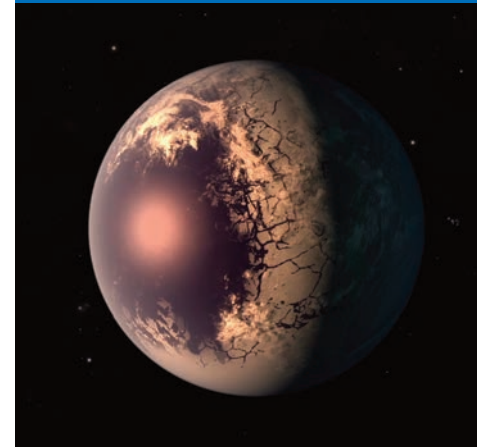




INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences



Exoplanètes : les nouveaux défis

Mardi 18 mai 2021 de 14h30 à 17h30

Visioconférence

<https://www.youtube.com/watch?v=30sE18faEvA>

La détection il y a 25 ans d'une planète autour d'une étoile autre que notre soleil a valu le prix Nobel 2019 à ses deux découvreurs, Michel Mayor et Didier Queloz. La chasse aux planètes n'a depuis cessé de s'intensifier grâce à une diversité de méthodes, d'instruments, de travaux théoriques et d'analyses qui, à partir de la faible lumière qui nous parvient de ces systèmes lointains, sont capables de les détecter, les caractériser, les classer pour mieux les comprendre.

Aujourd'hui, plus de quatre mille planètes ont été détectées, le plus souvent grâce à des méthodes indirectes. L'exploit de la détection directe a néanmoins été accompli pour une fraction de cette population. La variété des situations est immense, mais l'appartenance à un système multi-planétaire semble la règle et la conjecture que presque toute étoile abrite au moins une planète en orbite semble se confirmer. La combinaison de différentes méthodes a conduit à la détermination de grandeurs essentielles comme masse, rayon, densité, présence d'atmosphère et pour certaines une première analyse de la composition atmosphérique a même été obtenue. Les orateurs brosseront un bilan de cette quête et se projeteront dans un futur particulièrement prometteur.



Les organisateurs de la conférence-débat



Anne-Marie LAGRANGE

CNRS, Observatoire de Paris, Académie des sciences

Anne-Marie Lagrange est directrice de recherche au CNRS. Elle a travaillé sur les premiers disques planétaires extrasolaires et a contribué à la découverte des premières “exocomètes”. Depuis 30 ans, elle développe des approches variées pour découvrir des exoplanètes. Elle a en particulier participé au développement d’instruments dédiés à l’imagerie directe des planètes extrasolaires et à l’imagerie des premières planètes extrasolaires. On lui doit notamment la découverte de la planète beta Pictoris b, planète la plus proche imagée autour d’une étoile autre que le Soleil.



Jacques LASKAR

CNRS, Observatoire de Paris, Académie des sciences

Jacques Laskar est astronome à l’Observatoire de Paris, directeur de recherche au CNRS, membre du Bureau des Longitudes et de l’Académie des sciences. Il travaille sur la dynamique des systèmes planétaires. En prolongeant les travaux de Laplace et de Lagrange par des calculs analytiques sur ordinateur, il a mis en évidence le mouvement chaotique des planètes du système solaire, ce qui rend impossible la détermination de leurs orbites au-delà de 60 millions d’années. Il a aussi montré que l’axe de rotation de Mars est fortement chaotique et que l’axe de la Terre ne doit sa stabilité qu’à la présence de la Lune.



Daniel ROUAN

CNRS, Observatoire de Paris, Académie des sciences

Daniel Rouan a centré sa recherche instrumentale sur le développement de l’astronomie infrarouge en France, au sol et dans l’espace et plus particulièrement sur l’imagerie à haute résolution angulaire et à haut contraste (optique adaptative et coronagraphie). Il est co-découvreur d’une trentaine de planètes extrasolaires, dont Corot-7b, la première planète rocheuse détectée ainsi que la planète imagée directement autour de l’étoile beta Pictoris. Il a dirigé l’école doctorale d’Astronomie Astrophysique d’Ile-de-France et est président de la fondation *La Main à la Pâte* depuis mars 2021.

P rogramme

- 14:30** **Ouverture de la séance**
Patrick FLANDRIN, Président de l'Académie des sciences
Étienne GHYS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences
Daniel ROUAN, CNRS, Observatoire de Paris, Académie des sciences
- 14:35** **D'autres mondes dans le cosmos ? La recherche de planètes semblables à notre Terre et ... peut-être abritant de la Vie!**
Michel MAYOR, université de Genève, prix Nobel de physique 2019, Académie des sciences
- 15:10** **Avancées de la méthode de détection par vitesses radiales**
Claire MOUTOU, Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP), Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse
- 15:35** ***The benefits of space missions in detecting transits of exoplanets: the CHEOPS and PLATO projects***
Heike RAUER, *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* (DLR), Berlin
- 16:00** **Des atmosphères d'exoplanètes aux exocomètes**
Alain LECAVELIER DES ETANGS, Institut d'Astrophysique de Paris
- 16:25** **Imagerie des exoplanètes : résultats et perspective**
Anthony BOCCALETTI, Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (LESIA), Observatoire de Paris
- 16:50** **Caractérisation des planètes habitables**
Stéphane MAZEVET, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE) , Observatoire de Paris
- 17:15** **Discussion générale et conclusion**

Résumés et biographies



Michel MAYOR

Université de Genève, prix Nobel de physique 2019, Académie des sciences

Michel Mayor est astronome honoraire de l'université de Genève. En 1995, il découvrait avec Didier Queloz la première planète liée à une étoile (51 Pegasi) fort semblable à notre soleil. Depuis lors, quelques 5000 planètes extrasolaires ont été détectées et caractérisées. Depuis les années 70, il a développé la technique spectroscopique dite de corrélation croisée avec son ami, ingénieur opticien André Baranne de l'Observatoire de Marseille. La précision au cours des décennies s'est accrue d'un facteur de plus de 1 000. Aujourd'hui la précision requise pour la mesure des variations de vitesse des étoiles permet la détection

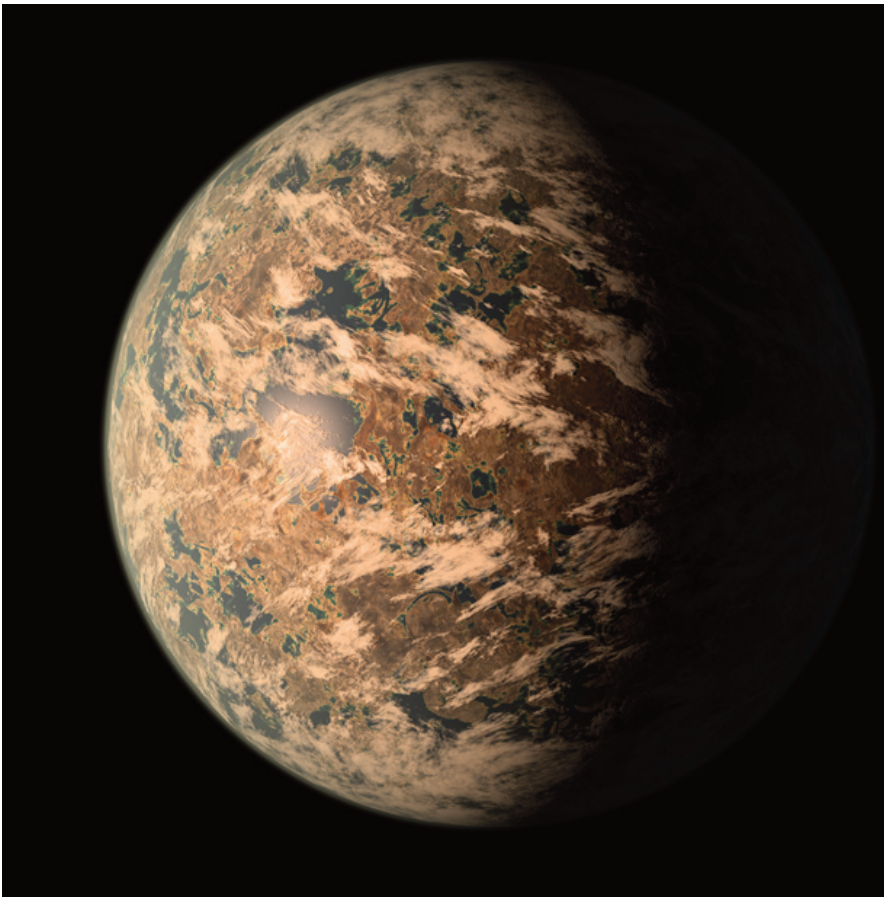
de planètes comparables à notre Terre. Il a utilisé lui-même ces spectrographes pour des études systématiques des exoplanètes. Michel Mayor est membre associé étranger de l'Académie des sciences, de l'Académie Nationale des Sciences des Etats-Unis ainsi que l'Académie américaine des arts et des sciences.

En 2019, il partageait le Prix Nobel de physique avec James Peebles et Didier Queloz, un prix qui faisait suite à plusieurs prix importants.

D'autres mondes dans le cosmos ? La recherche de planètes semblables à notre Terre et ... peut-être abritant de la Vie!

Pluralité des Mondes dans l'Univers, pluralité des Mondes habités ?

Il y a 26 ans nous découvrons la première planète en orbite autour d'une étoile fort semblable à notre Soleil. Depuis lors, plusieurs milliers de systèmes planétaires ont été détectés. Ces découvertes nous ont révélé une diversité étonnante de ces systèmes. Une foison de nouveaux instruments au sol ou à bord de missions spatiales ouvrent des perspectives nouvelles pour caractériser les exoplanètes.



Combinant diverses techniques, il est possible aujourd'hui d'étudier leur masse, leur taille, la composition chimique de ces planètes et de leurs atmosphères, etc.

Mais déjà les recherches s'orientent vers une question plus vertigineuse : la vie existe-t-elle ailleurs dans l'Univers ?

A-t-on les moyens de répondre à cette question multi-millénaire ?

Grâce à la technologie, nous transformons ce rêve de l'Antiquité en un fascinant domaine de l'astrophysique d'aujourd'hui.



Claire MOUTOU

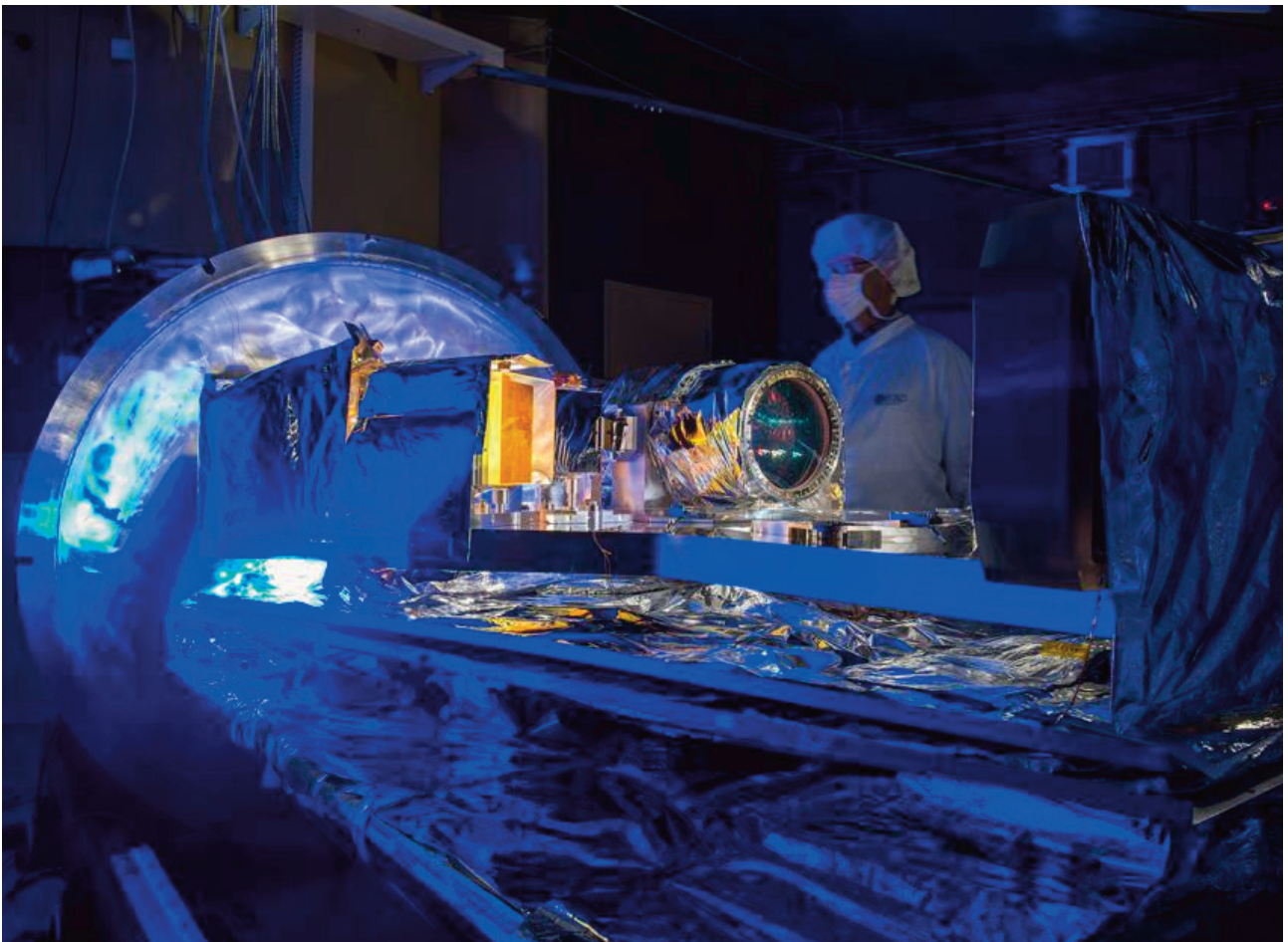
Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP), Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse

Claire Moutou est directrice de recherche au CNRS à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie à Toulouse. Après des études à Paris et une thèse sur les espèces aromatiques dans le milieu interstellaire sous la direction d'Alain Léger, elle a orienté ses recherches vers la détection des exoplanètes. Elle a travaillé à Marseille sur le suivi des candidats planètes CoRoT, ainsi qu'à l'exploitation des sondages en vitesses radiales depuis le Chili et la Haute-Provence. Elle a ensuite fait un séjour d'astronome

résident à Hawaii pour participer à la mise en service de SPIRou, le nouveau spectropolarimètre infrarouge du Télescope Canada-France-Hawaii.

Avancées de la méthode de détection par vitesses radiales

Depuis la découverte de la première planète autour d'une étoile similaire au Soleil par Mayor et Queloz en 1995, les instruments et sondages se sont multipliés avec la même méthode qui fut utilisée pour cette première : la mesure des vitesses radiales. Ce sont maintenant presque 1000 exoplanètes qui ont été caractérisées par cette méthode - qui permet une estimation de la masse de la planète. Un aperçu d'ensemble des avancées récentes dans ce champ d'observations sera donné, en mettant l'accent sur les performances actuelles et les nouvelles limites à dépasser.





Heike RAUER

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Berlin

Heike Rauer is director of the Institute for Planetary Research of the German Aerospace Center (DLR) and professor for planetary geophysics at the Freie Universität Berlin. Her research field is the detection and characterization of extrasolar planets. Since 2013, she is PI of the PLATO mission consortium and a Co-PI of the ground-based Next-Generation Transit Survey, NGTS. She was a member of the science council of the French-European mission CoRoT, the first mission dedicated to the search for extrasolar planets, and participated in ESA's Rosetta mission before focusing on exoplanet science. Heike Rauer

obtained her degree in physics in 1986 and subsequently performed her Ph.D. and habilitation in the field of planetary sciences.

The benefits of space missions in detecting transits of exoplanets: the CHEOPS and PLATO projects

The benefits of space missions when searching exoplanets via the transit method are numerous. This was first demonstrated by the French-led mission CoRoT. ESA's first Small Mission project CHEOPS is building on this experience. CHEOPS operates since end 2019 and produces exciting results based on high-precision measurements of planetary radii of known exoplanets. Following this, the PLATO mission will search for new transiting planets to further explore our knowledge on the diverse nature of planets. PLATO will focus on small planets in the habitable zone of solar like stars, thereby closing a knowledge gap in the detection of these fascinating objects.





Alain LECAVELIER DES ETANGS

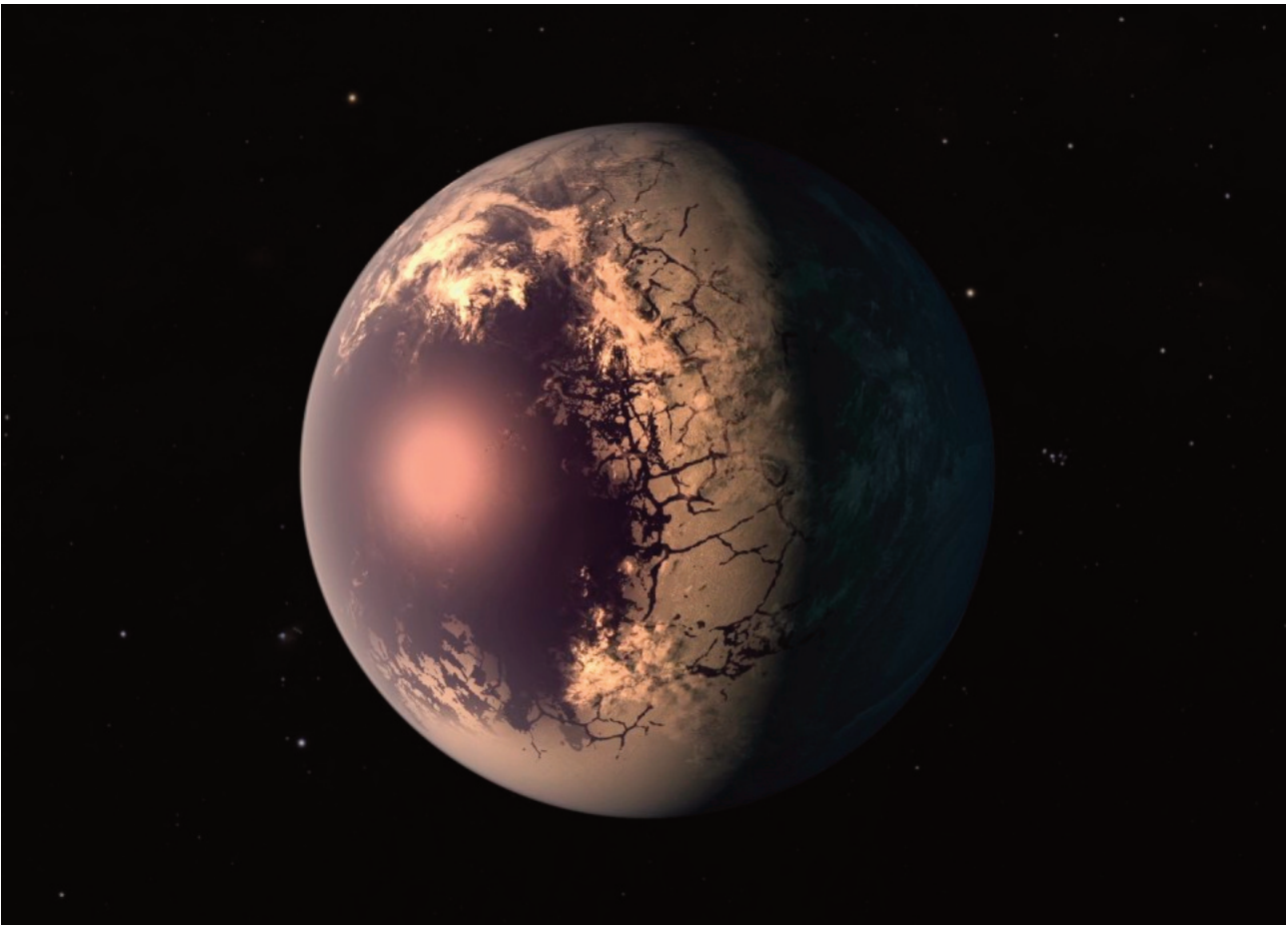
Institut d'Astrophysique de Paris

Alain Lecavelier des Etangs est directeur de recherche au CNRS et spécialiste des exoplanètes et de leur atmosphère. Il a participé aux premières observations d'atmosphères d'exoplanètes et à la découverte de l'évaporation des Jupiter-chauds. Il a également porté son attention sur les exocomètes observées en transit devant des étoiles jeunes entourées de disque de débris. Il a présidé pendant deux mandats la Commission « Exoplanètes et Système solaire » de l'Union astronomique internationale. Il est actuellement président du Conseil scientifique de l'Institut d'astrophysique de Paris. Il est professeur chargé de cours à l'École polytechnique depuis 2017.

Des atmosphères d'exoplanètes aux exocomètes

Nous connaissons aujourd'hui près de 5 000 planètes extrasolaires. Passé le stade du dénombrement, nous cherchons à comprendre la nature de ces planètes si différentes de celles du Système solaire. L'observation spectroscopique des planètes en transit devant leurs étoiles fournit de nombreuses informations sur les propriétés physiques et chimiques de ces objets. Grâce aux télescopes spatiaux Hubble et Spitzer et aux plus grands observatoires au sol, nous découvrons de nombreux phénomènes inattendus comme l'évaporation des planètes en orbite à proximité de leurs étoiles.

De même, la spectroscopie des transits permet de découvrir et d'étudier les comètes extrasolaires dans les systèmes planétaires jeunes. Dans le système de Bêta Pictoris, différentes familles d'exocomètes ont déjà été identifiées et les dernières observations suggèrent des variations significatives de composition. Les exocomètes sont aussi observées grâce aux observatoires spatiaux Kepler et TESS qui permettent de sonder les queues de poussières et révèlent un nouvel aspect de ces petits corps en évaporation.





Anthony BOCCALETTI

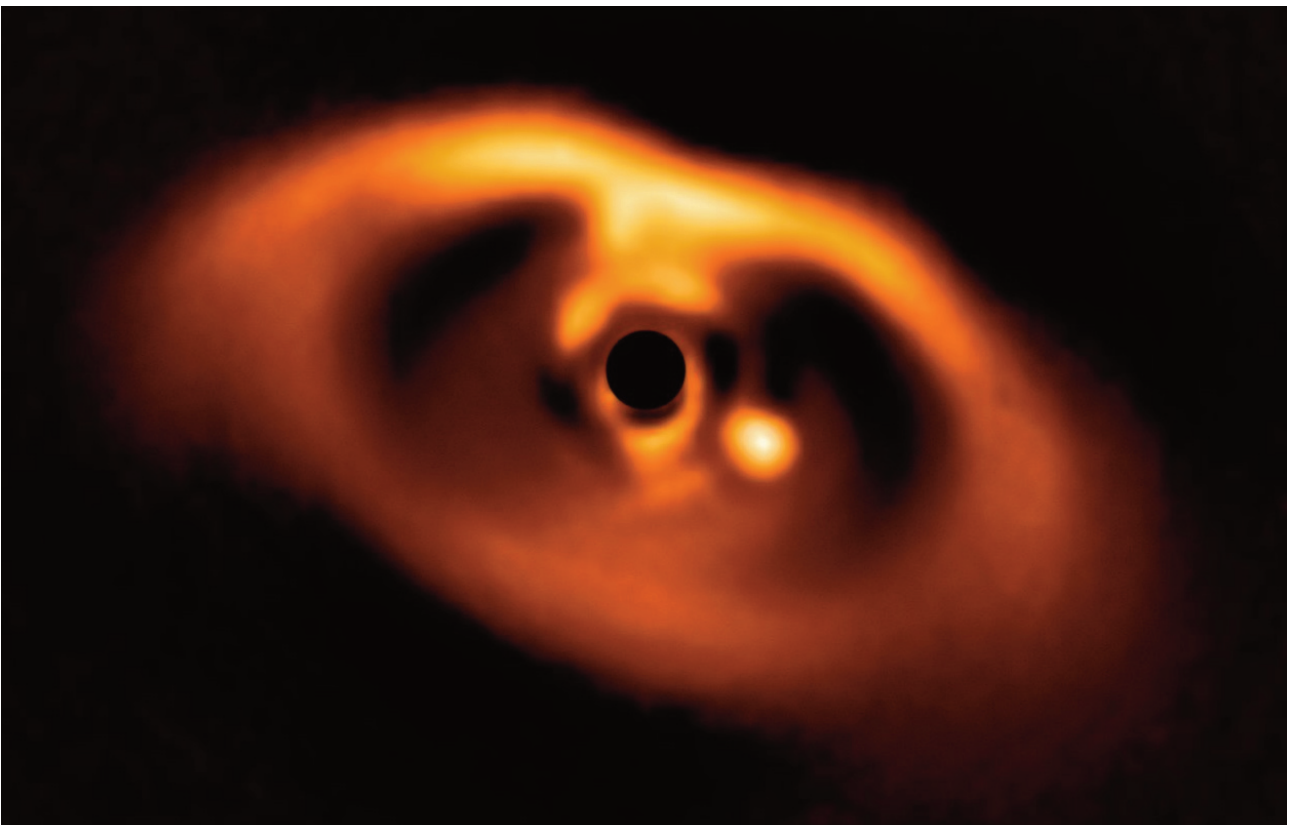
Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique (LESIA),
Observatoire de Paris

Anthony Boccaletti est directeur de recherche au CNRS, travaillant à l'Observatoire de Paris, directeur adjoint du LESIA, en charge de la communication scientifique. Après une thèse soutenue en 1999 sous la direction d'Antoine Labeyrie sur une méthode d'imagerie d'exoplanètes, il a prolongé ses travaux instrumentaux sur les techniques coronographiques, en particulier le coronographe de phase inventé par

Daniel Rouan. Il s'est spécialisé dans la simulation des performances d'instruments à haut contraste pour la détection d'exoplanètes et a pris part au projet MIRI sur le *James Webb Space Telescope* et à l'instrument SPHERE au VLT. Il a également porté la proposition de télescope spatial SPICES à l'ESA en 2010, et est actuellement porteur du projet SPHERE+. Parallèlement à ces travaux instrumentaux, il a mené plusieurs observations de systèmes exoplanétaires jeunes, en mettant par exemple en évidence des structures de poussières en mouvement rapide dans un disque autour de l'étoile AU Mic, et récemment a identifié les signes d'une planète en formation dans le système AB Aur.

Imagerie des exoplanètes : résultats et perspective

Bien qu'il soit très difficile d'imager des exoplanètes autour de leur étoile pour des questions de contraste et de résolution angulaire, cette technique offre des avantages pour analyser directement la lumière de ces planètes, en émission ou en réflexion, et pour étudier l'environnement dans lequel elles se forment et évoluent. L'imagerie directe permet donc d'accéder à des paramètres physiques clés pour caractériser les atmosphères de planètes orbitant à quelques unités astronomiques. Des développements techniques ambitieux sont menés actuellement, pour à terme, pouvoir observer des planètes analogues à celles du système solaire, et idéalement des planètes du type de la Terre. Je passerai en revue les limitations de cette technique et les résultats actuels que nous avons pu obtenir en imagerie, pour ensuite introduire quelques projets instrumentaux pour le court et le long terme.





Stéphane MAZEVET

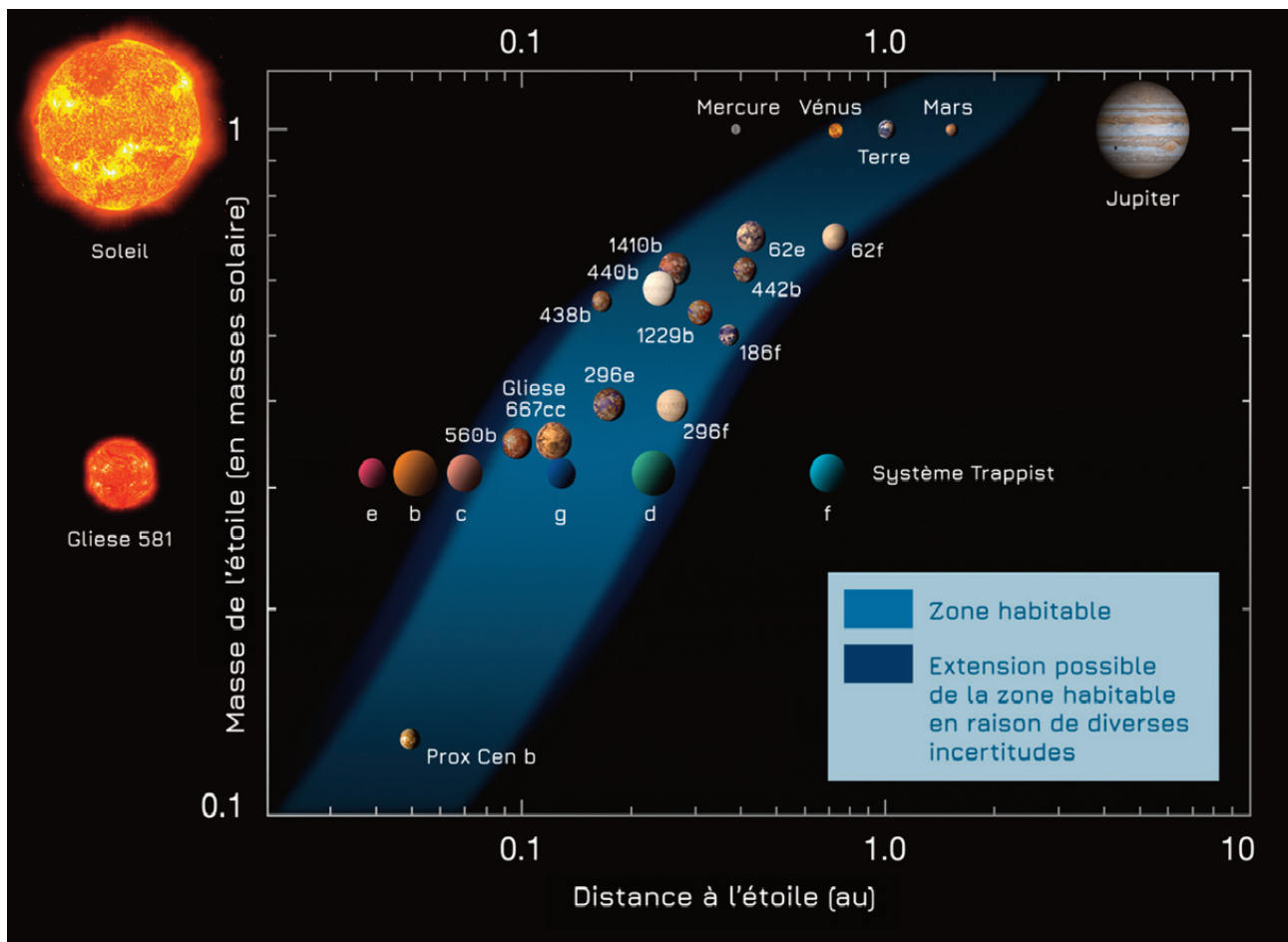
Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE), Observatoire de Paris

Après une thèse en physique atomique théorique obtenue à l'*Australian National University* en 1997, Stéphane Mazevet développe des méthodes de simulation des propriétés de la matière en conditions extrêmes de température et de densité durant sa première partie de carrière au *Los Alamos National Laboratory*. Il applique ces méthodes à la structure et l'évolution des planètes et exoplanètes depuis son arrivée à l'Observatoire de Paris en 2011. Il porte depuis 2015 le projet interdisciplinaire Origines et conditions d'apparition de la

vie de l'Université PSL.

Caractérisation des planètes habitables

Parmi la grande diversité des 4 000 exoplanètes détectées à ce jour, une petite quarantaine retient particulièrement l'attention : les planètes dites habitables. Placées à une distance critique de leur étoile hôte et permettant de maintenir de l'eau à l'état liquide en surface si elles sont dotées de la bonne composition atmosphérique, ces planètes vont être des cibles privilégiées pour les deux décennies à venir. Réunissant potentiellement des conditions planétaires similaires à celles rencontrées sur Terre, la validation de l'existence de cette classe de planètes est l'un des enjeux majeurs de la planétologie contemporaine. Cette présentation fera un point d'étape sur les planètes habitables, sur les stratégies de validation possibles à l'aide des programmes d'observations à venir et abordera la question des biosignatures dans ce contexte.





INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Inscriptions ouvertes au public dans la limite des places disponibles.

www.academie-sciences.fr

(rubrique «prochains évènements»)

