientifique

Stefan Husi

Fonds national suisse
Division IV
Wildhainweg 20
3001 Berne
Tél. +41 31 308 22 22
Fax +41 31 305 29 70
shusi@snf.ch
www.snf.ch

Valorisation

Urs Aeberhard

Science Com SA
Thunstrasse 7
3005 Berne
Tél. +41 31 356 53 53
Fax +41 31 356 53 50
urs.aeberhard@sciencecom.ch
www.swiss-science.org

www.pnr47.ch



Le PNR 47 dispose d'un site Internet trilingue: français, allemand et anglais. Le public visé par ce site peut être initié ou non. Les premiers, provenant des milieux scientifiques, y trouveront une multitude de liens thématiques ainsi que des nouvelles de la recherche dans ce domaine. Les profanes auront quant à eux intérêt à débiter leur visite par la rubrique «Monde supramoléculaire» qui fournit une introduction.



New Work

New Option

New Economy

New Network

New Vision

eleven22

New Option

L'évolution des marchés et le progrès technologique réclament des changements dans l'organisation de l'entreprise et la façon de travailler. eleven22 est le système de bureau flexible ouvert à tous les changements. Vous trouverez d'autres informations sur www.eleven22.com

USM U. Schärer Söhne AG, CH-3110 Münsingen
Tél. 031 720 72 72, Fax 031 720 72 38, info@ch.usm.com, www.usm.com

USM
Systèmes d'aménagement