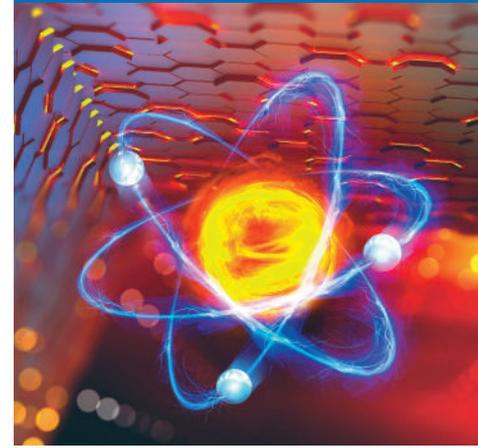




INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



De la physique statistique à l'intelligence artificielle

Mardi 4 juin 2019 de 14h30 à 17h00

Grande salle des séances
de l'Institut de France

23, quai de Conti, 75006 Paris

Les liens entre la physique statistique et l'apprentissage-machine sont apparus dès le début des années 1980 avec les premiers travaux autour des verres de spin et des mémoires associatives.

Ils ont été poursuivis avec un très grand succès depuis, apportant de nouvelles réponses théoriques et des algorithmes novateurs pour « l'échantillonnage parcimonieux » (« *compressed sensing* ») ou les algorithmes de « propagation de croyance » (« *message-passing* »).

Au tournant des années 2010, de nouvelles structures de réseaux de neurones dits « profonds » sont apparus. Les réseaux profonds ont rapidement permis d'atteindre dans différentes tâches difficiles (vision par ordinateur, reconnaissance de parole,...) des performances stupéfiantes.

Ces nouvelles structures d'apprentissage posent de nouveaux défis aux chercheurs : on est aujourd'hui très loin de comprendre les raisons de ces immenses succès.

La conférence-débat cherchera à nous éclairer sur les apports théoriques et méthodologiques de la physique statistique sur l'apprentissage profond.



Les organisateurs de la conférence-débat



Jean-Philippe BOUCHAUD

Physicien, directeur de recherche au *Capital Fund Management*, membre de l'Académie des sciences

Jean-Philippe Bouchaud est à la fois physicien spécialiste de la mécanique statistique et l'un des pionniers de l'éconophysique. Cette discipline applique les concepts de physique statistique à l'analyse des systèmes économiques et des marchés financiers. Il est le président et l'un des fondateurs de la société CFM, un leader mondial de la gestion financière dite « quantitative », c'est-à-dire fondée sur une analyse statistique des marchés. Jean-Philippe Bouchaud a enseigné à l'École supérieure de physique et de chimie industrielles de la ville de Paris (ESPCI) et à l'École Polytechnique et enseigne maintenant à l'École normale supérieure (ENS). Il a reçu la médaille d'argent du CNRS en 1996 et le prix *Quantitative analyst of the year* du magazine *Risk* en 2017.



Éric MOULINES

Statisticien, professeur à l'École Polytechnique, membre de l'Académie des sciences

Eric Moulines conçoit et analyse des méthodes numériques de simulation et d'optimisation de modèles statistiques, avec des applications dans le domaine du traitement du signal et des sciences des données. Il a contribué au développement de toute une école du traitement statistique du signal en France. Ses centres d'intérêt vont de la théorie et des méthodes aux applications industrielles. Il a reçu en 2010 la médaille d'argent du CNRS et en 2011 le Grand prix France-Télécom de l'Académie des sciences. Il est professeur au Centre de mathématiques appliquées de l'École Polytechnique depuis 2015.

P rogramme

- 14:30** **Ouverture de la séance**
Pierre CORVOL, médecin et scientifique, président de l'Académie des sciences
Étienne GHYS, mathématicien, secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
Éric MOULINES, statisticien, professeur à l'École Polytechnique, membre de l'Académie des sciences
- 14:40** **Inférence statistique et transitions de phases**
Marc MÉZARD, physicien, directeur de l'École normale supérieure
- 15:00** Discussion
- 15:10** **Modélisation physique de l'apprentissage statistique**
Lenka ZDEBOROVÁ, physicienne, chercheuse à l'Institut de Physique Théorique, CNRS et Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA Saclay)
- 15:30** Discussion
- 15:40** **Théorie des matrices aléatoires et intelligence artificielle**
Romain COUILLET, physicien, professeur à CentraleSupélec, université Paris Saclay
- 16:00** Discussion
- 16:10** **Réseaux de neurones profonds et physique statistique multiéchelle**
Stéphane MALLAT, mathématicien, professeur au Collège de France, membre de l'Académie des sciences
- 16:30** Discussion
- 16:40** **Discussion générale et conclusion**
Jean-Philippe BOUCHAUD, physicien, directeur de recherche au *Capital Fund Management*, membre de l'Académie des sciences

Résumés et biographies



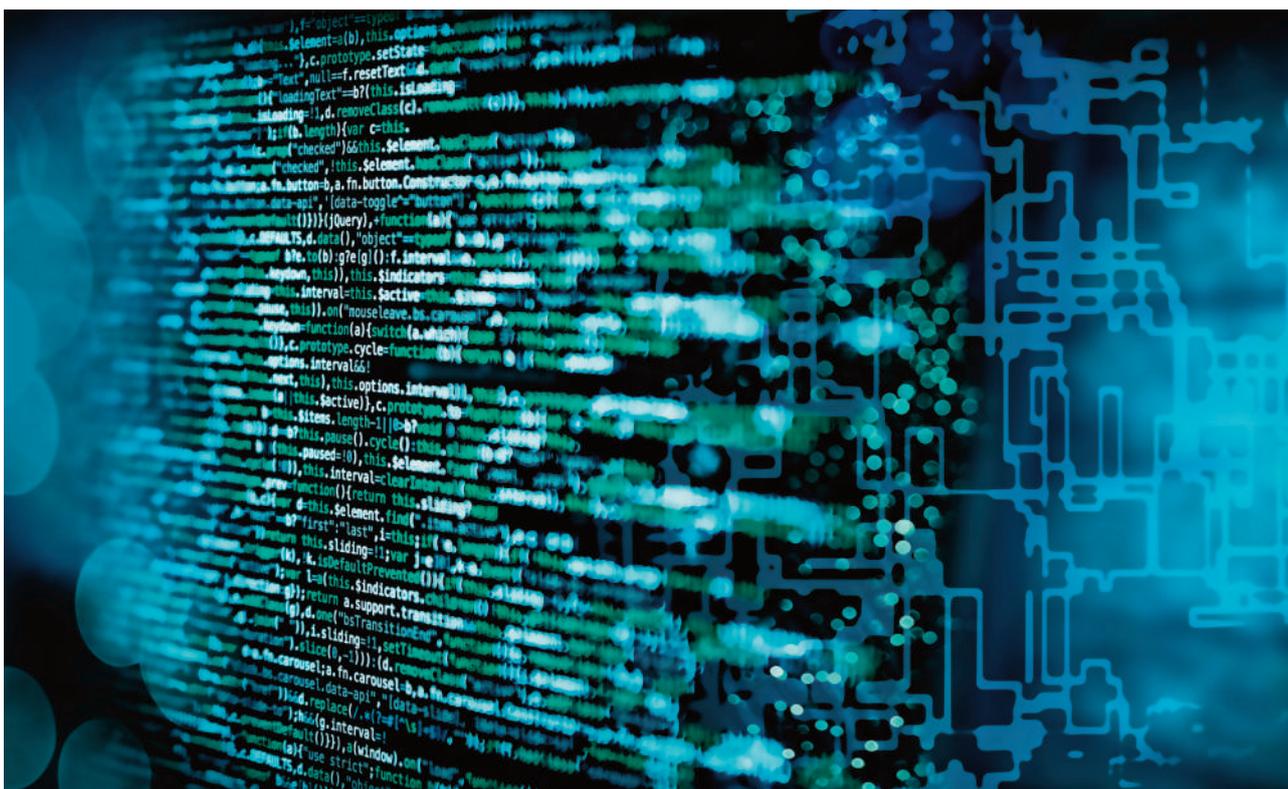
Marc MÉZARD

Physicien, directeur de l'Ecole normale supérieure, Paris

Physicien spécialiste de physique statistique des systèmes désordonnés, Marc Mézard est directeur de recherche de classe exceptionnelle au CNRS et auteur de plus de 170 publications et deux livres. Ses travaux, développés à l'origine pour décrire le comportement de systèmes magnétiques désordonnés, les verres de spin, ont permis de construire un cadre conceptuel et un ensemble de méthodes (dont la méthode de cavité) qui permettent de décrire et comprendre l'émergence, à savoir les nouveaux phénomènes dus aux comportements collectifs de nombreux atomes en interaction. Il a reçu de nombreuses distinctions dont le prix Anatole et Suzanne Abragam de l'Académie des sciences en 1988, la médaille d'argent du CNRS en 1990, le prix Ampère de l'Académie des sciences en 1996, le prix Humboldt en 2009, et le Prix Onsager de l'*American Physical Society* en 2016.

Inférence statistique et transitions de phases

A l'ère des données massives, les scientifiques sont de plus en plus souvent confrontés au problème majeur de l'inférence statistique : comment déterminer un grand nombre de variables inconnues, ou de paramètres, à partir des mesures ? Comment en extraire de l'information pertinente ? De l'acquisition comprimée de données à l'apprentissage machine, les exemples de tels problèmes abondent en théorie de l'information et en intelligence artificielle. Cet exposé montrera le lien profond entre l'approche Bayésienne de l'inférence statistique et la physique statistique, lien qui permet de comprendre l'importance des phénomènes collectifs émergents, et notamment le rôle crucial des transitions de phases en inférence statistique.



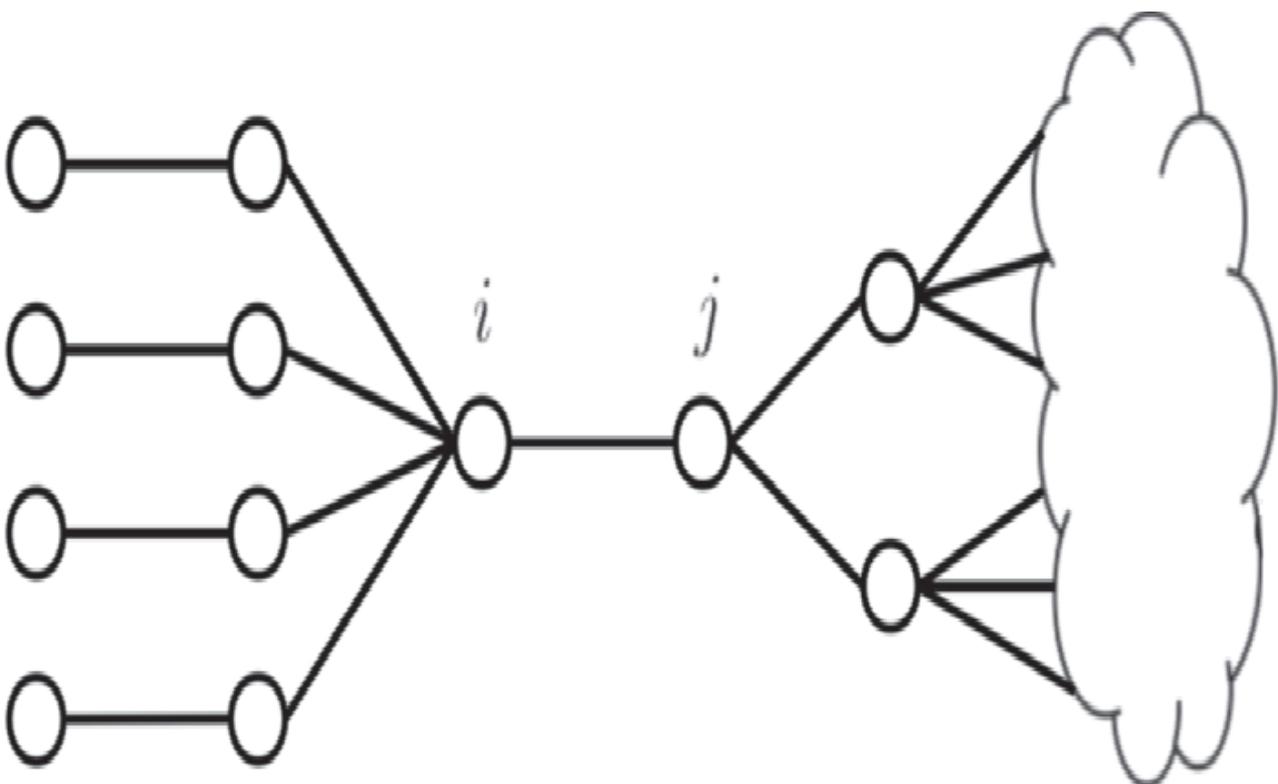
Lenka ZDEBOROVÁ

Physicienne, chercheuse, Institut de Physique Théorique, CNRS et CEA Saclay
Lenka Zdeborová est chercheuse au CNRS à l'Institut de physique théorique du CEA Saclay. Elle a obtenu un doctorat à l'université Paris-Sud et à l'université Charles de Prague en 2008. Elle a passé deux ans au laboratoire national de Los Alamos en tant que boursière du directeur. Elle a reçu la médaille de bronze du CNRS, le prix Philippe Meyer et une subvention de l'ERC. Elle est membre du comité éditorial de *Journal of Physics A*, *Physical review X* et *E*. Son expertise concerne les applications des méthodes physiques aux problèmes d'apprentissage automatique, de traitement du signal et d'optimisation.



Modélisation physique de l'apprentissage statistique

Les progrès actuels dans l'apprentissage automatique offrent un large éventail d'applications prometteuses, mais s'accompagnent également de nombreuses propriétés observées empiriquement pour lesquelles nous n'avons pas encore d'explications théoriques. La situation n'est pas très différente de celle de la cosmologie qui observe les propriétés de l'univers mais ne comprend pas encore pleinement son fonctionnement. En tant que tel, il n'est pas surprenant que la compréhension de l'apprentissage automatique concerne également les physiciens. Je présenterai des modèles issus de la recherche en physique qui fournissent des informations sur le fonctionnement des systèmes d'apprentissage automatique. Je discuterai des transitions de phase et du comportement des algorithmes. Je soulignerai la voie à suivre, au regard des questions théoriques ouvertes les plus pressantes.





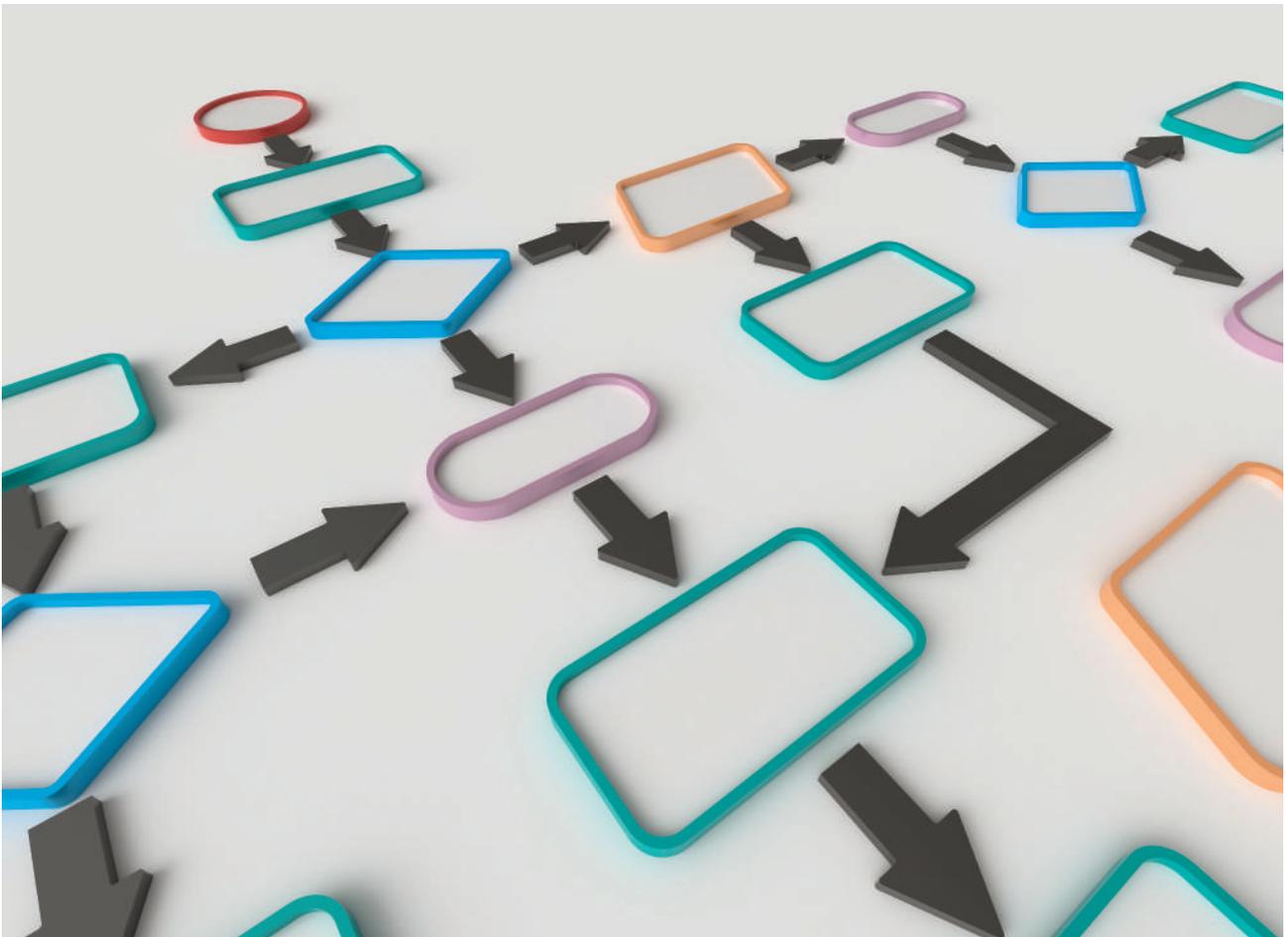
Romain COUILLET

Physicien, professeur à CentraleSupélec, université Paris Saclay

Romain Couillet est professeur des universités à CentraleSupélec, université de Paris-Saclay, et porteur de la chaire UGA IDEX DataScience « GSTATS » au GIPSA-lab (Grenoble Images Parole Signal Automatique), université Grenoble-Alpes. Ses recherches portent sur les statistiques en grandes dimensions appliquées au traitement du signal et des données. Il a reçu en 2013 la médaille de Bronze du CNRS (section INS2I) pour ses travaux en matrices aléatoires appliquées aux statistiques et le prix IEEE *Outstanding Young Researcher Award* pour ses avancées en matrices aléatoires appliquées aux télécommunications mobiles.

Théorie des matrices aléatoires et intelligence artificielle

Les outils de l'intelligence artificielle (IA) tirent leur puissance des fonctions non-linéaires appliquées aux données et d'un effet de « concentration » induit par le grand nombre et les grandes tailles de ces données. L'analyse mathématique de ces méthodes est cependant difficile, ce qui relègue aujourd'hui la théorie loin derrière la pratique. Cette présentation démontre que la théorie des matrices aléatoires propose une large palette de techniques permettant de mieux comprendre et même d'améliorer les algorithmes traditionnels de l'IA. En particulier, nous démontrerons (i) que de nombreuses intuitions au cœur de ces algorithmes deviennent fausses lorsque l'on traite des données de grandes dimensions et qu'un changement radical de paradigme, que les matrices aléatoires sont à même d'offrir, est nécessaire, (ii) que les modèles mathématiques traités par la théorie des matrices aléatoires sont fortement représentatifs de données de la vie réelle.



Stéphane MALLAT

Mathématicien, professeur au Collège de France, membre de l'Académie des sciences

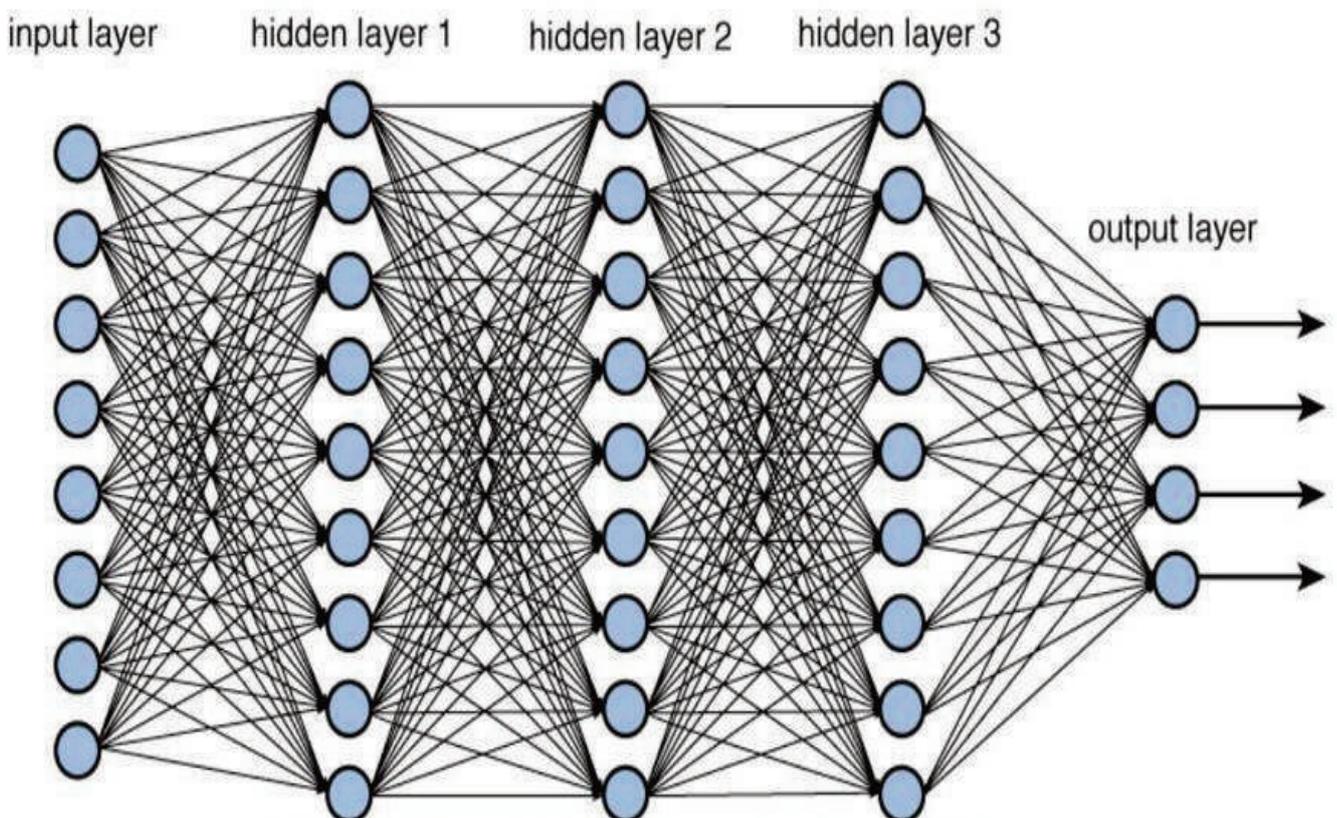
Stéphane Mallat était professeur à la *New York University* de 1988 à 1994. En 1995, il est devenu professeur à l'École Polytechnique jusqu'en 2012. De 2001 à 2007 il était co-fondateur et directeur général d'une start-up de semi-conducteur. Il était professeur à l'École Normale Supérieure de 2012 à 2018 puis professeur au Collège de France. Il est membre de l'Académie des sciences, de l'Académie des technologies et de l'*American Academy of Engineering*. Il a reçu le grand prix EADS de l'Académie des sciences, la médaille de l'innovation du CNRS, le grand prix européen des technologies de la société de l'information (IST), et le prix Carl Friedrich Gauss de l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).



Réseaux de neurones profonds et physique statistique multiéchelle

L'apprentissage statistique et la physique statistique ont tous deux pour objectifs d'analyser des systèmes ayant un très grand nombre de variables. Les réseaux de neurones profonds ont récemment obtenus des résultats remarquables pour la classification de signaux et d'images, mais aussi pour des applications en physique comme la simulation de turbulence ou des calculs d'énergies. Nous montrerons que ces réseaux de neurones ouvrent de nouvelles approches algorithmiques et mathématiques pour capturer la physique statistique multiéchelles de systèmes complexes. Nous discuterons d'applications en dynamique des fluides, en astrophysique et en chimie quantique.

Deep Neural Network





INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Inscriptions ouvertes au public dans la limite des places disponibles.

www.academie-sciences.fr

(rubrique «prochains évènements»)

