

Conférence débat de l'Académie des sciences

A L'INTERFACE DE LA CHIMIE ET DE LA PHYSIQUE

Mardi 12 février 2013 de 14h30 à 17h00

Organisateurs :
Pierre BRAUNSTEIN et Denis JÉROME,
Membres de l'Académie des sciences



Académie
des sciences

Grande salle
des séances

Palais de
l'Institut de
France

23, quai de
Conti
75006 Paris

14 h 30 **Introduction**

14 h 40 **Chimie et physique à l'unisson dans les conducteurs et les rotors moléculaires**
Patrick BATAIL, *Institut des sciences et technologies moléculaires d'Angers*

15 h 10 **Vers des dispositifs d'électronique organique multi-stimuli à l'échelle sub-micrométriques : « small, but not too small, is beautiful »**
Bernard DOUDIN, *Institut de physique et chimie des matériaux de Strasbourg*

15 h 40 **Comprendre et contrôler les propriétés électroniques remarquables des oxydes de métaux de transition : le point de vue d'un physicien**
Antoine GEORGES, *Collège de France et Ecole Polytechnique*

16 h 10 **Vitrimères**
Ludwik LEIBLER, *Matière molle et Chimie, ESPCI*

16 h 40 **Discussion générale et conclusion**

Conférence-débat

A L'INTERFACE DE LA CHIMIE ET DE LA PHYSIQUE

Mardi 12 février 2013

Patrick BATAIL, *Institut des sciences et technologies moléculaires d'Angers*
(UMR CNRS 6200)

Chimie et physique à l'unisson dans les conducteurs et les rotors moléculaires

Le domaine des matériaux de basse dimensionnalité s'est développé par le partage de concepts entre les communautés de chimie et de physique des solides et l'apport d'un foisonnement d'approches expérimentales de diagrammes de phases d'une grande richesse. La description de la liaison chimique et de la structure électronique de solides étendus à partir des orbitales de leurs constituants permet la discrimination entre les facteurs qui déterminent la structure et ceux qui gouvernent les instabilités électroniques en compétition, par exemple en fonction de la température et de la pression. Ces outils permettent d'engager un dialogue avec les théoriciens autour de la physique des systèmes à fortes corrélations électroniques. Deux disciplines se sont ainsi écoutées et ont développé des passerelles entre leurs langages. De retour dans le laboratoire de chimie, ces approches croisées ont suscité la création et l'évaluation de systèmes moléculaires fonctionnels. Cette démarche sera illustrée par des exemples choisis dans le domaine des conducteurs moléculaires. Nous montrerons comment les mêmes concepts et outils expérimentaux sont aujourd'hui translatés dans le domaine des rotors moléculaires cristallins afin d'explorer la coopérativité au sein de systèmes moléculaires fonctionnels dont les constituants en équilibre dynamique agissent de concert selon une hiérarchie de niveaux. Le mouvement corrélé de rotors moléculaires chiraux à l'état solide et l'utilisation de la lumière pour sonder la brisure de symétrie d'inversion de l'espace due aux mutations de conformation des rotors chiraux seront discutés. Puis, nous évoquerons comment, s'appuyant sur des concepts de physique théorique, ce nouveau domaine s'oriente vers la construction d'hybrides de conducteurs moléculaires et de rotors moléculaires permettant d'évaluer le phénomène de dissipation quantique

Patrick Batail, DRCE CNRS, a effectué son cursus de chimie à l'Université de Rennes I. Thèse d'Etat (D. Grandjean et R. Dabard) en 1976 à la frontière de la chimie du solide et de la chimie organométallique. Attaché de Recherche au CNRS en 1977, il effectue un post-doc dans le domaine des conducteurs et supraconducteurs moléculaires (1978-1980) avec Jerry B. Torrance au Laboratoire de Recherche IBM de San Jose en Californie (transition neutre-ionique dans TTF-Chloranil). Il crée en 1985 un groupe de chimie des solides moléculaires au Laboratoire de Physique des Solides à Orsay pour étudier la chimie et la physique des interactions intermoléculaires en compétition au sein de systèmes moléculaires auto-assemblés sièges d'une riche physique en basse dimension et les mésophases lyotropes à coeur minéral. Il succède à Jean Rouxel en 1996 à l'IMN à Nantes et est à Angers depuis 2002. Ses travaux récents portent sur les rotors moléculaires cristallins (mouvements corrélés, dissipation quantique).

Conférence-débat

A L'INTERFACE DE LA CHIMIE ET DE LA PHYSIQUE

Mardi 12 février 2013

Bernard DOUDIN, *Institut de physique et chimie des matériaux de
Strasbourg*

Vers des dispositifs d'électronique organique multi-stimuli à l'échelle sub-micrométriques : « small, but not too small, is beautiful »

L'électronique moléculaire repose sur les propriétés électriques des systèmes hybrides électrodes-molécules à l'échelle du nanomètre. L'électronique organique a montré ses potentialités sur des dispositifs plus grands, dépassant le micromètre. Je propose de monter que l'étude à une échelle de tailles intermédiaires, 100 nm, n'est pas si saugrenue! La première ambition est de réaliser un dispositif d'électronique moléculaire 'robuste', soit de réalisation reproductible, stable dans le temps, et peu sensible aux détails de l'accrochage d'une molécule unique sur une surface métallique. Pour l'approche de type 'électronique organique', l'aspect prépondérant (souvent énergivore) des interfaces dans les dispositifs motive l'étude de nouvelles molécules, permettant une meilleure compréhension des phénomènes d'interface, dans une perspective de recherche de meilleure solution matrimoniale entre molécules et surfaces métalliques. Enfin, j'illustrerai l'intérêt d'une telle approche pour obtenir des dispositifs ayant des propriétés électriques modulables par un champ électrique, un champ magnétique et électromagnétique, permettant ainsi une réponse multi-stimuli, de premier intérêt pour des applications de dispositifs hybrides. Dans une telle perspective, j'essaierai de vous convaincre que 100 nm est la taille idéale.

Bernard Doudin a effectué ses études à l'Université de Lausanne (doctorat en 1991) et après un séjour postdoctoral à l'Université de Cambridge et à l'École Polytechnique de Lausanne, il a obtenu un poste d'« Assistant Professor » à l'Université du Nebraska (États-Unis) en 1997 et fut titularisé en 2001. Il a rejoint l'Université de Strasbourg en 2005, au bénéfice d'une Chaire d'Excellence de l'ANR, afin de mettre en place un centre de nanofabrication à l'IPCMS. Ses activités sont à l'interface physique-chimie, focalisées sur les propriétés de transport électrique, en combinant les études de propriétés électriques aux études de structures électroniques par spectroscopies de surface. Ses travaux ont surtout porté sur le magnétisme et l'électronique de spin, en utilisant des voies originales pour construire des nano-systèmes apportant de nouvelles propriétés et une nouvelle compréhension de phénomènes de transport dépendant du spin.

Conférence-débat

A L'INTERFACE DE LA CHIMIE ET DE LA PHYSIQUE

Mardi 12 février 2013

Antoine GEORGES, *Collège de France et Ecole Polytechnique*

Comprendre et contrôler les propriétés électroniques remarquables des oxydes de métaux de transition : le point de vue d'un physicien

Les oxydes de métaux de transition possèdent des propriétés électroniques remarquables, telles la supraconductivité à haute température critique (oxydes de cuivre), de forts pouvoirs thermoélectriques (oxydes de cobalt) ou des transitions métal-isolant (oxydes de vanadium par exemple). Après avoir donné un aperçu de certaines de ces propriétés et fonctionnalités, je tenterai un état de l'art de notre compréhension de ces phénomènes et des outils dont dispose le physicien pour les comprendre. Je montrerai comment certains développements théoriques récents rapprochent les méthodes du physicien de la vision du chimiste. L'un des défis actuels est le *contrôle* de ces phénomènes, qui passe en particulier par la maîtrise des degrés de liberté orbitaux de ces matériaux : recouvrements et écarts énergétiques entre orbitales atomiques dans le solide. L'élaboration d'hétérostructures constitue une piste possible, mais on peut également penser à des voies plus aventureuses comme le contrôle sélectif de certains degrés de liberté structuraux par la lumière.

Antoine Georges, né en 1961, est professeur au Collège de France depuis 2009, titulaire de la chaire de *physique de la matière condensée*. Il est également professeur à l'Ecole Polytechnique, dont il a présidé le département de physique de 2006 à 2009 et où il a créé en 2004 une équipe de recherche. Il était auparavant chercheur (CNRS) au département de physique de l'Ecole Normale Supérieure. Ses travaux actuels portent sur la théorie des « matériaux à fortes corrélations électroniques », comme les oxydes de métaux de transition et les composés de terres rares, ainsi que sur la physique quantique des atomes froids. Il a reçu entre autres distinctions le Prix Anatole et Suzanne Abragam (1991), le Europhysics Condensed Matter Prize (2006) (*for the development and application of dynamical mean-field theory*) et la médaille d'argent du CNRS (2007). Il est membre de l'Academia Europaea.

Conférence-débat

A L'INTERFACE DE LA CHIMIE ET DE LA PHYSIQUE

Mardi 12 février 2013

Ludwik LEIBLER, *Matière molle et Chimie, ESPCI*

Vitrimères

En observant le souffleur de verre nous réalisons à quel point sa matière, travaillée à la flamme, sans régulation de température et sans moule, est particulière : les verres de silice passent d'un état liquide à un état solide de façon très progressive avec une viscosité qui suit une simple loi d'Arrhénius. Tous les composés organiques sans exception présentent, au contraire, au voisinage de la transition vitreuse, une viscosité qui diminue brusquement avec la température suivant une variation plus rapide que la loi d'Arrhénius. Peut-on concevoir un matériau organique qui se comporte comme la silice amorphe ? Nous avons imaginé le concept d'une transition vitreuse par le figeage de la topologie d'un réseau moléculaire et introduit les vitrimères, des réseaux organiques capables par des réactions d'échanges de se réorganiser sans changement du nombre ni de la fonctionnalité moyenne des liens. La vitesse des échanges et par conséquent la viscosité des vitrimères varient selon la loi d'Arrhénius et la température de la transition vitreuse et l'énergie d'activation peuvent être réglées en concevant un catalyseur adéquat. Nous avons utilisé la chimie de transesterification ou de métathèse, mais d'autres chimies sont envisageables. Les vitrimères sont malléables, mais insolubles même à chaud, réparables et recyclables comme le verre, cependant légers et résistants aux chocs comme des polymères. Ces propriétés exceptionnelles dans le monde des matériaux organiques semblent offrir, un an après la publication, de nombreuses perspectives industrielles.

Ludwik Leibler, né en 1951, docteur en physique théorique de l'Université de Varsovie, est entré au CNRS en 1979, après un stage post-doctoral sous la direction de Pierre Gilles de Gennes. Ses recherches sur les polymères et colloïdes à Strasbourg et à Paris le conduisent à créer en 1996 une unité mixte de recherche CNRS/Elf-Atochem. Depuis 2004, L. Leibler dirige le laboratoire Matière Molle et Chimie à l'ESPCI qui en alliant physique des polymères et chimie des interactions s'est fait connaître notamment par les découvertes des caoutchoucs auto-cicatrisants et des vitrimères. Ses travaux lui ont valu, en France la médaille d'argent du CNRS (1989), les Grands Prix P. Süe de la SFC et IFP de l'Académie des Sciences (2009) et celui de la Fondation de la Maison de la Chimie (2012) et aux Etats Unis ceux de l'American Chemical Society (2007) et de l'American Physical Society (2006). Il est membre de la National Academy of Engineering (Etats-Unis) depuis 2004. Il est auteur de 170 articles et inventeur de 56 brevets.