



ACADÉMIE EUROPÉENNE INTERDISCIPLINAIRE DES SCIENCES
INTERDISCIPLINARY EUROPEAN ACADEMY OF SCIENCES

Colloque AEIS-2021
**LES SIGNATURES DES ÉTATS MÉSCOPIQUES
DE LA MATIÈRE**

Jeudi 28 et vendredi 29 octobre 2021
Amphithéâtre Constant Burg - Institut Curie
12 rue Lhomond - 75005 Paris

RÉSUMÉS DES DIFFÉRENTES INTERVENTIONS

N° Date horaire	Auteur Résumé
1 Jeudi 28 octobre 9h25	<p style="text-align: center;">Gwendal FÈVE Sorbonne Université, Laboratoire de Physique Pierre AIGRAIN de l'ENS Ulm</p> <p>"Electronique quantique dans les nanoconducteurs"</p> <p>Les progrès des techniques de nanofabrication de l'industrie du semi-conducteur permettent maintenant de façonner les conducteurs électriques à l'échelle de la dizaine de nanomètres. A cette échelle, la matière acquiert de nouvelles propriétés gouvernées par la physique quantique. Le transport des électrons dans un tel conducteur (en particulier à basse température) n'est plus décrit par le mouvement de corpuscules classiques mais par la propagation d'ondes de matière analogues aux ondes lumineuses de l'optique. Je présenterai dans cet exposé des expériences illustrant cette optique électronique dans les conducteurs quantiques.</p> <p>"Electron optics in nanoconductors"</p> <p>The progresses in nanofabrication techniques of the semi-conductor industry now make it possible to shape electrical conductors on a few nanometres' scale. In these nano-circuits, matter properties are governed by quantum mechanics, and the propagation of electrons (in particular at low temperature) is no longer described by the motion of classical corpuscules but rather by the propagation of matter waves with strong analogies with the propagation of light in optics. I will present in this seminar experiments illustrating these electron optics in quantum conductors.</p>



2
Jeudi 28
octobre
10h10

Daniel ESTÈVE

Membre de l'Académie des Sciences
Service de Physique de l'État Condensé CEA-Saclay
Groupe Quantronique Ordinateur quantique

"Circuits mésoscopiques quantiques"

Tout système physique étant capable en théorie d'atteindre le régime quantique, la recherche des propriétés quantiques des systèmes non-microscopiques s'est considérablement développée pour les variables mécaniques ou les nano-objets et pour les variables électriques des circuits supraconducteurs non dissipatifs.

La découverte au milieu des années 90 selon laquelle la mécanique quantique fournit des moyens de réalisation de tâches de calcul dépassant celles des ordinateurs classiques a provoqué une recherche intense dans le domaine des unités de base, notamment les circuits de bits quantiques nécessaires à la réalisation d'un ordinateur quantique. Je décrirai les bits quantiques les plus avancés et les processeurs quantiques élémentaires réalisés avec. J'expliquerai le problème de flexibilité (scalabilité) pour réaliser un ordinateur quantique intéressant et les solutions envisageables. J'introduirai une route hybride basée sur les spins microscopiques couplés aux circuits électriques quantiques qui sont développés actuellement dans notre équipe.

"*Quantum mechanical mesoscopic circuits*"

Any physical system being in theory able to reach the quantum regime, searching for the quantum properties of non-microscopic systems developed noticeably for the mechanical variables on nano-objects, and for the electrical variables of non-dissipative superconducting circuits. The discovery in the mid-1990s that quantum mechanics provides resources for performing computational tasks

beyond reach of classical computers triggered intense research of the basic units, namely the quantum bit circuits, needed for implementing a quantum computer. I will describe the most advanced superconducting quantum bits and the elementary quantum processors made with them. I will explain the scalability challenge for making a useful quantum computer, and the solutions envisioned for solving it. I will introduce the hybrid route based on microscopic spins coupled to quantum electrical circuits that we presently develop in our team.



3
Jeudi 28
octobre
11h10

Christophe MORA

Université Paris Diderot (Paris 7)
Laboratoire de Physique Pierre AIGRAIN de l' ENS Ulm

"Topologie et physique quantique mésoscopique"

La topologie est une branche des mathématiques étudiant les déformations continues d'objets et leurs invariants. Son utilisation en physique a toujours été très fructueuse en permettant notamment d'identifier des structures robustes et universelles. Elle s'est fortement accélérée depuis un peu plus d'une dizaine d'année lorsque les physiciens ont réalisé que la topologie jouait un rôle très important dans la caractérisation des fonctions d'onde électroniques dans les matériaux solides. Un prix Nobel, celui de 2016, est venu couronner cette recherche en physique s'appuyant sur des concepts de topologie.

Nous discuterons quelques notions de topologie et leurs liens avec l'application de la physique quantique aux électrons dans les solides. Nous verrons de quelle manière la topologie explique l'apparition de phénomènes robustes dans le cadre de la physique mésoscopique.

"Topology and mesoscopic quantum physics"

Topology is a mathematical domain dealing with the continuous deformation of objects and the study of their invariants. Its use in physics has always been very fruitful. In particular, it allows the identification of robust and universal structures. For some ten years now this use has increased a lot since physicists realized that topology plays a very important role in characterising electronic waves functions in solid materials. The award of the 2016 Nobel prize has clearly set up this research.

We'll discuss some notions of topology and present their relations with the application of quantum physics to electrons in solids. We'll see how topology explains the appearance of robust phenomena in mesoscopic physics.



4

**Jeudi 28
octobre
13h45**

Clément SANCHEZ

Académie des Sciences

Chaire de « Chimie des Matériaux Hybrides », Collège de France

Chimie de la Matière Condensée de Paris,

UMR 7574-UPMC/CNRS/Collège de France

***"La nature, une source d'inspiration pour la science des matériaux :
Construire des matériaux poreux à des échelles Nano-Méso-Macro-
métriques"***

Au cours des cinq derniers millions d'années, la nature a produit des matériaux aux propriétés et caractéristiques remarquables, telles que les surfaces fonctionnelles intelligentes de certaines feuilles et fleurs, les structures magnifiquement sculptées des radiolaires ou des diatomées, les extraordinaires propriétés mécaniques et d'auto-cicatrisant que l'on trouve dans de nombreux composites. Une autre des caractéristiques remarquables de la nature est sa capacité à combiner à l'échelle nanométrique (bio) des composants organiques et inorganiques permettant la construction de matériaux naturels intelligents qui montrent un compromis entre différentes propriétés ou fonctions -mécanique, densité, perméabilité, porosité, etc. Un tel niveau d'intégration associe plusieurs aspects : miniaturisation regroupant un maximum de fonctions élémentaires dans un petit volume, hybridation des composants inorganiques et organiques en optimisant les possibilités complémentaires de fonctions et hiérarchie-. A titre d'exemple d'hybrides organique-inorganique, mentionnons les carapaces des crustacés ou les coquilles des mollusques, les os ou les dents des vertébrés, le byssus des moules, etc... Les stratégies de bottum-up permettent aujourd'hui de concevoir des matériaux dits hybrides où les composants organiques et inorganiques sont intimement mélangés. Les propriétés de ces matériaux ne résultent pas seulement de la somme de la contribution des deux phases, en effet le rôle des interfaces internes pourrait y être prédominant. Les stratégies basées sur les matériaux hybrides génèrent aujourd'hui des membranes intelligentes, de nouveaux catalyseurs biohybrides et des capteurs hybrides, une nouvelle génération de piles photovoltaïques et à combustible, des composants et systèmes microélectroniques, micro-optiques et photoniques intelligents, ou des vecteurs thérapeutiques intelligents qui combinent des propriétés contrôlées de ciblage, d'imagerie, de thérapie et de libération.

Le présent exposé développera quelques exemples de matériaux fonctionnels bio-inspirés, particulièrement les matériaux poreux, construits par des stratégies de "bottum-up. L'accent sera mis sur l'analogie entre l'ingénierie et le traitement réalisés par la nature dans la construction de matériaux performants et les stratégies utilisées aujourd'hui par les chimistes et les ingénieurs en matériaux pour produire des matériaux modernes par une sorte de conception contrôlée.

***"Nature a source of inspiration for materials science:
Building porous materials with controlled Nano-Meso-Macro scale"***

For the past five hundred million years nature has produced materials with remarkable properties and features such as the smart functional surfaces found in some leaves and flowers, the beautifully carved structures found in radiolaria or diatoms, the extraordinary mechanical and self-healing properties found in many composites. Another of nature's remarkable features is its ability to combine at the nanoscale (bio) organic and inorganic components allowing the construction of smart natural materials that found a compromise between different properties or functions (mechanics, density, permeability, colour superhydrophobia, porosity, etc.). Such a high level of integration associates several aspects: miniaturisation whose object is to accommodate a maximum of elementary functions in a small volume, hybridisation between inorganic and organic components optimizing complementary possibilities, functions and hierarchy. Current examples of natural organic-



inorganic hybrids are crustacean carapaces or mollusc shells, bone or teeth tissues in vertebrates, byssus of mussels etc... To day bottum-up strategies allow to design the so-called hybrid organic–inorganic materials where organic and inorganic components are intimately mixed. It is obvious that properties of these materials are not only the sum of the individual contributions of both phases, but the role of the inner interfaces could be predominant. Hybrid materials based strategies are today generating smart membranes, **new biohybrid catalysts** and **hybrid sensors**, new generation of photovoltaic and fuel cells, smart microelectronic, micro-optical and photonic components and systems, or **smart therapeutic vectors** that combine targeting, imaging, therapy and controlled release properties.

This tutorial presents a few striking examples of bioinspired functional materials built via bottum-up strategies focussing our presentation on porous materials In particular analogies between, engineering and processing made by nature to construct performant materials and the today strategies used by materials chemists and engineers to produce modern materials through a kind of controlled design will be emphasized.



5

**Jeudi 28
octobre
14h30**

Sandrine SAGAN

Directrice Laboratoire des BioMolécules LBM UMR 7203
ENS-Ulm - Laboratoire des BioMolécules

" Progrès récents dans le transport de molécules au travers des membranes cellulaires, ou comment des molécules polaires de haut poids moléculaire peuvent traverser une barrière imperméable sans systèmes de transport spécialisés."

Les membranes sont présentes à tous les niveaux d'organisation des organismes vivants. Longtemps présentée comme une barrière passive séparant la cellule de son environnement, la membrane plasmique joue un rôle majeur dans l'homéostasie cellulaire en assurant des fonctions dynamiques cruciales de contrôle et de traitement de l'information en réponse aux nombreux stimuli extérieurs. Malgré sa composition moléculaire simple (lipides, protéines, glucides), son organisation spatio-temporelle complexe confère à la membrane plasmique des propriétés de déformation, courbure et d'élasticité très dynamiques. Des systèmes protéiques de transport actif sophistiqués contrôlent les échanges à travers la membrane pour importer des nutriments essentiels. Depuis une trentaine d'années, il est connu que des nanoobjets de taille importante et polaires comme des peptides ou des protéines sont capables de traverser la membrane plasmique sans utiliser ses systèmes de transport actifs. J'illustrerai à l'aide d'exemples récents les aspects physico-chimiques qui permettent d'appréhender et dévoiler ces nouveaux mécanismes de passage des membranes.

"Recent developments on transport of molecules across cell membranes, or how to turn a hydrophobic barrier into a membrane permeable to big and polar molecules without sophisticated transport systems"

Membranes are present at all levels of organization of living organisms. Long presented as a passive barrier separating the cell from its environment, the plasma membrane plays a major role in cellular homeostasis by providing crucial dynamic functions of control and processing/transduction of information in response to numerous external stimuli. Despite its simple molecular composition (lipids, proteins, carbohydrates), its complex spatio-temporal organization provides the plasma membrane with very dynamic deformation, curvature and elasticity properties. Sophisticated active transport protein systems control the exchange across the membrane to import essential nutrients. Since about thirty years, it is known that large polar nanoobjects such as proteins or peptides are able to cross the plasma membrane without using the existing active transport systems. I will illustrate with recent examples the physicochemical aspects which make it possible to apprehend and unveil these new mechanisms of passage of the plasma membrane..



Rodolphe VUILLEUMIER

Sorbonne Université

ENS-Ulm - Département de chimie

6

**Jeudi 28
octobre**

15h30

"Simulations de dynamique moléculaire: un microscope numérique pour sonder la matière à l'échelle atomique"

Dans de nombreux domaines, les simulations numériques ont ouvert une troisième voie entre la méthode théorique et la méthode expérimentale. Ceci est particulièrement le cas dans le domaine de la chimie et de la science des matériaux. Les simulations de dynamique moléculaire ont apporté une vision nouvelle de la structure et de la dynamique à l'échelle atomique de systèmes aussi variés que les liquides, l'eau en particulier, les systèmes biologiques, les matériaux etc., allant parfois jusqu'à revoir la notion d'espèces chimiques. Dans cet exposé, nous commencerons par introduire ce que sont les simulations de dynamique moléculaire puis discuterons quelques unes de leurs applications que nous avons menées avec un accent particulier sur les solutions aqueuses et les systèmes géologiques. Enfin, nous présenterons quelques uns des développements en cours pour dépasser les frontières actuelles.

"Molecular dynamics simulations: a numerical microscope to probe matter at the atomic scale"

In many fields, numerical simulations have opened a third avenue in between the theoretical and the experimental approaches. This is particularly true in the field of chemistry and material science. Molecular dynamic simulations have brought a new picture of the structure and dynamics at the atomic scale of systems as diverse as liquids, water in particular, biological systems, materials etc., sometimes even revising the very notion of chemical species involved. In this talk, we will first shortly describe the basics of molecular dynamic simulations and we will then discuss some of its applications to which we have contributed, aqueous solutions and geological systems more especially. Finally, we will also discuss the current work aiming at reaching new boundaries.



Jean-François DUFRÊCHE

Laboratoire Modélisation Mésoscopique et Chimie Théorique (LMCT)

Institut de Chimie Séparative de Marcoule ICSM

UMR 5257 /CEA / CNRS / Université de Montpellier / ENSCM

7

Jeudi 28
octobre

16h15

"Modélisations multiéchelles pour la chimie mésoscopique: l'exemple de la chimie séparative"

La chimie séparative présentée dans cette conférence consiste à séparer les différents éléments chimiques pour obtenir des matériaux purs ou destinés au recyclage. Elle met en œuvre des techniques comme l'extraction liquide-liquide ou la flottation qui utilisent des états de la matière complexes (microémulsions, états colloïdaux, mousses). Ceux-ci sont structurés à l'échelle intermédiaire (mésoscopique) et cette complexité particulière jouent un rôle fondamental pour le processus de séparation.

Nous montrerons comment les méthodes modernes de modélisation peuvent traiter ces systèmes de façon cohérente, à la fois pour les propriétés d'équilibre et pour celles de transport. D'un point de vue moléculaire, par une suite de moyennes et approximations on peut décrire ces fluides complexes de façon cohérente aux différentes échelles impliquées. Le rôle des outils numériques et des principes physiques sera particulièrement souligné. Nous montrerons comment ces nouveaux systèmes révolutionnent les approches macroscopiques thermodynamiques utilisées jusqu'à présent....

"Multiscale modelling for mesoscopic chemistry: the example of separation chemistry"

Separation chemistry presented in this conference consists of separating the different chemical elements to obtain pure materials or for recycling. It implements techniques such as liquid-liquid extraction or flotation that use complex material states (microemulsions, colloidal states, foams). These are structured at the intermediate (mesoscopic) scale and this particular complexity plays a fundamental role in the separation process.

We will show how modern modelling methods can treat these systems consistently, both for equilibrium and for transport properties. From a molecular point of view, by successive average and approximations, these complex fluids can be described in a coherent way at the different involved scales. The role of numerical tools and physical principles will be particularly emphasized. We will show how these new systems are revolutionizing the macroscopic thermodynamical approaches used so far.





Vincent HAKIM

Équipe "Biophysique et neuroscience théoriques"
Laboratoire de Physique de l'École Normale Supérieure (LPENS) & CNRS

10

vendredi
29 octobre
11h15

"Énigmes concernant la mémoire à long-terme et l'apprentissage"

Les synapses sont des structures biologiques importantes servant à la transmission de l'information entre les neurones et on pense qu'elles sont les sites de l'apprentissage et de la mémorisation. Néanmoins subsiste l'énigme de savoir comment la mémoire persiste pendant des années alors que le cycle des composants synaptiques se déroule à l'échelle horaire. De même, lors de l'apprentissage d'une tâche complexe, en général, la réaction semble le plus souvent globale et pauvre en information. On a alors du mal à expliquer comment les forces de nombreuses synapses différentes peuvent s'ajuster correctement, ce qu'on appelle en anglais le "*credit-assignment problem*" ("problème d'attribution de la compétence"). Après un rappel de quelques éléments de biophysique synaptique et de découvertes expérimentales significatives, je vais discuter de nos travaux récents en collaboration avec les équipes d'A. TRILLER et B. BARBOUR à l'IBENS en vue de la résolution de ces deux énigmes..

"Puzzles about long-term memory and learning"

Synapses are important biological structures that serve to transmit information between neurons and are thought to be the sites of learning and memory. Yet, it remains enigmatic how memory can be retained for years while synaptic components turnover over the course of hours. Similarly, when learning a complex task, the received feedback seems most often global and poorly informative. It is then quite unclear how the strengths of numerous different synapses can be properly adjusted, the so-called « *credit-assignment problem* ». After recalling some elements of synapse biophysics and relevant experimental findings, I will discuss our recent work in collaboration with the teams of A. Triller and B. Barbour at IBENS, aiming at addressing these two puzzles.



11

vendredi
29 octobre
13h45

Mathieu COPPEY

Chef d'équipe Imagerie et contrôle de l'organisation cellulaire (LOCCO)
UMR168 – Laboratoire Physico-Chimie Institut CURIE

"Organisation spatiale et temporelle à l'échelle mésoscopique d'une protéine de signalisation cellulaire"

La description et la compréhension des états de la matière à l'échelle mésoscopique dans les systèmes biologiques représentent un des grands enjeux de la biophysique actuelle pour deux principales raisons. Du point de vue fondamental, cette échelle est celle de la transition entre le chaos moléculaire -les molécules soumises à l'agitation thermique effectuent des processus aléatoires- et les premières structures organisées -les molécules forment des assemblages robustes dont la fonction est déterministe-. Du point technique, cette échelle est longtemps restée inaccessible à l'observation, la microscopie optique étant intrinsèquement limitée à une résolution de l'ordre de 200 nanomètres. Après avoir introduit l'échelle mésoscopique en biologie cellulaire, j'illustrerai cet enjeu en présentant nos résultats obtenus sur une protéine de signalisation, la protéine Rac1. La signalisation cellulaire consiste en des cascades de réactions biochimiques qui permettent à la cellule de se réguler, de sentir son environnement et d'agir en conséquence. En utilisant des techniques de molécule unique pour la microscopie de super-résolution et des techniques d'optogénétique, nous avons pu montrer que la protéine Rac1 forme des agrégats nanoscopique de composition hétérogène. La distribution asymétrique de ces agrégats en gradients subcellulaire contrôle les processus cellulaires tels que la migration. Le concept qui émerge de ces résultats ainsi que ceux de la communauté, est que les objets moléculaires en biologie s'organisent et interagissent collectivement. L'idée d'interaction stéréospécifique, ou plus communément « clef-serrure » doit être étendue à une nouvelle physique qui intègrent les effets collectifs reposant sur des interactions multivalentes de basses affinités.

" Spatial and temporal organization at the mesoscopic scale of a cellular signaling protein"

The description and understanding of the states of matter at the mesoscopic scale in biological systems is one of the major challenge of current biophysics for two main reasons. From the fundamental point of view, it is the scale of the transition between molecular chaos - molecules subjected to thermal agitation perform random processes- and the first organized structures -molecules form robust assemblies whose function are deterministic-. From the technical point of view, this scale has long remained inaccessible to observation; optical microscopy being intrinsically limited to a resolution of the order of 200 nanometers. After introducing the mesoscopic scale in cell biology, I will illustrate this challenge by presenting our results obtained on a signaling protein, the Rac1 protein. Cellular signaling pathways consists of cascades of biochemical reactions that allow the cell to regulate itself, feel its environment and act accordingly. Using single molecule techniques for super-resolution microscopy and optogenetic techniques, we have shown that the Rac1 protein forms nanoscopic aggregates of heterogeneous composition. The asymmetric distribution of these aggregates into subcellular gradients controls cellular processes such as migration. The concept that emerges from these results as well as those of the community is that molecular objects in biology are organized and interact collectively. The idea of stereospecific interaction, or more commonly "key-lock", must be extended to a new physics that integrates collective effects based on multivalent interactions of low affinities.



12

vendredi
29 octobre
14h45

Olivier HAMANT

Laboratoire de Reproduction et développement des plantes
École Normale Supérieure (ENS) de Lyon

"Des systèmes et matériaux (ré)actifs chez les plantes"

Les systèmes vivants sont aussi des objets physiques. Contrairement aux animaux en développement, constitués de cellules mécaniquement souples et contractiles, les tissus des plantes en croissance sont très rigides et fortement pressurisés. L'immobilité résultante des plantes pourrait faire croire à une absence de réaction des constituants cellulaires végétaux aux contraintes mécaniques. Des résultats obtenus ces dernières années démontrent au contraire le caractère très réactif des plantes, et des matériaux les constituant, à toutes les échelles. Dans ce séminaire, l'exemple de la dynamique de la synthèse de cellulose nous permettra de mettre en évidence le rôle des forces dans la morphogenèse des plantes.

" Active systems and materials in plants "

Living systems are physical objects. Unlike developing animals, that are made up of mechanically soft and contractile cells, growing plant tissues are very rigid and highly pressurized. The resulting immobility of plants could lead one to believe that they do not react to mechanical stresses. Results obtained in recent years demonstrate, on the contrary, the very reactive nature of plants, and of the materials constituting them, at all scales. In this seminar, we will focus on the dynamics of cellulose synthesis to highlight the role of forces in plant morphogenesis.