



Création d'une chaire *Matière molle et biophysique* au Collège de France

Jean-François JOANNY en a été nommé professeur titulaire.

Il prononcera sa leçon inaugurale

le jeudi 14 février 2019, à 18h00.

Jean-François JOANNY, chercheur à l'Institut Curie et ancien directeur de l'ESPCI (Ecole supérieure de physique et de chimie industrielle de la ville de Paris), a consacré la majeure partie de sa carrière à l'étude de la matière molle.

Le terme de matière molle désigne **toutes les formes intermédiaires de la matière, entre les états solide et liquide**, qui comprennent aussi bien les **cristaux liquides** et les **polymères** que les **structures colloïdales**. **Parce qu'ils sont sensibles à la moindre perturbation, leur physique est singulière.**

Ce domaine, où la recherche française excelle, doit beaucoup à une **école française fondée par Pierre-Gilles DE GENNES** qui occupa la chaire de Physique de la matière condensée au Collège de France pendant une trentaine d'années (1971-2004). C'est dans son laboratoire que **Jean-François JOANNY** effectua son doctorat.

L'étude de la matière molle se fonde sur des lois très générales permettant de décrire un phénomène simultanément à **plusieurs échelles** et de dégager les **propriétés universelles des systèmes**, dans un **cadre de travail très interdisciplinaire**, associant la physique, la chimie et la biologie. **Jean-François JOANNY**, qui est avant tout un théoricien, en est aujourd'hui l'un des meilleurs spécialistes. L'approche originale qu'il a développée procède par **analogies**, appliquant une **démarche fondée sur la curiosité et sur l'observation** aussi rigoureuse que précise de la Nature.

Après avoir exercé à UCLA, à l'ENS Lyon, à l'Institut Charles Sadron (Université de Strasbourg), il a rejoint en 2003 l'Université Pierre et Marie Curie (aujourd'hui Sorbonne Université) et le Laboratoire Physico-Chimie Curie (UMR168) qu'il a dirigé jusqu'en 2012 et où il a œuvré à **transposer**, notamment au sein de l'équipe « Approches physiques de problématiques biologiques », **les concepts de la physique théorique de la matière molle à la biologie des cellules**.

Biophysique

Jouant avec les échelles, la physique de la matière molle apporte plusieurs idées nouvelles pour faire progresser notre compréhension des systèmes physiques complexes. Ainsi pour décrire des propriétés collectives, une étude à une échelle mésoscopique, plus grande que celle des constituants du fluide, est souvent pertinente. **Comment dans ce cadre définir des propriétés génériques dépendant peu des paramètres microscopiques ?**

Cette approche de la matière molle, qui convoque largement la physique statistique, les lois de l'hydrodynamique et de la thermodynamique, s'applique pleinement aux systèmes biologiques. Comment s'attache-t-elle à améliorer notre compréhension du **transport intracellulaire, de la division cellulaire, de la motilité cellulaire, de l'adhésion des cellules, de certaines questions de la biologie du développement ou du cancer, ou encore de la mécano-sensibilité des cellules ciliées de l'oreille interne ?** Voici quelques-unes des questions auxquelles **Jean-François JOANNY** tentera d'apporter des réponses dans les cours qu'il dispensera au Collège de France.

« Les systèmes biologiques ne sont pas en général des systèmes thermodynamiques parce qu'ils consomment de l'énergie. La physique à l'échelle de la cellule relève principalement de la physique statistique hors-équilibre. Nous avons donc été amenés à introduire plusieurs concepts nouveaux comme la matière active, que nous avons décrite par une théorie hydrodynamique généralisée, les transitions de phase hors-équilibre, les théories stochastiques pour étudier les moteurs moléculaires ou la pression homéostatique des tissus. »

Matière molle et biophysique

Par Jean-François JOANNY

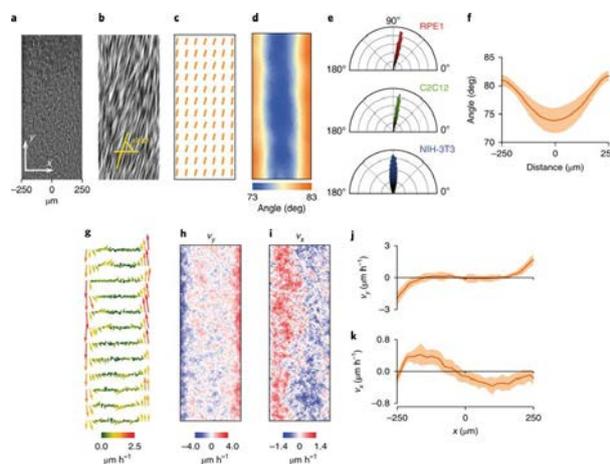
La physique de la matière molle étudie les fluides complexes dont le comportement est intermédiaire entre liquide et solide. Un **polymère fondu** est élastique comme un solide juste après une déformation mais consécutivement à un temps de relaxation visco-élastique qui peut atteindre quelques secondes voire quelques heures, il coule comme un liquide. Un **crystal liquide** est un fluide mais les molécules qui sont de forme allongée s'alignent entre elles à basse température dans une **phase nématique** qui est caractérisée par son ordre orientationnel. Cela leur confère des propriétés optiques spectaculaires qui sont utilisées dans les dispositifs d'affichage. **Tous ces systèmes très complexes du point de vue chimique ont pendant longtemps été considérés comme trop difficiles à décrire par le physicien et ont été laissés à l'attention des chimistes.**

Depuis une quarantaine d'années, et notamment **sous l'impulsion de Pierre-Gilles de Gennes** au Collège de France, une approche physique originale a été développée pour décrire ces objets mous qui fait bien ressortir des **propriétés génériques**, par exemple une **très grande susceptibilité** qui conduit à des changements de propriétés importants en réponse à des perturbations faibles. Les propriétés à l'équilibre thermodynamique ou au voisinage de l'équilibre thermodynamique de la matière molle sont maintenant souvent bien comprises et **les grands défis portent sur les systèmes fortement hors-équilibre qui consomment de l'énergie, pour lesquels la motivation vient des applications industrielles ou du comportement des objets biologiques.**

Les physiciens se sont depuis très longtemps intéressés à la biologie en étudiant la structure des objets biologiques, en apportant des techniques expérimentales nouvelles, en considérant les systèmes biologiques comme des systèmes dynamiques, ou en étudiant le transfert d'information. **La plupart des objets biologiques, les cellules, les tissus, les colonies de bactéries sont des objets mous. La physique de la matière molle hors-équilibre apporte un angle nouveau sur l'étude des objets biologiques, très complémentaire de la biologie.** C'est cette approche qui a guidé mes recherches au cours de ces dernières années et que je voudrais enseigner pendant mes cours au Collège de France.

Un concept qui s'est avéré très utile pour décrire les objets biologiques est celui de **matière active**. Dans un système actif, chaque composant individuel consomme de l'énergie, comme par exemple les cellules dans un tissu. Une **description hydrodynamique des systèmes actifs** a permis de faire émerger un certain nombre de propriétés génériques comme **l'existence de transitions de phase dynamiques** ou l'apparition de mouvements collectifs. La matière active fera l'objet de mon premier cours au Collège de France. Le cours introduira la **théorie hydrodynamique de la matière active** en utilisant comme exemples à la fois des phénomènes biologiques et des systèmes biomimétiques ou synthétiques qui ont l'avantage que tous les paramètres physiques sont connus et contrôlés et que la théorie peut être testée plus en détail.

Ma recherche actuelle, utilise cette approche de matière active pour **étudier des phénomènes biologiques à différentes échelles**. A l'échelle moléculaire, j'étudie le **comportement collectif de moteurs moléculaires** et leur interaction avec les filaments du **cytosquelette**. A l'échelle cellulaire, j'étudie les processus cellulaires fondamentaux comme la **division cellulaire, l'adhésion, la motilité cellulaire**. Enfin à l'échelle du tissu, j'étudie le **comportement collectif et le couplage entre mécanique et croissance du tissu**, en relation avec la biologie du développement ou le cancer. Mes cours dans les prochaines années présenteront les approches physiques de ces phénomènes biologiques.



Des cellules de l'épithélium pigmentaire rétinien (RPE1) confinées s'alignent selon un certain angle d'inclinaison et manifestent un flux de cisaillement (illustration tirée de *Duclos et al. Nature Physics, 2018*).



Biographie



Jean-François JOANNY a commencé sa carrière au CNRS où il a occupé un poste de chargé de recherche au sein du Laboratoire de Physique de la matière condensée du Collège de France à Paris, puis à Lyon. Il a été nommé professeur de physique à l'**Université Louis Pasteur à Strasbourg** en 1989, puis professeur à l'**Université Pierre et Marie Curie (UPMC)** en 2003. Physicien, c'est avant tout un théoricien qui a travaillé sur divers aspects de la physique de la matière molle, puis de la physique pour la biologie.

Entre 2014 et 2018, il a été directeur général de la prestigieuse **École Supérieure de Physique et Chimie Industrielles de la ville de Paris (ESPCI)**, où il a également enseigné.

A son arrivée à Paris à l'UPMC, il est devenu directeur du **laboratoire de physique de l'Institut Curie**, fonction qu'il a occupé jusqu'en 2012. Ses activités de recherche portent depuis sur la **biophysique de la cellule** et les **processus cellulaires fondamentaux, la mécanique et la croissance des tissus et la physique du cancer** en décrivant ces phénomènes biologiques à partir du **concept de matière active**.

Ses travaux font l'objet de **285 publications** dans des journaux internationaux.

Jean-François JOANNY a reçu plusieurs distinctions : médailles d'argent et de bronze du CNRS ou prix Ampère de l'Académie des sciences. Il a été membre junior et sénior de l'IUF.

Biographie exhaustive et CV : <https://www.college-de-france.fr/site/jean-francois-joanny/Biographie.htm>

Principales distinctions scientifiques :

- 1985 : Médaille de bronze du CNRS 1985
- 1986 : Prix du Groupe Français des Polymères, partagé avec Ludwik Leibler
- 1991-1996 : Membre Junior de l'Institut Universitaire de France
- 1993 : Prix Langevin (Physique théorique) de la Société Française de Physique
- 2006-2016 : Membre Senior de l'Institut Universitaire de France
- 2007 : Grand Prix Del Duca de l'Institut de France (partagé avec J. Prost)
- 2008 : Médaille d'argent du CNRS
- 2012 : Prix Gentner Kastler des sociétés allemande et française de Physique
- 2017 : Prix Ampère de l'Académie des sciences

Recherche et activités scientifiques :

- **passé** : solutions de polymères, adsorption de polymères, copolymères, polyélectrolytes, gels polymères, suspensions colloïdales, mousses et émulsions, liquides aux interfaces, films minces de liquides, mouillage et capillarité, étalement, monocouches de Langmuir, membranes, films de savon.

- **présent et futur** : motilité cellulaire, membranes hors-équilibre pour la biologie, auto-organisation et moteurs moléculaires, cytosquelette, adhésion cellulaire, oscillations cellulaires, enzymes de restriction, cytokinèse, croissance de tissus et propriétés mécaniques, physique statistique de la matière active.

Sélection de publications scientifiques de Jean-François JOANNY :

Biophysique et matière active

- Hydrodynamics of soft active matter** - MC Marchetti, JF Joanny, S Ramaswamy, TB Liverpool, J Prost, M Rao, ...
Reviews of Modern Physics 85 (3), 2013
- Active behavior of the cytoskeleton** - F Juelicher, K Kruse, J Prost, JF Joanny
Physics Reports 449 (1-3), 3-28, 2007
- Role of cortical tension in bleb growth** - JY Tinevez, U Schulze, G Salbreux, J Roensch, JF Joanny, E Paluch
Proceedings of the National Academy of Sciences 106 (44), 18581-18586, 2009
- Curvature-driven lipid sorting needs proximity to a demixing point and is aided by proteins** - B Sorre, A Callan-Jones, JB Manneville, P Nassoy, JF Joanny, J Prost, ...
Proceedings of the National Academy of Sciences 106 (14), 5622-5626, 2009
- Generic theory of active polar gels: a paradigm for cytoskeletal dynamics** - K Kruse, JF Joanny, F Jülicher, J Prost, K Sekimoto
The European Physical Journal E 16 (1), 5-16, 2005
- Asters, vortices, and rotating spirals in active gels of polar filaments** - K Kruse, JF Joanny, F Jülicher, J Prost, K Sekimoto
Physical review letters 92 (7), 078101, 2004

Mouillage et étalement des fluides

- Liquid spreading** - L Leger, JF Joanny
Reports on Progress in Physics 55 (4), 1992
- Fingering instabilities of driven spreading films** - SM Troian, E Herbolzheimer, SA Safran, JF Joanny
EPL (Europhysics Letters) 10 (1), 25, 1989
- A model for contact angle hysteresis** - JF Joanny, PG De Gennes
The journal of chemical physics 81 (1), 552-562, 1984

Polymères et physique de la matière condensée

- Fast DNA translocation through a solid-state nanopore** - AJ Storm, C Storm, J Chen, H Zandbergen, JF Joanny, C Dekker
Nano letters 5 (7), 1193-1197, 2005
- Complexation between a semiflexible polyelectrolyte and an oppositely charged sphere** - RR Netz, JF Joanny
Macromolecules 32 (26), 9026-9040, 1999
- Adsorption of semiflexible polyelectrolytes on charged planar surfaces: charge compensation, charge reversal, and multilayer formation** - RR Netz, JF Joanny
Macromolecules 32 (26), 9013-9025, 1999
- Theory of polyelectrolyte solutions** - JL Barrat, JF Joanny
Advances in Chemical Physics: Polymeric Systems 94, 1-66, 1996
- Associating polymers: equilibrium and linear viscoelasticity** - AN Semenov, JF Joanny, AR Khokhlov
Macromolecules 28 (4), 1066-1075, 1995
- Persistence length of polyelectrolyte chains** - JL Barrat, JF Joanny
EPL (Europhysics Letters) 24 (5), 333, 1993
- Theory of polyampholyte solutions** - PG Higgs, JF Joanny
The Journal of chemical physics 94 (2), 1543-1554, 1991
- Adsorption of block copolymers in selective solvents** - C Marques, JF Joanny, L Leibler
Macromolecules 21 (4), 1051-1059, 1988
- Phase transitions in Langmuir monolayers of polar molecules** - D Andelman, F Broçhard, JF Joanny
The Journal of chemical physics 86 (6), 3673-3681, 1987
- Effects of polymer solutions on colloid stability** - JF Joanny, L Leibler, PG De Gennes
Journal of Polymer Science: Polymer Physics Edition 17 (6), 1073-1084, 1979

Enseignement du Professeur Jean-François JOANNY au Collège de France

Cours 2018-2019 : Matière active

Les cours auront lieu le lundi de 15h30 à 17h00, à partir du 18 février 2019 et jusqu'au 25 mars 2019. Chaque cours sera suivi d'un séminaire associant une personnalité de la discipline. Cours et séminaires sont ouverts à tous sans condition d'inscription préalable.

Le premier cours de la chaire *Matière molle et biophysique* sera consacré à la **matière active**. Un système actif est un **système hors-équilibre thermodynamique** dont l'énergie est consommée à l'échelle locale de chacun de ses constituants.

La première partie du cours discutera de **méthodes théoriques** pour identifier l'activité et présentera quelques systèmes actifs biologiques ou synthétiques.

La deuxième partie du cours montrera comment on peut construire de manière systématique, en utilisant les lois de conservation et les symétries, une **théorie hydrodynamique des gels actifs**. Il abordera de manière qualitative, à partir de cette théorie, quelques résultats expérimentaux.

La troisième partie du cours sera consacrée à deux propriétés très générales de la matière active, à savoir **l'apparition d'écoulements spontanés ou de mouvements collectifs et les transitions de phase hors-équilibre** de la matière active.

Calendrier des cours :

- 18 février 2019 : **Matière hors-équilibre**
- 25 février 2019 : **Introduction à la matière active**
- 4 mars 2019 : **Matière active sur un substrat solide**
- 11 mars 2019 : **Théorie des gels actifs**
- 18 mars 2019 : **Écoulements spontanés de la matière active**
- 25 mars 2019 : **Transition de phase dans la matière active**

Informations pratiques pour les auditeurs (agenda des cours et des séminaires) :

<https://www.college-de-france.fr/site/jean-francois-joanny/course-2018-2019.htm>

Les enseignements de **Jean-François JOANNY** sont ouverts à tous, accessibles gratuitement et sans inscription, dans la limite des places disponibles. Ils seront également diffusés sous forme de vidéos sur le site internet du Collège de France : www.college-de-france.fr.