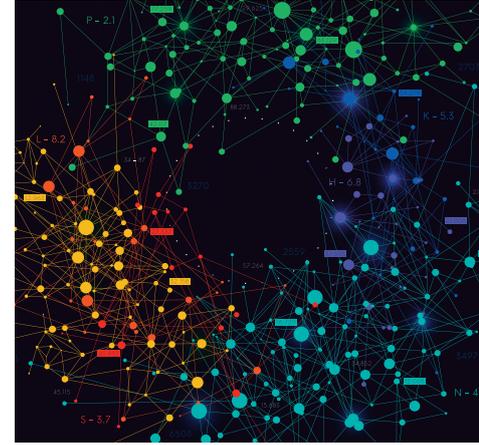




INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

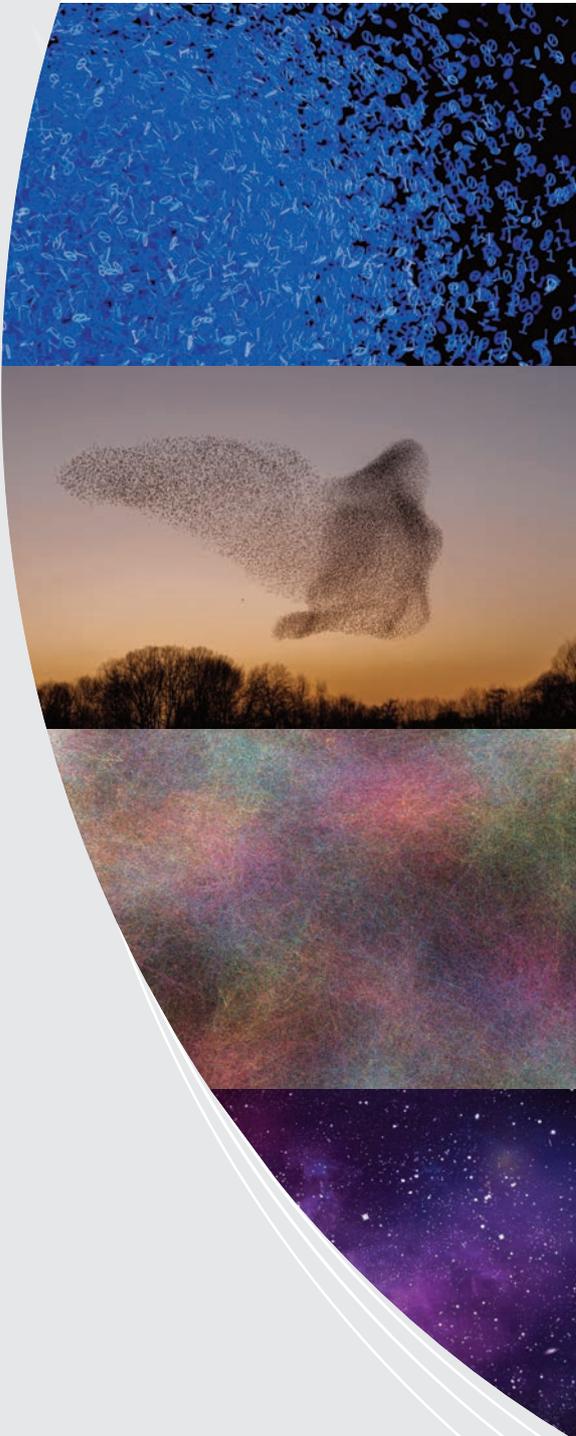


Systemes complexes autour de Giorgio Parisi

Mardi 11 octobre 2022 de 14h30 à 17h30
Grande salle des séances
de l'Institut de France
23, quai de Conti, 75006 Paris

Le 5 octobre 2021, le prix Nobel de Physique a été attribué à Giorgio Parisi « pour sa découverte de l'interaction entre désordre et fluctuations dans les systèmes physiques, de l'échelle atomique à l'échelle planétaire ». Les travaux de Giorgio Parisi couvrent un très large spectre de la physique contemporaine, avec pour dénominateur commun le développement de modèles et d'outils pour l'étude de systèmes désordonnés et la découverte de motifs cachés derrière un désordre apparent. Comme souligné par la fondation Nobel, « ses découvertes comptent parmi les plus importantes contributions à la théorie des systèmes complexes, permettant de comprendre et de décrire de nombreux matériaux et phénomènes apparemment totalement aléatoires ». Les approches théoriques qu'il a développées portent sur des domaines aussi variés que la matière condensée, la physique des particules, la finance, les neurosciences, l'apprentissage automatique, ou encore les mouvements collectifs de colonies d'oiseaux.

L'objet de cette conférence-débat est de présenter, jusque dans leurs développements les plus récents, quelques-uns des multiples aspects de l'activité scientifique de Giorgio Parisi, membre associé étranger de l'Académie des sciences.



P rogramme

- 14h30 Ouverture de la séance**
Patrick FLANDRIN, président de l'Académie des sciences
Étienne GHYS, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
Antoine TRILLER, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
- 14h35 Introduction et présentation**
Édouard BRÉZIN, membre de l'Académie des sciences
- 14h50 Équilibres multiples**
Giorgio PARISI, *Accademia nazionale dei Lincei*, membre associé étranger de l'Académie des sciences
- 15h35 Une promenade des verres de spins à l'apprentissage automatique**
Lenka ZDEBOROVA, EPFL, Lausanne
- 16h00 Verres de spin et rationalité limitée**
Jean-Philippe BOUCHAUD, Capital Fund Management, membre de l'Académie des sciences
- 16h25 Le chemin stochastique**
Leticia F. CUGLIANDOLO, LPTHE, Paris
- 16h50 Désordre et frustration... et au-delà !**
Marc MÉZARD, Université Bocconi, Milan
- 17h15 Conclusion**

Résumés et biographies



Giorgio PARISI

Accademia nazionale dei Lincei, membre associé étranger de l'Académie des sciences

Giorgio Parisi a obtenu sa maîtrise en physique en 1979 sous la direction de Nicola Cabibbo. Il est professeur de physique théorique à l'Université de Rome depuis 1981. Il a reçu la médaille Boltzmann, la médaille Max Planck, le prix Nonino, le prix Wolf et le prix Nobel. Il a été président de l'*Accademia dei Lincei* et en est maintenant le vice-président.

Il a travaillé principalement en physique théorique, abordant des sujets aussi divers que la physique des particules, la mécanique statistique, la dynamique des fluides, la matière condensée, les constructions d'ordinateurs scientifiques, la théorie de l'optimisation. Il a également écrit des articles sur les réseaux neuronaux, le système immunitaire et le mouvement des groupes d'animaux.

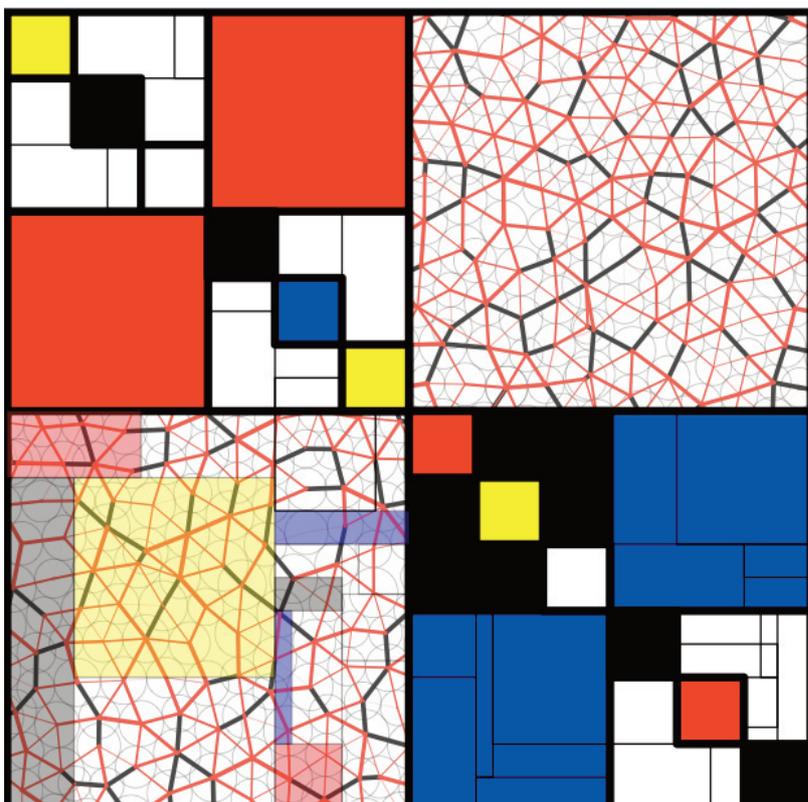
Équilibres multiples

Les équilibres multiples sont apparus dans de nombreuses sciences différentes vers 1970 dans la théorie évolutionniste des équilibres ponctués, dans la théorie moderne de la mémoire dans le cerveau, dans les écosystèmes, dans le climat. Des idées similaires ont été avancées en comprenant la physique des verres.

Dans les années 80, on s'est rendu compte que les équilibres multiples étaient à la base de la théorie des verres de spin fondée sur une symétrie de réplique spontanément brisée. De cette manière, le premier exemple mathématique soluble d'un système avec de nombreux états d'équilibre.

En 1988, le prix Nobel P.W. Anderson a écrit : "le résultat clé ici est la belle révélation de la structure du "paysage accidenté" aléatoire qui sous-tend de nombreux problèmes d'optimisation complexes. (...) Les verres spin physique et le modèle SK ne sont qu'un point de départ pour une étonnante conucopia d'abondance d'applications très variées du même type de réflexion.

Anderson avait raison : il y a eu de nombreux développements de la théorie des verres de spin tant en physique que dans d'autres sciences. Je ne ferai que passer brièvement en revue ces progrès qui, dans certains cas, seront discutés plus en profondeur par les autres intervenants.





Lenka ZDEBOROVA

EPFL, Lausanne

Lenka Zdeborová est professeure de physique et d'informatique à l'École polytechnique fédérale de Lausanne. Elle a obtenu un doctorat en physique de l'Université Paris-Sud et de l'Université Charles de Prague en 2008. Entre 2010 et 2020, elle a été chercheuse au CNRS à l'Institut de physique théorique du CEA Saclay. Elle a reçu la médaille de bronze du CNRS, le prix Philippe Meyer de physique théorique, le prix Irène Joliot-Curie, ou la chaire Gibbs de l'AMS. Son expertise réside dans les applications de la physique statistique aux problèmes d'apprentissage automatique, d'inférence et d'optimisation.

Une promenade des verres de spins à l'apprentissage automatique

Je présenterai l'un des principaux objets d'études de Giorgio Parisi - les verres de spins - comme une sorte de jeu de cartes simple. Ce jeu de cartes est un exemple d'une grande classe de problèmes de calcul où un signal doit être récupéré à partir de mesures indirectes. Des problèmes similaires apparaissent dans un large éventail d'applications et c'est l'une des raisons pour lesquelles le travail de Parisi a une si grande influence. Je décrirai comment ces problèmes sont liés à la révolution actuelle de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique et comment les méthodes développées par Giorgio Parisi nous aident à comprendre le comportement complexe de ces problèmes.

références bibliographiques

Statistical physics of inference: Thresholds and algorithms, L Zdeborová, F Krzakala, *Advances in Physics* 65 (5), 453-552.

Asymptotic analysis of the stochastic block model for modular networks and its algorithmic applications, A Decelle, F Krzakala, C Moore, L Zdeborová, *Physical Review E* 84 (6), 066106.

Statistical-physics-based reconstruction in compressed sensing, F Krzakala, M Mézard, F Sausset, YF Sun, L Zdeborová, *Physical Review X* 2 (2), 021005



Jean-Philippe BOUCHAUD

Capital Fund Management, membre de l'Académie des sciences

Après avoir porté sur la physique des systèmes désordonnés (diffusion anormale, dynamique vitreuse), les recherches de Jean-Philippe Bouchaud se sont orientées au cours des 25 dernières années vers la modélisation des systèmes économiques et des marchés financiers, en particulier l'émergence d'effets collectifs dans ces systèmes, et la nécessité de dépasser le cadre traditionnel d'agents économiques isolés, hyper-rationnels, qui optimisent leur « fonction d'utilité ».



Verres de spin et rationalité limitée

Les « verres de spin » constituent un archétype de système « complexe », c'est-à-dire caractérisé par un très grand nombre d'états d'équilibre, tous extrêmement fragiles et instables par rapport à de petites perturbations extérieures. Il est très tentant d'élargir son champ d'application à l'économie, où les agents sont confrontés à des problèmes d'optimisation si complexes qu'ils sont incapables de les résoudre, se rabattant sur des solutions satisfaisantes mais sous-optimales. Dans ces situations, il est impossible d'utiliser les arguments classiques de rationalité des agents économiques pour décrire les choix individuels et leur conséquences collectives. Nous proposerons une brève revue des idées récentes qui ont émergé de l'étude des verres de spin, à laquelle Giorgio Parisi a tant contribué, et de leurs applications à des problèmes socio-économiques modèles.

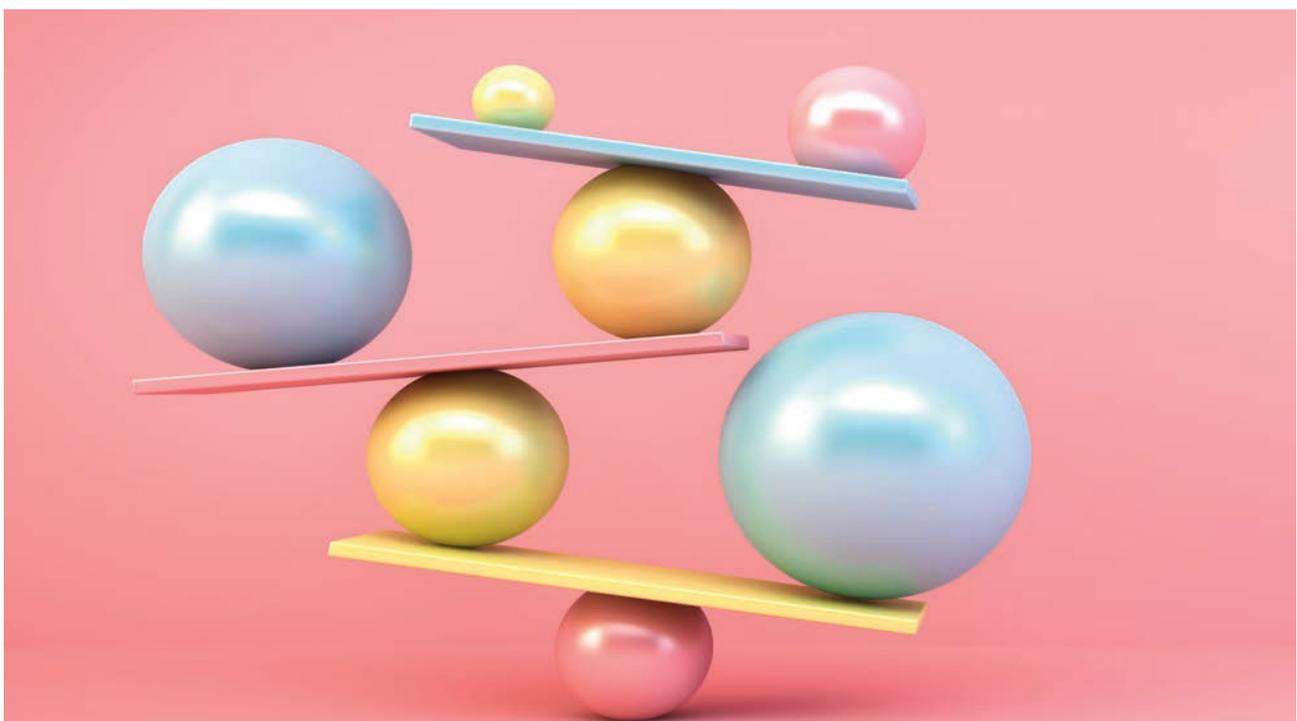
références bibliographiques

Galluccio, S., Bouchaud, J. P., & Potters, M. (1998). "Rational decisions, random matrices and spin glasses". *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 259(3-4), 449-456.

Parisi, G. (2007). *Physics Complexity and Biology*. *Advances in Complex Systems*, 10(supp02), 223-232.

Galla, T., & Farmer, J. D. (2013). *Complex dynamics in learning complicated games*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(4), 1232-1236.

Garnier-Brun, J., Benzaquen, M., Ciliberti, S., & Bouchaud, J. P. (2021). « A new spin on optimal portfolios and ecological equilibria ». *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2021(9), 093408; and "Unlearnable Spin-Glass Games", in preparation.





Leticia F. CUGLIANDOLO

LPTHE, Paris

Leticia F. Cugliandolo enseigne et dirige ses recherches au Laboratoire de physique théorique et hautes énergies (LPTHE) à Sorbonne Université. Elle a été directrice de l'Ecole de physique des Houches (2007-2017) et elle est membre senior de l'Institut Universitaire de France depuis octobre 2014. Ses recherches portent sur la dynamique hors équilibre des systèmes complexes, classiques et quantiques. Elle a dirigé dix thèses doctorales en France et co-dirigé plusieurs autres en Argentine, Italie et aux Etats-Unis. Sa liste de publications compte presque 200 articles et elle a édité 23 ouvrages de la collection des Houches.

Le chemin stochastique

Parmi les innombrables développements théoriques marquants effectués par Giorgio Parisi, plusieurs concernent les processus stochastiques. Je décrirai brièvement quelques-uns d'entre eux, construisant un chemin qui mène de la méthode de quantification stochastique à l'étude des vols des oiseaux.

références bibliographiques

G. Parisi and Y.-S. Wu, *Perturbation theory without gauge fixing*, *Sci. Sinica* 24, 483 (1981).

L. F. Cugliandolo, J. Kurchan, and G. Parisi, *Off equilibrium dynamics and aging in unfrustrated systems*, *J. Phys. (France)* 4 1641 (1994).

M. Ballerini, N. Cabibbo, R. Candelier, A. Cavagna, E. Cisbani, I. Giardina, V. Lecomte, A. Orlandi, G. Parisi, A. Procaccini, M. Viale and V. Zdravkovic, *Interaction ruling animal collective behavior depends on topological rather than metric distance: Evidence from a field study*, *Proc. Nat. Ac. Sc.* 105, 1232 (2008).



Marc MÉZARD

Université Bocconi, Milan

Après une thèse d'État soutenue en 1984, Marc Mézard a fait l'essentiel de sa carrière au CNRS. En 2001 il rejoint l'Université Paris-Sud où il dirige le Laboratoire de physique théorique et modèles statistiques. Entre 1987 et 2012 il a aussi été professeur à l'École Polytechnique. De 2012 à 2022 il a dirigé l'École normale supérieure, et en 2022 il est devenu professeur à l'Université Bocconi. Auteur de près de 180 publications et deux livres, il a reçu entre autres la médaille d'argent du CNRS, le prix Ampère de l'Académie des sciences, le prix Gay-Lussac Humboldt et le prix Onsager de l'*American Physical Society*.



Désordre et frustration... et au-delà !

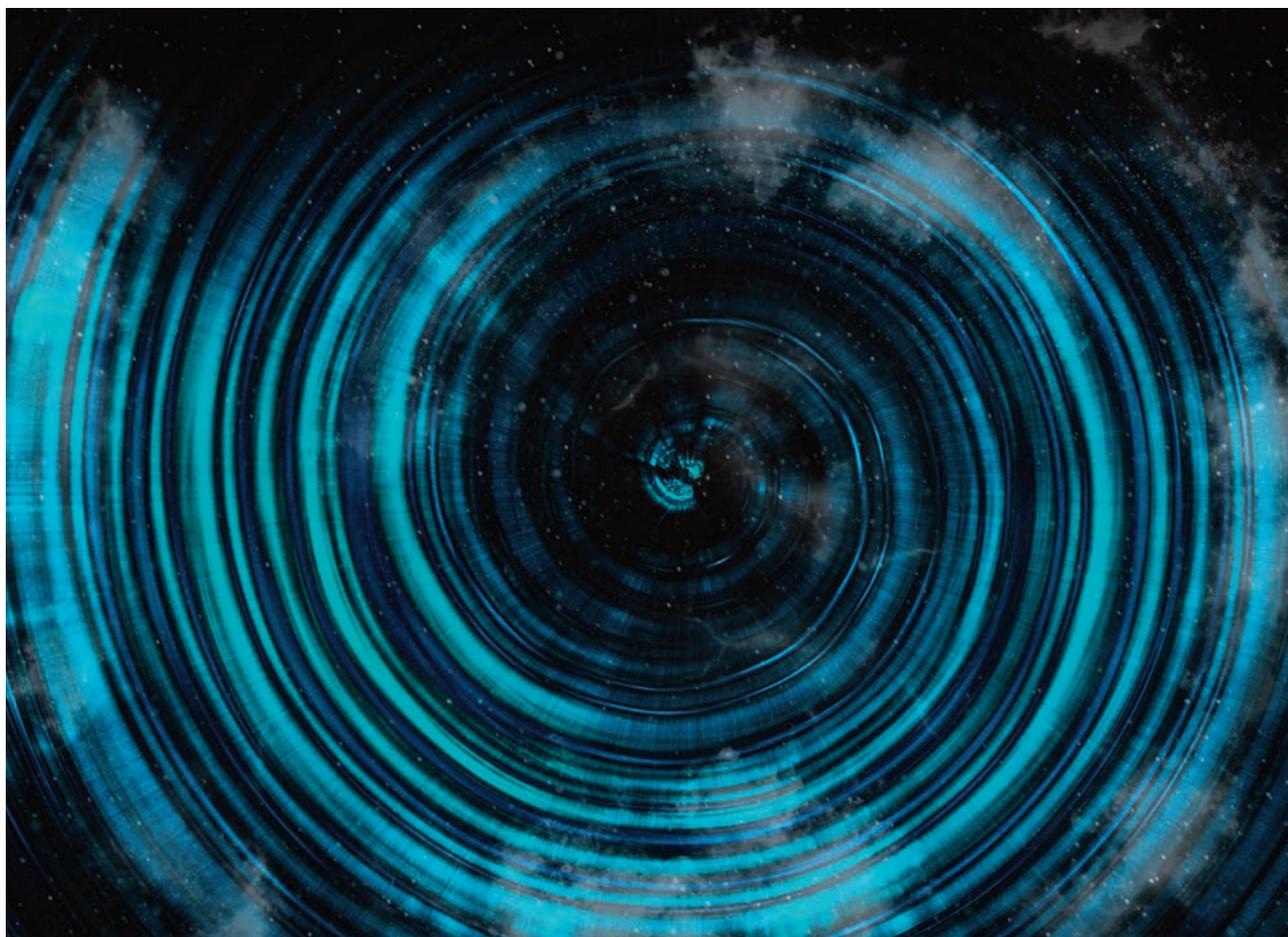
La construction de la théorie des verres de spin a fait émerger une nouvelle branche de la physique statistique, celle des systèmes fortement désordonnés. Pour y parvenir il a fallu surmonter quatre obstacles majeurs : traiter un ensemble statistique d'échantillons, analyser quantitativement le désordre microscopique, explorer des paysages d'énergie très complexes, comprendre leur lien avec la dynamique. Cet exposé montrera quelques étapes de ce processus, et expliquera en quoi cette percée a permis d'ouvrir des voies d'analyse théoriques nouvelles dans de nombreux domaines de la science.

références bibliographiques

Spin glass theory and beyond, M. Mézard, G. Parisi and MA Virasoro, World Scientific 1987

Information, Physics and Computation, M. Mézard and A Montanari, Oxford University Press 2002

Analytic and Algorithmic Solution of Random Satisfiability Problems, M. Mézard, G. Parisi, R. Zecchina, *Science* 297 (2002) 812



Les organisateurs de la conférence-débat



Patrick FLANDRIN

Directeur de recherche à l'École normale supérieure de Lyon, président de l'Académie des sciences

Patrick Flandrin est directeur de recherche CNRS à l'École normale supérieure de Lyon. Les travaux de Patrick Flandrin portent sur la représentation, l'analyse et le traitement des signaux, avec une attention toute particulière pour les situations non stationnaires et multi-échelles. Il a contribué à l'élaboration de méthodes "temps-fréquence" et "temps-échelle" dont les applications multiples concernent aussi bien des phénomènes naturels (allant de la physique au génie biomédical) que des réalisations technologiques (allant de la mécanique au trafic internet).



Nicolas MOËS

Professeur des universités à l'École Centrale de Nantes, membre de l'Académie des sciences

Les travaux de Nicolas Moës portent principalement sur la mécanique de la fissuration, de l'endommagement et du contact. L'approche dite X-FEM qu'il a initiée en 1999 aux États-Unis avec Ted Belytschko et John Dolbow a grandement simplifié la simulation de la propagation de fissures par éléments finis. Plus récemment, avec ses collaborateurs de l'Institut de recherche en génie civil et mécanique à Nantes, il a créé une théorie unifiant mécanique de l'endommagement et mécanique de la rupture, ainsi qu'une approche originale pour le traitement des inéquations variationnelles, comme celles intervenant dans le contact.



Christophe SALOMON

Directeur de recherche à l'École normale supérieure de Paris, membre de l'Académie des sciences

Christophe Salomon est directeur de recherches CNRS émérite au laboratoire Kastler Brossel du département de physique de l'École normale supérieure (Paris). Ses recherches portent sur la superfluidité des gaz quantiques et sur les tests de physique fondamentale à l'aide d'horloges ultra-stables au sol ou dans l'espace (mission PHARAO). Christophe Salomon a reçu plusieurs distinctions importantes, dont le prix Mergier-Bourdeix de l'Académie des sciences en 2000, le prix Louis D. de l'Institut de France en 2012 et deux ERC Advanced Grant de l'Union européenne en 2009 et 2017.