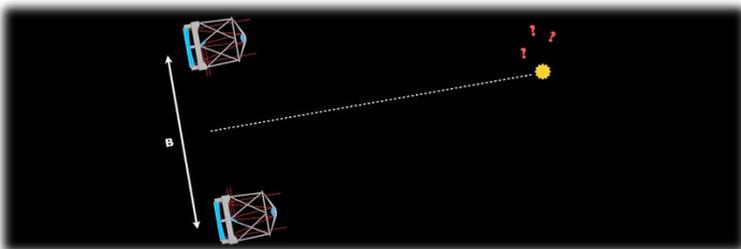
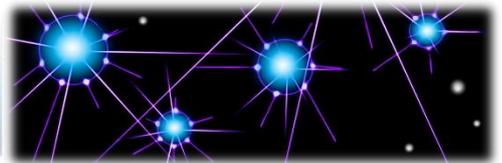
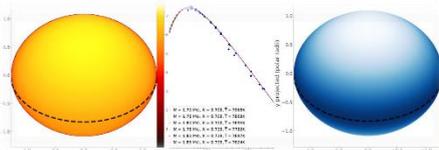
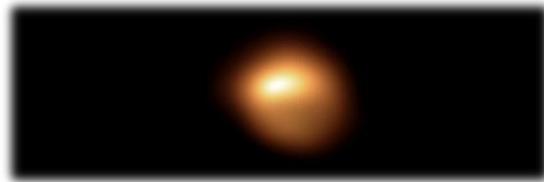




LABORATOIRE J.-L. LAGRANGE

UMR 7293

# Rétrospective 2021



## Table des matières

PREFACE .....	3
LES GRANDS CHIFFRES (2021) .....	4
LES TEMPS FORTS SCIENTIFIQUES DE L'ANNEE .....	5
JANVIER .....	5
Bye bye VEGA, Bonne année à SPICA ! .....	5
Une nouvelle étude du système binaire à éclipse beta Lyrae A .....	6
Des astronomes observent un tourbillon de poussière autour d'une hypothétique planète en formation .....	7
MARS .....	8
SPHERE, vingt ans de défi et de réussite .....	8
La complexité des écoulements turbulents classiques décelée dans les fluides quantiques .....	11
Les premières images de la toile cosmique révèlent une myriade de galaxies naines insoupçonnées .....	13
Lancement du plus grand réseau européen d'astronomie .....	14
L'astéroïde Didymos, cible de la mission Hera de l'ESA, pourrait être assimilé à une peluche de poussière .....	16
21/Borisov, une comète pas vraiment comme les autres .....	18
AVRIL .....	20
12 "croix d'Einstein" découvertes par la sonde Gaia .....	20
L'astéroïde Apophis observé pour la première fois par la technique des occultations stellaires .....	21
Une nouvelle lumière sur les Céphéides grâce à l'instrument MATISSE du VLT .....	23
Télécommunications de demain : l'Agence Spatiale Européenne confie une mission cruciale à des chercheurs azuréens .....	25
MAI .....	27
Le centre de notre galaxie dévoilé .....	27
Au cœur de l'amas des étoiles les plus massives de notre Univers local .....	28
JUIN .....	30
Trous noirs et étoiles à neutrons : la dernière danse de « couples mixtes » .....	30
De l'eau liquide sur les lunes des planètes flottantes .....	33
Bételgeuse : l'épaule poussiéreuse du guerrier .....	35
Un astéroïde à leur nom en récompense .....	37
JUILLET .....	38
WEAVE : un instrument pour l'analyse des lumières de l'Univers .....	38
Premières observations d'occultations stellaires par le télescope UniversCity, piloté à distance .....	40
The Gaia satellite helps us to better understand our galaxy .....	42
SEPTEMBRE .....	43

Les Mushballs cachent l'ammoniac manquant sur Uranus et Neptune .....	43
Comment Gaia dévoile de quoi sont faites les étoiles.....	45
Naissance du calcul des variations : des corps ponctuels à la mécanique des fluides .....	46
OCTOBRE.....	47
La production de régolithes fins sur les astéroïdes est contrôlée par la porosité des roches .....	47
A la rencontre des 42 astéroïdes les plus proéminents du Système Solaire .....	50
La mission Juno nous donne la première vue 3D de l'atmosphère de Jupiter .....	53
NOVEMBRE .....	55
La mission spatiale Hayabusa2 récompensée .....	55
DECEMBRE .....	56
Les tourbillons discrets qui structurent la turbulence .....	56
A close flyby of an asteroid by JUICE mission .....	58
LES EVENEMENTS.....	60
Semaine Scientifique Lagrange : les thésards à l'honneur .....	60
Colloques.....	63
Prix et distinctions.....	65
Thèses de Doctorat soutenues en 2021 .....	66
Séminaires Lagrange 2021 .....	67
Le MASTER MAUCA.....	69
Les nouveaux contrats .....	70
Les moments de convivialités et autres rendez-vous.....	72

Comité de publication : Philippe Stee (D.U.), Sophie Rousset (R.A.), chef(e)s d'équipe : Yannick Ponty, Mathias Schultheis, Nicolas Nardetto, Patrick Michel, André Ferrari, Marcel Carbillet, Carole Gouvret.

Sources externes : *Hebdo de l'OCA, Une du CNRS., Actualités de l'INSU.* Avec nos remerciements ainsi qu'à tous les auteurs d'articles, contributeurs et correcteurs.

## PREFACE

Bonjour à toutes et tous,

Cette année qui se termine a été en demi-teinte vis à vis de nos interactions humaines et sociales avec des mesures liées à la Pandémie toujours en place et des activités en mode "hybride" qui ont été particulièrement éprouvantes. Nous pensions voir le bout du tunnel en cette fin d'année mais la partie n'est pas encore gagnée puisqu'une 5ème vague semble pointer le bout de son nez. Il est donc plus que jamais nécessaire de garder les réflexes et les gestes barrière que nous avons appris ces 2 dernières années comme la distanciation physique, le lavage des mains et le port du masque.

Bien que nous ayons commencé à préparer notre évaluation HCERES Sophie et moi avons souhaité maintenir cette rétrospective du Laboratoire 2021 qui sera purement électronique et disponibles en ligne uniquement.

Comme vous pourrez le lire, encore beaucoup de beaux résultats scientifiques cette année. La fin d'une belle aventure avec l'arrêt du recombineur interférométrique VEGA sur l'instrument CHARA au sommet du Mt Wilson aux USA mais une nouvelle qui commence avec la mise en place de son successeur SPICA appuyé par l'ERC Advanced ISSP de Denis Mourard. Comme une bonne nouvelle ne vient jamais seule c'est 2 ERC Advanced que nous avons obtenu cette année avec l'ERC HolyEarth d'Alessandro Morbidelli. Un record et une première pour un Laboratoire de l'INSU ! SPHERE a fêté ses 20 ans et l'équipe Fluide a continué sa percée autour des fluides quantiques. Les résultats Astrophysiques de MATISSE sont nombreux et impressionnants et l'ESA a confié à Aziz Ziad le projet Anatolia de 2 M€ autour des télécommunications de demain. Je ne vais pas vous lister tous les résultats de 2021 que vous trouverez dans ce volume mais toutes nos 6 équipes scientifiques ont brillé par leurs résultats. Ces 2 nouvelles ERC et ce projet ESA ont été accompagnés par 3 nouvelles ANR dont nous sommes responsables et une ANR en collaboration avec le LESIA. Actuellement le Laboratoire a piloté ou co-piloté pas moins de 23 ANR en 2021 avec un soutien efficace et essentiel de l'OCA via son service Valorisation que je tiens tout particulièrement à remercier (merci Valérie !).

La semaine Scientifique Lagrange, qui s'est déroulée entièrement en visio au mois d'avril a connu un très grand succès a été l'occasion de suivre les travaux de 10 de nos brillants doctorants. J'en profite pour remercier le service communication et la DSI de l'OCA pour leur aide et la mise en place de ces journées.

La pandémie n'a pas eu raison de nos séminaires et nous avons maintenu un rythme soutenu toute l'année. Nicole Nesvadba et Claire Michaut ont laissé les clefs de l'organisation des séminaires du Laboratoire à Silvio Cerri et Morgan Schmitz et je remercie l'équipe sortante ainsi que la nouvelle équipe pour leur investissement dans l'animation et la vie du Labo: c'est fondamental !

L'Année 2022 va voir également un nombre de changements dans la direction adjointe du Laboratoire, la direction technique et les responsables d'équipes. Ainsi au 1er Janvier 2022 Nicole Nesvadba va succéder à Paolo Tanga à la Direction Adjointe du Laboratoire, Stéphane Lagarde remplacera officiellement Philippe Berio à la Direction Technique, Giorgio Krstulovic va remplacer Yannick Ponty comme responsable de l'équipe Turbulence, Fluides et Plasmas, Vanessa Hill prend la suite de Mathias Schultheis à la tête de l'équipe Galaxies et Cosmologie, Frantz Martinache succédera à Marcel Carbillat pour l'équipe Méthodes Physiques pour l'Observation (MPO) et André Ferrari a déjà remplacé Cédric Richard pour l'équipe Signal & Image. Je profite donc de cette opportunité pour remercier officiellement tous nos collègues sortants pour leur engagement au service du Laboratoire. Ça a été un véritable plaisir de travailler avec vous et je n'ai aucun doute que les nouveaux arrivants seront à la hauteur de leur nouvelle responsabilité et que nous pourrons travailler ensemble dans la confiance et le plaisir partagé. Notre Conseil de Laboratoire a également été entièrement renouvelé. Je remercie donc les conseillères et conseillers sortant(e)s et souhaite la bienvenue aux nouveaux membres. J'en profite également pour vous informer de l'arrivée d'Antoine Mangin, Directeur Scientifique d'ACRI-ST en tant que membre extérieur à notre conseil de Laboratoire qui rejoint Rodolphe Krawczyk de Thalès Alenia Space également membre extérieur de notre Conseil qui a donné son accord pour un nouveau mandat.

Le plus gros chantier est à venir avec l'évaluation HCERES du Laboratoire. Nous devons remplir les documents d'évaluation pour juin 2022 pour un retour de l'HCERES en 2023 et un nouveau contrat quinquennal du Laboratoire débutant au 1er janvier 2024. Il est indispensable que cette évaluation se fasse main dans la main avec l'OCA et que la prospective soit co-construite ensemble puisqu'un OCA fort et visible au sein de UCA assurera également un avenir prometteur à Lagrange. Pour cela, nous pouvons compter sur l'engagement du nouveau Directeur de l'OCA, Stéphane Mazevet, qui a pour objectif de placer l'OCA comme un établissement incontournable dans la Galaxie UCA et qui a donc toute ma confiance et mon soutien. Pour terminer je tiens à remercier le CNRS et plus particulièrement la Déléguée Régionale, Mme Aurélie Philippe, qui a toujours été d'une grande écoute et d'un soutien sans faille et qui quitte la DR20 au 31 décembre 2021 pour la délégation Provence & Corse. Elle sera remplacée par Mme Clara Herer, ingénieure des Mines, a qui nous souhaitons une bonne installation.

En attendant, je vous souhaite à toutes et tous de passer une excellente année 2022 remplie de succès professionnels et personnels !

Philippe Stee, directeur du laboratoire Lagrange



## LES TEMPS FORTS SCIENTIFIQUES DE L'ANNEE

### JANVIER

Bye bye VEGA, Bonne année à SPICA !

Publication : 4 janvier 2021

Durant la semaine du 19 décembre 2020, l'instrument CHARA/VEGA a vécu ses dernières nuits d'observation animées par Norm, Olli, Fred et Denis.

L'histoire de VEGA a commencé en mai 2005 avec les premiers échanges de courriels (Hal-Steve-Theo-Vincent, merci beaucoup), suivis de ma première visite au Mount Wilson (avec Jean-Michel et Stéphane et un mètre ruban) en novembre 2005. Très peu de temps après, nous avons obtenu un fort soutien de l'équipe CHARA (lettre de Hal et feu vert après le deuxième meeting annuel de la collaboration CHARA en février 2006 à Tucson, avec Philippe). L'aventure pouvait commencer avec l'adaptation du spectrographe GI2T/REGAIN pour son installation dans le laboratoire CHARA.

En août 2007, 8 caisses pesant environ 1200 kg ont été envoyées au Mont-Wilson et après trois semaines d'intégration, nous avons obtenu les premières franges le 30 septembre 2007. Merci à Aurélie, Jean-Michel, Yves, Chris et Antoine et à toute l'équipe de CHARA. Hal était là aussi mais ne s'est pas montré car il craignait que sa présence sur la montagne ne porte malheur !

Les étapes suivantes ont été les franges 3T le 9 octobre 2008, la première opération à distance en été 2009, l'opération simultanée CLIMB et VEGA en mai 2010 et enfin les premières franges 4T le 12 octobre 2010 en collaboration avec MIRC. Des détecteurs améliorés et un système de suivi des franges ont été mis en place en 2012.

Le 19 décembre 2020, c'était la 509<sup>e</sup> nuit de VEGA avec des données. Près de 770 étoiles différentes ont été observées et 8500 observations individuelles ont été enregistrées. 47 articles ont été publiés et quelques autres sont en préparation. Avec une résolution spatiale jusqu'à 0.2mas et une résolution spectrale maximale de 30 000, VEGA a traité des programmes scientifiques uniques dans le domaine des paramètres fondamentaux des étoiles et dans l'étude des environnements stellaires.

CHARA/VEGA n'a pas seulement été une aventure scientifique fantastique, mais aussi une merveilleuse histoire humaine. Il faut remercier de nombreuses personnes pour cette période de 15 ans partagée ensemble. Hal, Theo, Doug, Judit, Laszlo, Nils, Gail, Chris, Larry, Steve, Matt, Norm, Olli (et PJ, Bob, Dave et probablement plus, Sandy, Alicia... ): nous vous remercions pour votre soutien continu et le fabuleux esprit de la collaboration CHARA.

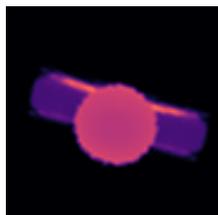
Mais l'histoire ne s'arrête pas là ! Des morceaux de VEGA (merci Judit) se réincarneront très bientôt dans [SPICA](#). Nous sommes prêts à commencer son intégration à Nice et j'attends avec impatience sa première lumière dans un an !

Bye bye VEGA, Bonne année à SPICA !

**Denis Mourard**, Astronome OCA, UMR Lagrange (CNRS-UCA-OCA)

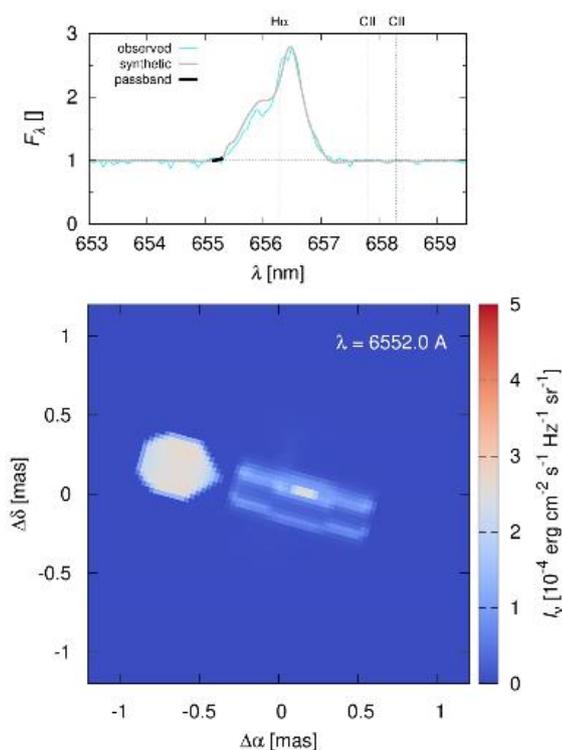
## Une nouvelle étude du système binaire à éclipse beta Lyrae A

Publication : 14 janvier 2021



Parue le 8 janvier 2021, une nouvelle étude de la fameuse binaire à éclipse beta Lyrae A a fait l'objet d'une mise en lumière par [A&A](#). Cette étude nous aide à mieux comprendre l'évolution des systèmes binaires. Les chercheurs qui ont mené ces travaux, dont fait partie Denis Mourard, astronome à l'UMR Lagrange ([CNRS-UCA-OCA](#)) ont utilisé un très large ensemble de données d'observation : courbes de lumière, données interférométriques optiques, spectroscopie à haute résolution et tout particulièrement pour ce deuxième article les données différentielles spectrales de l'instrument CHARA/VEGA (voir illustration)... Ils ont conçu et optimisé un modèle physique complexe avec 38 paramètres libres.

Le modèle contient l'étoile primaire, le secondaire remplissant son lobe de Roche, le disque optiquement épais, son atmosphère optiquement fine, les jets et son point chaud en interface avec le disque. Dans ce modèle, les scientifiques sont en mesure de prendre en compte tous les types de données d'observation disponibles et de présenter une structure "fine" du système.



*Line-profile synthetic images of  $\beta$  Lyr A and spectra computed for the wavelength range of H $\alpha$ , i.e., from 655.1 to 657.8 nm, at a fixed phase 0.25. Optically-thin components are clearly visible. The disk atmosphere appears first, because its Keplerian velocities close to the inner rim produce the blue-shifted wing. The jet inclined towards the observer appears second, with high velocities being projected to the line of sight. Finally, there is the spherical shell, with relatively low velocities spanning the core of H $\alpha$ , which obscures other small-scale structures. For  $\lambda > 6563 \text{ \AA}$ , all objects disappear in a reverse order. © M. Broz, Institute of Astronomy, Prague, CZECH REPUBLIC - See also [hi-res version](#).*

## Référence

[Optically thin circumstellar medium in the beta Lyr A system](#), A&A, 8 Janvier 2021, by M. Broz, D. Mourard, J. Budaj, P. Harmanec, H. Schmitt, I. Tallon-Bosc, D. Bonneau, H. Bozic, D. Gies, M. Slechta 2021, A&A, 645, A51

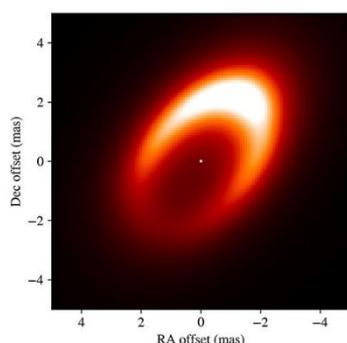
## Des astronomes observent un tourbillon de poussière autour d'une hypothétique planète en formation

Publication : 21 janvier 2021

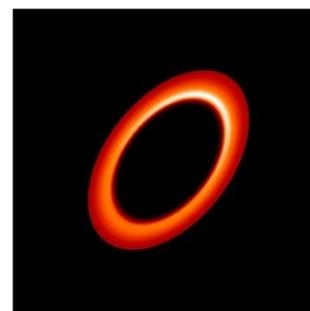


La façon dont la Terre et les autres planètes se forment, est encore mal comprise. En observant les jeunes étoiles lointaines, nous pouvons observer la formation des planètes en cours. Les étoiles naissantes sont entourées d'un disque de matière en rotation composée de gaz et de minuscules grains de poussière, un disque protoplanétaire. Ces grains de poussière, de par leur collision, parviennent à se coller les uns aux autres, initiant par ce processus la formation des planètes...

En utilisant [MATISSE](#), nous avons observé les régions les plus internes du disque autour de la jeune étoile HD 163296 et y avons trouvé un anneau de poussière de la taille de l'orbite de Mercure. Il est remarquable qu'une partie de cet anneau ait une luminosité accrue, et il y a de fortes indications que ce « *point chaud* » orbite autour de l'étoile. Nos résultats sont les premiers à mettre en évidence les changements survenus au fil du temps de ce « *point chaud* » dans le disque de HD 163296. Les asymétries de brillance dans les disques protoplanétaires sont encore mal caractérisées mais une possibilité serait que l'origine du point chaud de HD 163296 soit un vortex où la matière tourbillonne comme une tornade et où la poussière s'y accumule. Cette étude constitue le premier résultat de l'instrument MATISSE sur des disques protoplanétaires; résultat obtenu par l'équipe qui a conçu l'instrument. Elle vient d'être acceptée pour publication dans la revue *Astronomie et Astrophysique*, et annonce le début d'une moisson de résultats dans ce domaine.



*Représentation graphique d'un modèle reproduisant les données obtenues par MATISSE : les chercheurs soupçonnent que l'émission des poussières dans cette structure asymétrique entourant l'étoile jeune HD163296, puisse être un tourbillon concentrant la matière pour former une planète.*  
© Jozsef Varga et al.



*Une vue simulée de ce tourbillon de matière composée de gaz et de poussières.*  
© Héloïse Méheut, Laboratoire Lagrange, (CNRS-Université Côte d'Azur) - Observatoire de la Côte d'Azur.

### Reference

The asymmetric inner disk of the Herbig Ae star HD 163296 in the eyes of VLT/MATISSE: evidence for a vortex? Door: J. Varga et. al. Geaccepteerd voor publicatie in *Astronomy & Astrophysics*. Original: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202039400> Free preprint: <https://arxiv.org/abs/2012.05697v1>

### Contacts

**Alexis Matter**, Astronome adjoint, Laboratoire J.-L. Lagrange, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur & Université Côte d'Azur

**Bruno Lopez**, Astronome, Laboratoire J.-L. Lagrange, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur & Université Côte d'Azur

## MARS

## SPHERE, vingt ans de défi et de réussite

Publication : 9 mars 2021



Le consortium SPHERE célèbre sa 100e publication scientifique, dont l'étude démographique des exoplanètes situées au-delà de l'orbite de Saturne.

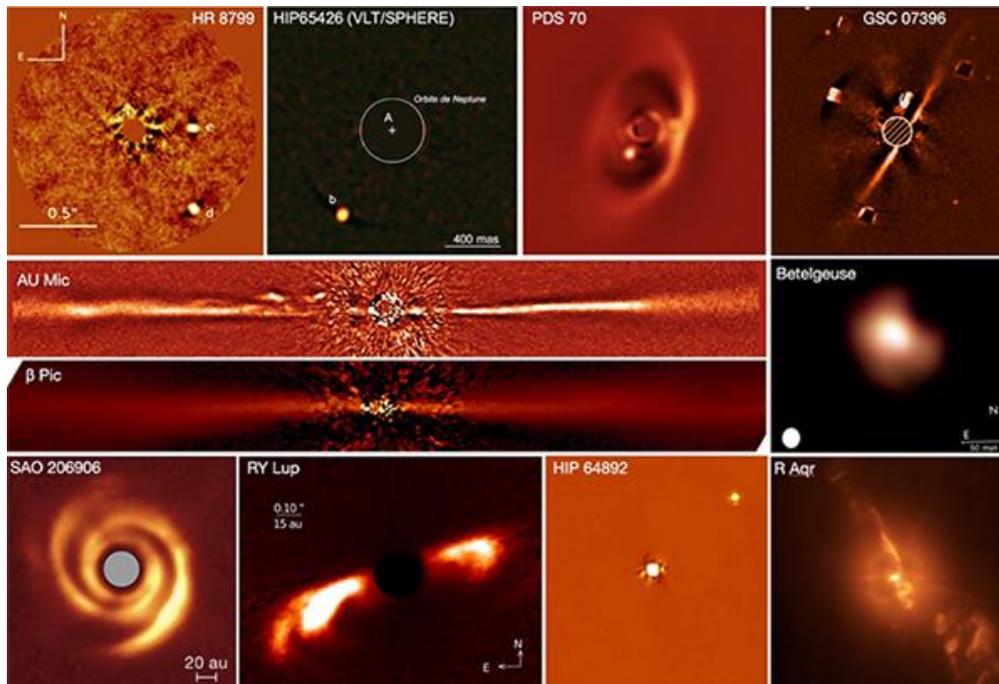
L'imageur d'exoplanètes SPHERE (Spectro-Polarimetric High-Contraste Exo-planet REsearch) <sup>(1)</sup>, actuellement installé et en fonctionnement au Very Large Telescope de l'ESO au Chili, est dédié à la détection et la caractérisation des exoplanètes géantes et des disques planétaires autour d'étoiles proches du Soleil. Ce projet représente une aventure scientifique, technologique et humaine débutée il y a déjà une vingtaine d'années. Son succès s'est construit sur des contraintes instrumentales strictes et des développements techniques innovants, comme l'optique adaptative extrême, la coronagraphie, la polarimétrie de haute précision et la spectroscopie intégrale de champ. Les différents sous-systèmes de SPHERE ont été conçus, construits et intégrés par un consortium de douze grands instituts européens <sup>(2)</sup> sur plus d'une décennie lui permettant d'atteindre des performances inégalées sur le ciel. **La figure 1** montre les principaux éléments de cette phase de conception et de construction.



*En haut à gauche: SPHERE sur la plateforme Nasmyth du Very Large Telescope. En haut à droite: sous-systèmes SPHERE: SAXO, le système d'optique adaptative extrême, ZIMPOL, le polarimètre d'imagerie de Zurich, IFS, le spectrographe de champ intégral, et IRDIS, l'imageur et le spectrographe dans le proche infrarouge. En bas: Photos de la première lumière de SPHERE au printemps 2014 et implémentation supplémentaire: camion et SPHERE se dirigeant vers UT3, premier Light dans la salle de contrôle, installation du troisième miroir torique et fixation de l'enceinte SPHERE*

Après sa première lumière en mai 2014, SPHERE a été offert à la communauté européenne, et a rapidement obtenu des résultats scientifiques exceptionnels dans le domaine de la formation planétaire, de la démographie et des propriétés physiques des exoplanètes, mais aussi sur la caractérisation des corps mineurs du système solaire, l'environnement des étoiles évoluées, et même l'étude des noyaux galactiques actifs <sup>(3)</sup>. Le consortium SPHERE a joué un rôle majeur dans ce succès et célèbre aujourd'hui la parution d'une série de trois articles dans la revue *Astronomy & Astrophysics* présentant la première phase de l'étude démographique des exoplanètes au-delà de 10 au c'est-à-dire au-delà de l'orbite de Saturne <sup>(4)</sup>, dont sa 100e publication scientifique <sup>(5)</sup>. Ces travaux représentent une étape importante pour le consortium SPHERE rendue possible par l'investissement de tous les membres et instituts qui ont contribué avec succès à ce projet, de la phase de conception, de construction, jusqu'à celle d'exploitation

scientifique au cours des cinq dernières années. Le projet SPHERE a permis de former une nouvelle génération de jeunes ingénieurs et scientifiques et positionne nos équipes européennes à la pointe de ce domaine majeur de l'astrophysique. Grâce à l'ensemble des travaux menés par le consortium SPHERE, la communauté associée se trouvera à l'avant-garde des développements d'imagerie à haut contraste pour préparer l'exploitation de futurs projets au sol sur la classe des grands télescopes de 10 à 40 m.



Galerie de résultats astrophysiques d'exoplanètes, de disques, d'étoiles jeunes et évoluées publiés par le consortium SPHERE depuis la première lumière de SPHERE en mai 2014.

## Lagrange

Le laboratoire Lagrange a dirigé le développement du simulateur d'instrument global et de l'ALC dans le cadre du coronographe NIR. Lagrange a contribué à l'assemblage, l'intégration et le test de l'instrument, à l'effort de recherche de la DRH pour l'IRDIS. Il a également dirigé le programme « *Other Science* » et a contribué de manière significative à la réduction des données via le centre de données et la participation aux équipes de réduction des données. Les principaux contributeurs sont : L. Abe, P. Bendjoya, M. Carillet, O. Chesneau, J.B. Daban, R. Douet, A. Ferrari, G. Guerri, P. Janin-Potiron, Z. Khorrami, E. Lagadec, R. Ligi, P. Martinez, M. N'Diaye, S. Robbe-Dubois, I. Smith, O. Suarez et F. Vakili.

**Contact** : Eric Lagadec

## Notes

(1) SPHERE pour Spectro-Polarimètre à Haut contraste pour la Recherche d'Exoplanètes (Spectro-Polarimetric High-contrast Exo-planet REsearch),, <https://sphere.osug.fr/>

(2): [IPAG: Institut de Planétologie et d'Astrophysique de Grenoble](#), [LAM: Laboratoire d'Astrophysique de Marseille](#), [LESIA: Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique, Paris](#), [MPIA: Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg](#), [INAF: Istituto Nazionale di Astrofisica](#), [INAF-OAPD: Osservatorio Astronomico di Padova](#), [ONERA: The French Aerospace Lab, Paris](#), [LAGRANGE: Laboratoire Lagrange, Nice](#), [Anton Pannekoek Institute for Astronomy](#), [ETH Zurich](#), [ASTRON: Netherlands Institute for Radio Astronomy](#), [Observatoire de Genève](#)

(3): Communiqués de presse ESO émanant du consortium:

- Première lumière pour l'imageur d'exoplanètes SPHERE (mai 2015), ESO-PR-1417, <https://www.eso.org/public/news/eso1417/>
- Des ondulations mystérieuses ont été retrouvées en course à travers un disque formant une planète (Oct 2015), ESO-PR-1538 <https://www.eso.org/public/usa/news/eso1538>
- Boulevard of broken rings (June 2016), ESO-POTW-1625a <https://www.eso.org/public/images/potw1625a/>
- Sculpter des Jeunes Systèmes Solaires (Novembre 2016), ESO-PR-1640 <https://www.eso.org/public/news/eso1640/>
- SPHERE dévoile sa première exoplanète (Juillet 2017), ESO-ANN-17041, <https://www.eso.org/public/announcements/ann17041/>
- SPHERE révèle un zoo fascinant de disques autour de jeunes stars (avril 2018), ESO-PR-1811, <https://www.eso.org/public/news/eso1811/>
- Première image confirmée d'une planète nouveau-née capturée avec le VLT de l'ESO (juillet 2018), <https://www.eso.org/public/news/eso1821/>
- Superbe Time-lapse d'exoplanètes (novembre 2018), ESO-POTW-1846, <https://www.eso.org/public/images/potw1846a/>
- Cartographie des ombres projetées sur un disque protoplanétaire par un système binaire proche (Nov 2018), INAF-PR-20181126, <https://www.media.inaf.it/2018/11/26/spherea-v4046-sgr/>
- Danser avec l'ennemi (Dec 2018), ESO-PR-1840, <https://www.eso.org/public/news/eso1840/>

(4): Un programme scientifique clé de SPHERE est le programme SHINE (SpHere Infrared survey for Exoplanets) lancé en 2015 et représentant plus de 200 nuits de levés à grande échelle au VLT. SHINE est sur le point d'achever cette entreprise avec une exploration systématique d'environ 500 étoiles jeunes et proches qui représentent des laboratoires idéaux pour l'étude de la formation et de l'évolution des planètes. Les principaux moteurs scientifiques sont: i / explorer l'occurrence de planètes géantes au-delà typiquement de l'orbite de Saturne (> 10 au) dans les régions externes des systèmes exoplanétaires, ii / l'exploration de l'architecture des jeunes systèmes planétaires, et iii / la caractérisation des propriétés physiques et atmosphériques des jeunes Jupiters. Dans ce cadre, une première série de trois articles scientifiques publiés dans la revue "Astronomy & Astrophysics" présente les premiers résultats sur les 150 premières jeunes étoiles proches explorées avec SHINE.

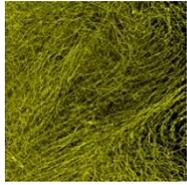
- Desidera, Chauvin, Bonavita, Messina, LeCoroller et al., A&A, (2020): The SPHERE infrared survey for exoplanets (SHINE): I- Sample definition and target characterization
- Langlois, Gratton, Lagrange, Delorme, Boccaletti et al., A&A (2020): The SPHERE infrared survey for exoplanets (SHINE): II- Observations, Data reduction and analysis, Detection performances and early-results
- Vigan, Fontanive, Meyer, Biller, Bonavita et al., A&A (2020): The SPHERE infrared survey for exoplanets (SHINE): III- The demographics of young giant exoplanets below 300 au with SPHERE

(5): The 100th publication of the SPHERE consortium is:

- Langlois, Gratton, Lagrange, Delorme, Boccaletti et al., A&A (2020): The SPHERE infrared survey for exoplanets (SHINE): II- Observations, Data reduction and analysis, Detection performances and early-results

## La complexité des écoulements turbulents classiques décelée dans les fluides quantiques

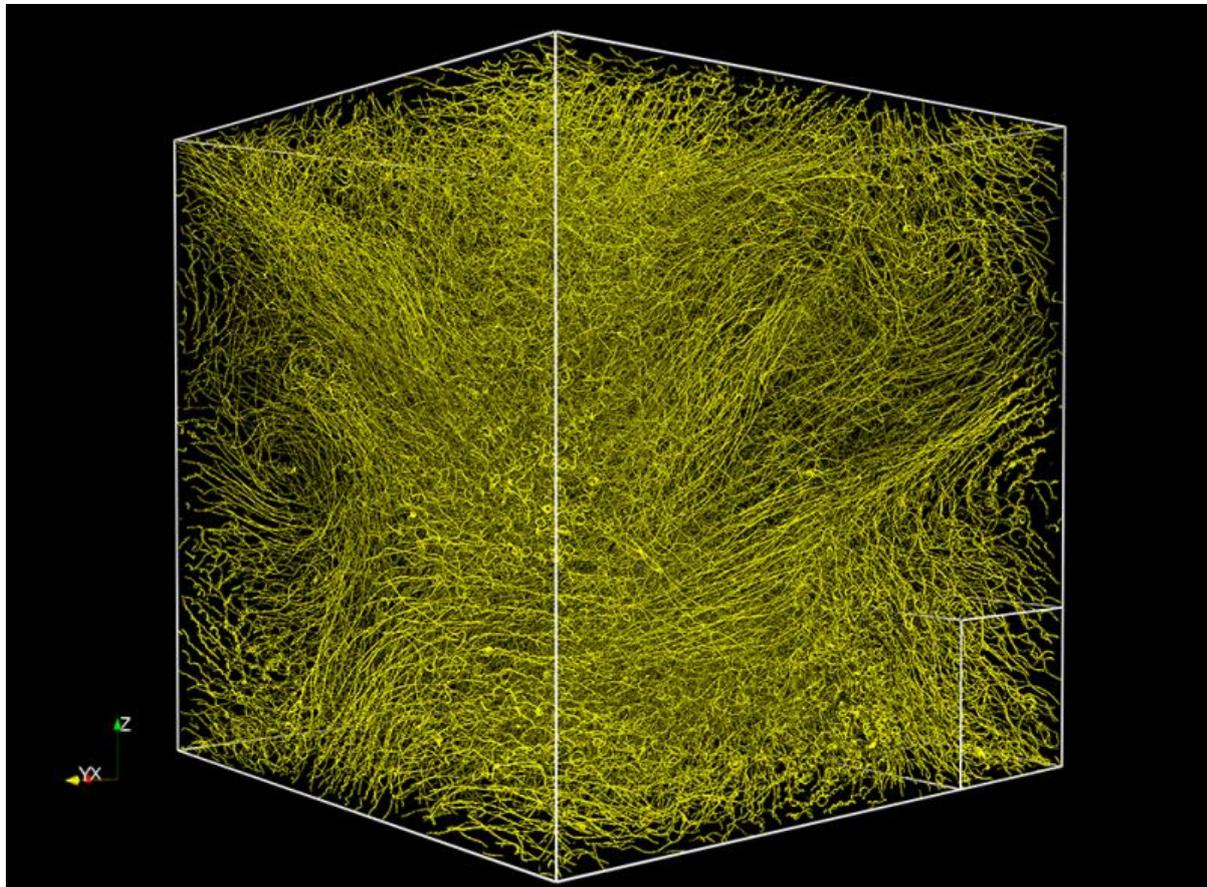
Publication : 17 mars 2021



possibles.

Lorsque l'on pense à une tornade, on imagine souvent un long filament qui se déplace dans l'espace, entraînant tout ce qui se trouve à son passage. Ces tornades ou tourbillons, appelés vortex par les physiciens, sont omniprésents dans les écoulements turbulents, tels que l'on observe dans l'atmosphère, les océans ou dans une simple tasse de café remuée par une cuillère. En effet, si l'on regarde un fluide turbulent aux petites échelles, on verra des forêts de tourbillons orientés dans toutes les directions

Si l'on veut comprendre la turbulence, il est donc naturel d'essayer de « compter » combien de tourbillons on observe dans une région d'une certaine taille, et de s'intéresser à la vitesse de rotation de cet ensemble. Cela permet de définir une quantité, appelée la circulation, qui dépend de l'échelle à laquelle on s'intéresse. Dans un fluide turbulent, la circulation fluctue énormément et peut prendre des valeurs extrêmes.



*L'image montre une visualisation d'un superfluide turbulent issue d'une simulation numérique réalisée par l'équipe Turbulence Fluides et Plasmas de l'OCA. Chaque filament jaune correspond à un vortex quantique. L'ensemble des vortex se combinent pour créer un écoulement turbulent avec les mêmes propriétés qu'un fluide classique.*

Dans le monde quantique on trouve aussi des vortex parmi une classe très exotique de fluides: les superfluides. Un superfluide s'écoule sans aucune friction, car grâce aux effets quantiques, leur viscosité est identiquement nulle. On les retrouve aussi bien au laboratoire, dans les expériences avec de l'hélium ou avec des certains gaz atomiques à très basses températures ; que dans la nature, notamment à l'intérieur du cœur des étoiles à neutrons. Les superfluides peuvent eux aussi facilement devenir turbulents. Comme en turbulence classique, on peut essayer de compter les vortex et calculer leur

circulation. Dans le cas des superfluides, cela est particulièrement intéressant car la circulation prend des valeurs discrètes comme conséquence d'effets quantiques. La figure montre un superfluide turbulent issu d'une simulation numérique à haute résolution, chaque petit filament correspondant à un vortex quantique qui interagit avec tous les autres.

Grâce au financement du projet ANR GIANTE et à une allocation d'heures de calcul GENCI, nous avons montré quantitativement que la turbulence classique et quantique ont les mêmes propriétés statistiques en ce qui concerne la circulation aux échelles classiques\*, y compris les fluctuations les plus violentes ; tandis qu'ils présentent des différences importantes aux plus petites échelles. Avec ce travail publié dans Physical Review X, nous renforçons l'idée que la turbulence quantique est en quelque sorte le squelette de la turbulence classique que l'on observe dans les écoulements naturels.

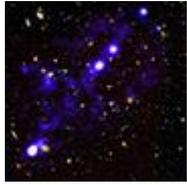
*\* Par exemple, une centaine de micromètres dans un écoulement d'hélium superfluide turbulent.*

### **Référence**

L'article scientifique (en libre accès) décrivant ce travail est [« Intermittency of Velocity Circulation in Quantum Turbulence »](#), Nicolás P. Müller, Juan Ignacio Polanco et Giorgio Krstulovic Physical Review X,

## Les premières images de la toile cosmique révèlent une myriade de galaxies naines insoupçonnées

Publication : 24 mars 2021



Les filaments de gaz dans lesquels naissent les galaxies sont prédits depuis longtemps par les modèles cosmologiques mais nous n'avions pas encore de véritables images de ces objets. Pour la première fois, plusieurs filaments de cette « *toile cosmique* » ont été observés directement, grâce à l'instrument [MUSE](#) du [Very Large Telescope](#) de l'ESO, au Chili. Ces observations de l'Univers jeune, 1 à 2 milliards d'années après le Big Bang, suggèrent l'existence de très nombreuses galaxies naines, jusqu'alors insoupçonnées.

Issue d'une collaboration internationale dirigée par le Centre de recherche astrophysique de Lyon (CNRS/Université Lyon 1/ENS de Lyon) et associant le laboratoire Lagrange (CNRS/Université Côte d'Azur/Observatoire de la Côte d'Azur), cette étude est parue dans la revue [Astronomy & Astrophysics](#) le [18 mars 2021](#).

## Lancement du plus grand réseau européen d'astronomie

Publication : 25 mars 2021



Deux réseaux d'astronomie se regroupent pour former le plus grand réseau collaboratif d'astronomie au sol en Europe : l'ORP. Il facilitera l'accès des scientifiques à un large éventail d'instruments, favorisera la formation des jeunes astronomes et permettra à terme de nouvelles découvertes. [Le CNRS](#) assurera la responsabilité de l'ORP qui est soutenu par une subvention de 15 millions d'euros du programme H2020.

L'Europe était jusqu'ici dotée de deux grands réseaux collaboratifs pour les observations astronomiques au sol, l'un optique et l'autre dans le domaine des ondes radio. En se regroupant aujourd'hui, OPTICON et RadioNet donnent naissance au plus grand réseau collaboratif européen d'astronomie au sol. Amorcé grâce à une subvention de 15 millions d'euros du programme H2020, ce programme vise à harmoniser les méthodes et outils d'observation, et à favoriser l'accès à un éventail élargi d'installations astronomiques. Le CNRS coordonnera le projet, avec l'Université de Cambridge et le Max-Planck Institute for Radio Astronomy. En France, le réseau implique trois établissements de recherche, trois laboratoires de recherche, deux observatoires français et cinq infrastructures internationales partenaires.

À mesure que la connaissance de l'Univers progresse, les astronomes ont besoin d'un éventail de techniques complémentaires pour analyser et comprendre les phénomènes célestes. Aussi l'Union Européenne a amorcé le regroupement des réseaux d'observation optiques et radio, OPTICON et RadioNet, qui animent leurs communautés respectives avec succès depuis deux décennies.

Avec 15 millions d'euros de H2020<sup>1</sup>, le programme de l'UE pour la recherche et l'innovation, la communauté astronomique européenne bénéficiera maintenant de la création du plus grand réseau européen d'astronomie au sol : l'OPTICON-RadioNet PILOT (ORP), qui rassemble une vingtaine de télescopes ou réseaux de télescopes.

Le réseau ORP doit harmoniser les méthodes et outils d'observation des instruments d'astronomie optique et de radioastronomie au sol, et favoriser l'accès des chercheurs et chercheuses à un éventail élargi d'installations. Il pourra s'appuyer sur le succès et l'expérience des réseaux OPTICON et RadioNet.

Ce nouveau programme facilitera l'accès de la communauté astronomique à ces infrastructures ainsi que la formation des jeunes générations d'astronomes.



Pour l'équipe de direction<sup>2</sup>, « *c'est très excitant d'avoir cette opportunité de développer davantage l'intégration européenne en astronomie et de développer de nouvelles opportunités scientifiques pour la recherche en astronomie en Europe et dans le monde.* »

L'ORP permettra notamment le développement du domaine en plein essor de l'astronomie dite multi-messager, qui couvre de nombreuses longueurs d'onde et, au-delà, les ondes gravitationnelles, les rayons cosmiques et les neutrinos. Lever les barrières entre les communautés en harmonisant les protocoles d'observation et les méthodes d'analyse entre les domaines optique et radio permettra aux astronomes de mieux travailler ensemble pour l'observation et le suivi des événements astronomiques variables et transitoires.

Des astronomes de 15 pays européens, d'Australie, d'Afrique du Sud et de 37 institutions ont déjà rejoint le consortium ORP. Pilote et contributeur à plusieurs télescopes optiques et radio, le CNRS assurera la responsabilité de cette coordination.

En France, participent au consortium :

- trois établissements de recherche : le CNRS, l'Onera et l'Institut d'optique Graduate School ;
- trois laboratoires de recherche : [le laboratoire Lagrange](#) (CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Côte d'Azur), [le Laboratoire d'astrophysique de Marseille](#) (CNRS/Aix-Marseille

Université/CNES) et [le Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique](#) (Observatoire de Paris - PSL/CNRS/Sorbonne Université/Université de Paris) ;

- deux télescopes astronomiques du domaine visible : le T193 de l'Observatoire de Haute-Provence, et le Télescope Bernard Lyot du Pic du Midi<sup>3</sup> ;
- cinq infrastructures internationales partenaires : le Télescope Canada-France-Hawaï, l'Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM ; CNRS/Max-Planck-Gesellschaft/Instituto Geográfico Nacional) avec son télescope de 30 mètres en Espagne et l'observatoire NOEMA dans les Alpes françaises, le radiotélescope LOFAR, l'observatoire SKA et le consortium JIVE (Joint Institute for VLBI ERIC).

### Notes

1. Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne au titre de la convention de subvention n ° 101004719.
2. L'équipe de direction comprend Jean-Gabriel Cuby, coordinateur du projet ORP à l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS, et Gerry Gilmore, professeur à l'Université de Cambridge (Royaume-Uni) et Anton Zensus, directeur du Max-Planck Institute for Radio Astronomy (Allemagne), en tant que coordinateurs scientifiques de l'ORP pour OPTICON et RadioNet respectivement.
3. L'Observatoire de Haute-Provence fait partie de l'Institut Pythéas (CNRS/Aix-Marseille Université/IRD) et le Pic du Midi est une station d'observation pilotée par l'Observatoire Midi-Pyrénées (CNRS/CNES/Météo-France/IRD/Université Toulouse III-Paul Sabatier)

### Contacts

- Coordinateur du projet ORP à l'Institut national des sciences de l'Univers du CNRS, Jean-Gabriel Cuby
- Presse CNRS, François Maginiot

## L'astéroïde Didymos, cible de la mission Hera de l'ESA, pourrait être assimilé à une peluche de poussière

Publication : 29 mars 2021



Une étude internationale, dirigée par Yun Zhang ([Université Côte d'Azur](#), Observatoire de la Côte d'Azur, [CNRS, Laboratoire Lagrange](#)), incluant l'investigateur principal de [la mission Hera de l'ESA](#), Patrick Michel, directeur de recherche CNRS, UMR Lagrange (UCA-OCA-CNRS), ainsi que Brian May, guitariste du groupe de Rock Queen et astrophysicien, montre comment les mêmes forces qui sont responsables des peluches de poussière sous nos lits pourraient aussi être responsables de la stabilité structurelle de l'astéroïde Didymos, cible des missions spatiales Hera et DART.

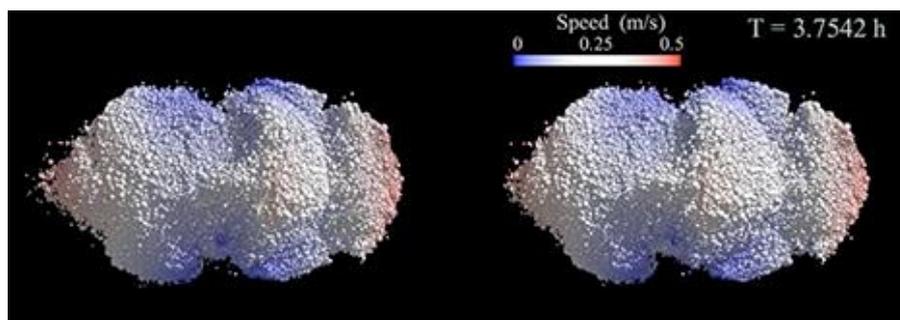
Didymos est la cible des missions de défense planétaire DART de la NASA et Hera de l'ESA. C'est un astéroïde double, avec un corps central de 780 mètres de diamètre autour duquel tourne une petite lune, appelée Dimorphos, de 160 mètres de diamètre.

Cette année, le satellite DART s'envolera sur une trajectoire qui le conduira à entrer en collision avec Dimorphos à l'automne 2022, pour modifier son orbite autour de son corps central. En 2024, la mission Hera s'envolera pour mesurer dans tous ses détails le résultat de l'impact de DART et les propriétés de Didymos, en particulier pour la première fois, sa structure interne.

Sur la base de nos connaissances actuelles sur la formation des astéroïdes, les corps de la taille de Didymos sont des agrégats constitués de roches liées entre elles par leur propre attraction. Toutefois, Didymos tourne très vite sur lui-même, en 2,26 heures, ce qui en théorie devrait le détruire selon ses propriétés internes.

« Dans notre étude précédente, nous avons montré que si Didymos est un agrégat constitué de roches maintenues ensemble uniquement sous l'effet de leur attraction gravitationnelle, il ne peut être stable avec sa période de rotation actuelle et sa densité estimée à  $2170 \text{ kg/m}^3$  », explique Yun Zhang.

Pour résoudre ce mystère, Yun et ses collègues ont développé des simulations numériques poussées consistant à modéliser le comportement d'un agrégat tel que Didymos soumis à une augmentation de sa vitesse de rotation sur lui-même jusqu'à ce qu'il se casse, en tenant de toutes les forces mises en jeu. Puis, Brian May et sa collaboratrice, Claudia Manzoni, de la London Stereoscopic Company, ont produit des films stéréos 3D [des simulations de l'évolution et de la destruction de l'astéroïde](#).



**Figure 1** : extrait d'un film stéréo produit par Brian May et Claudia Manzonie, d'une simulation de destruction de Didymos lorsque sa vitesse de rotation sur lui-même augmente et que la force centrifuge devient dominante.

« Observer le résultat de nos modélisations en 3D est absolument extraordinaire et fournit des informations auxquelles nous ne pouvons tout bonnement pas accéder en 2D sur un écran d'ordinateur », s'enthousiasme l'investigateur principal de la mission Hera de l'ESA et deuxième auteur de l'article, Patrick Michel, directeur de recherche CNRS.

Dans cette nouvelle étude, l'équipe a estimé le degré de cohésion nécessaire entre les roches qui constituent l'agrégat pour qu'il soit stable à son taux de rotation actuel. « La cohésion sert de colle entre

*les différents morceaux », précise Yun Zhang. « Elle est due aux forces de Van der Waals causées par la possible présence de poussière entre les roches qui constituent un agrégat ».*

Les forces de Van der Waals sont produites à cause de la façon dont sont distribuées les charges électriques dans les atomes et les molécules. C'est la même force qui conduit à la formation des peluches de poussière dans les endroits mal nettoyés et sous nos lits. Sur Terre, du fait de la forte attraction de notre planète, cette force n'agit que sur des particules de tailles inférieures à une fraction de millimètre. Mais dans l'environnement d'extrêmement faible gravité de Didymos, elles peuvent agir sur une échelle bien plus grande.

Sur la base des calculs des auteurs, la cohésion de surface requise pour Didymos est dans l'intervalle 3 - 6 Pascals (l'unité de pression standard) et sa cohésion interne entre 11 et 17 Pascals, selon l'arrangement des roches et leur distribution de tailles. C'est minuscule. La pression de l'atmosphère terrestre au niveau de la mer est énorme en comparaison, 101 325 Pascals. Néanmoins, ça fait toute la différence. Sans ce minuscule niveau de cohésion, le Didymos modélisé se détruirait.

*« Il est vraiment fascinant de découvrir que même un degré infime de cohésion fait une énorme différence dans la stabilité structurelle d'un astéroïde ! », remarque Brian May. « L'équivalent d'une petite feuille sur le dos de ma main est ce qui fait la différence ».*

Cette étude indique aussi une origine possible de la lune Dimorphos. L'équipe suggère que celle-ci pourrait avoir été formée à partir du matériau s'échappant du corps central lorsque celui-ci tournait encore plus vite sur lui-même.

*« Nous avons réalisé récemment que les astéroïdes ne sont pas de simples rochers inertes », remarque Brian May. « Ce sont des petits mondes géologiquement actifs, évoluant dans des conditions très différentes de celles sur Terre, ce qui continue à défier notre intuition ».* Les résultats de cette collaboration viennent d'être publiés en accès libre dans le journal international à comité de lecture [Icarus](https://www.nature.com/journal/536/7611).

Les simulations du projet ont été effectuées sur le super-calculateur du [Mésocentre SIGAMM](https://www.meso-centre.fr/) de l'Observatoire de la Côte d'Azur et le super-calculateur Deepthought2 HPC de l'Université de Maryland (USA). Le projet a été effectué avec le soutien financier de l'IDEX UCA JEDI, du CNES et du programme de recherche et d'innovation H2020 de l'Union Européenne (convention de subvention No. 870377, projet NEO-MAPP).



**Figure 2 :** image de la mission Hera de l'ESA et de ses deux Cubesats, Juventas et Milani, qui partiront explorer en 2024 l'astéroïde double Didymos.

## Contacts

Patrick Michel, Yun Zhang.

## 2I/Borisov, une comète pas vraiment comme les autres

Publication : 30 mars 2021

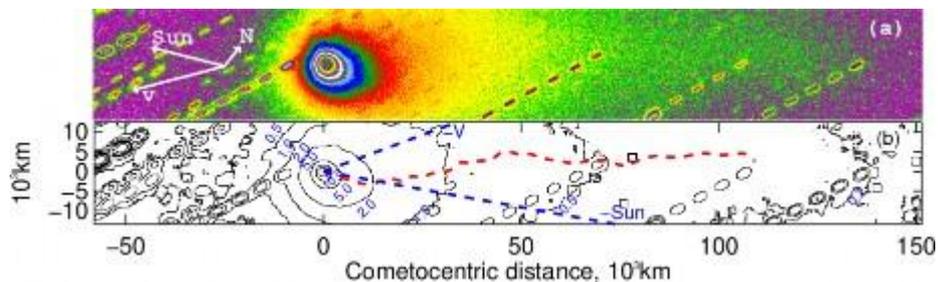
Le 30 août 2019 Gennady Borisov découvre à l'Observatoire MARGO en Crimée la première comète d'origine extra-solaire en train de traverser notre système planétaire. Ses caractéristiques orbitales nous indiquent clairement qu'il s'agit d'un objet n'appartenant pas à notre système. C'est le deuxième objet interstellaire qui nous rend visite après Oumuamua, l'astéroïde découvert par le télescope PANSTARR, mais le premier à montrer une activité cométaire. Une équipe internationale menée par Stefano Bagnolo de l'Observatoire d'Armagh (Irlande du Nord) et incluant un membre du Laboratoire Lagrange a étudié 2I/Borisov à l'aide d'observations polarimétriques<sup>1</sup> publiées dans la revue [Nature Communications](#) le 30 mars 2021.

**2I/Borisov: la plus primitive !**

De cette série d'observations il résulte que 2I/Borisov présente des différences notables avec la majorité des comètes de notre Système Solaire. Néanmoins on observe une compatibilité de mesures au niveau la coma avec la comète Hale-Bopp, qui avec une période de 2500 ans est une comète à longue période. Pour mémoire on rappelle qu'une comète peut être considérée comme un objet constitué de roches protégeant diverses glaces qui se subliment à l'approche du Soleil créant une coma proche du noyau et une queue de gaz et de poussières dans son sillage.

Les propriétés particulières d'Hale-Bopp sont interprétées comme étant dues à sa formation dans une région proche du milieu interstellaire, dans notre lointaine banlieue. Où que ce soit formée 2I/Borisov, il est remarquable de noter que cet environnement peut donner naissance à des corps avec des propriétés semblables à ceux formés aux confins de notre Système Solaire.

La similitude disparaît lorsqu'on compare l'étude de la polarisation dans la queue des deux comètes en fonction de la distance au noyau (le long de la courbe pointillée rouge sur la figure 1). 2I/Borisov présente un taux de polarisation stable ce qui correspond à une éjection de matériau homogène du noyau et donc à de très peu nombreuses, voire aucune, zone actives dans le noyau. La même étude montre de forte variation de la polarisation en fonction de la distance dans la queue d'Hale-Bopp ce qui signe la présence de nombreuses zones d'activité du noyau contribuant à la formation d'une coma.



**Figure 1** : En haut : Image composite de 2I Borisov en fausses couleurs (les pointilles sont les traces des étoiles xes dans le champ). En bas les isophotes de l'image. Les tirets bleus indiquent la direction de la vitesse de la comète (en haut) et la direction vers le Soleil (en bas). La courbe en tirets rouges trace les lieux de prise de mesure polarimétriques dans la queue. Figure extraite de Bagnolo et al. 2021 Nature Communication<sup>1</sup>.

Hale-Bopp n'aurait effectué que très peu de passages à son périhélie depuis sa formation. 2I/Borisov, étant données ses origines hors du Système Solaire, n'est donc jamais passée proche du Soleil et l'absence de zone d'activité sur le noyau implique qu'elle n'a approché aucune autre étoile. Cela en fait donc la comète la plus primitive et donc un objet unique jamais observé jusqu'à présent.

## La polarimétrie : outil de ce résultat

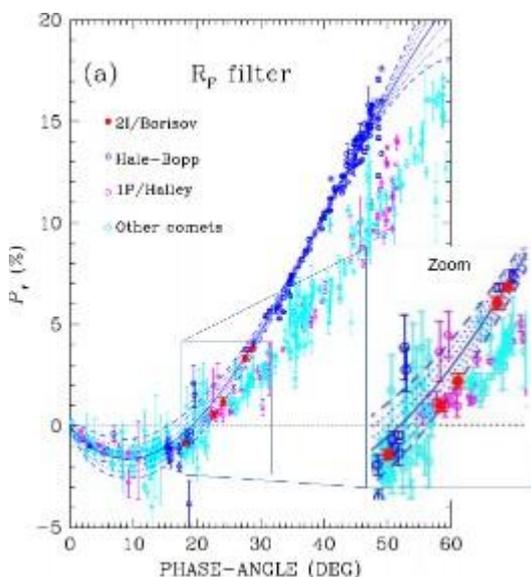
L'étude de la polarisation de la lumière réfléchi par un corps nous renseigne sur la composition minéralogique : non seulement sur la nature chimique mais aussi sur la structure de ses constituants comme la taille des grains qui constituent sa surface.

Le champ électrique transporté par la lumière subit des modifications en intensité et en direction quand il est réfléchi par une surface. Ces modifications dépendent de la composition et constitution morphologique de surface ainsi de l'angle d'incidence de la lumière. Certaines directions de ré-émission par le corps réfléchissant sont privilégiées. A partir des mesures du flux lumineux avec un polarimètre on peut calculer le taux de polarisation linéaire  $P_r = (I_{\perp} - I_{\parallel}) / I_{\text{tot}}$  comme étant le rapport de la différence entre l'intensité diffusée perpendiculairement au plan Soleil-Objet-Terre (plan de diffusion)  $I_{\perp}$  et celle diffusée parallèlement à ce plan  $I_{\parallel}$  divisée par l'intensité lumineuse totale reçue  $I_{\text{tot}}$ .

On peut alors construire une courbe de polarisation en étudiant  $P_r$  en fonction de l'angle de phase  $\alpha$  qui est l'angle entre le Soleil et la Terre vu depuis l'objet étudié.

Les objets sans atmosphère (la Lune, les astéroïdes mais aussi les comètes) présentent des courbes de polarisation  $P_r(\alpha)$  très semblables. Elles se caractérisent par une branche négative pour des angles inférieurs à 20 degrés (le champ électrique diffusé est alors très majoritairement dans le plan de diffusion). Au-delà des 20 degrés les courbes deviennent positives et culminent à un maximum autour de 100 degrés. Au-delà de ce comportement général, des détails vont permettre de distinguer des différences entre les cibles. On s'intéresse particulièrement aux positions des extrema ou à la détermination de l'angle de phase  $\alpha_{\text{inv}}$  auquel se fait le passage de la branche négative vers la branche positive de la courbe  $P_r(\alpha)$  ou encore aux différentes pentes de la courbe en  $\alpha_{\text{inv}}$  en fonction de la longueur d'onde lorsqu'on fait une étude polarimétrique dans différents filtres.

La campagne d'observation menant à cette publication a été effectuée avec l'instrument FORS2 installé au foyer du VLT-ESO à Paranal, Chili en décembre 2019, puis en janvier, février et mars 2020 (la session de mai prévue a été annulée en raison de la COVID-19) fournissant un angle de phase compris entre 18 et 25 degrés. Trois filtres ont été utilisés V (557 nm), R (655 nm) et I (768 nm).



La Figure 2 montre les résultats obtenus (point rouges) avec le filtre R comparés avec les courbes  $P_r(\alpha)$  de la majeure parties des comètes du Système Solaire en cyan et à deux autres comète particulières : C/1995O1 (Hale-Bopp) bleu foncé et 1P/Halley en magenta. La ligne en trait continu (rep. en pointillés) représente le meilleur ajustement (resp. les incertitudes à 1, 2 et 3  $\sigma$ ) avec les données polarimétriques d'Hale-Bopp du modèle empirique communément utilisé :  $P_r(\alpha) = b(\sin\alpha)^{c_1}(\cos(\alpha/2))^{c_2}\sin(\alpha - \alpha_0)$  où  $b$ ,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $\alpha_0$  sont les paramètres libres.

On note pour Hale-Bopp et 21/Borisov la pente de la branche positive remarquablement plus raide que pour les autres comètes.

**Figure 2** extraite de Bagnulo et al. 2021 Nature Communication<sup>1</sup>

## Référence

1. S. Bagnulo, A. Cellino, L. Kolokolova, R. Nežić, T. Santana-Ros, G. Borisov, A. A. Christou, Ph. Bendjoya & M. Devogele 2021 Nature Communication [DOI 10.1038/s41467-021-22000-x](https://doi.org/10.1038/s41467-021-22000-x)

## Contact

Philippe Bendjoya

## AVRIL

### 12 "croix d'Einstein" découvertes par la sonde Gaia

Publication : 8 avril 2021

Le satellite [Gaia](#) de l'ESA cartographie la Voie Lactée et nous réserve régulièrement de belles découvertes. Grâce à la récolte de données de cette sonde européenne, à un relevé spatial de la NASA et des grands télescopes au sol, associés à des techniques d'apprentissage automatique, les astronomes ont découvert 12 quasars dont la lumière est si fortement déviée par les galaxies d'avant-plan qu'ils sont visibles sous la forme de quatre images distinctes, appelées "croix d'Einstein". Ces croix sont des outils uniques pour en savoir plus sur la matière noire et le taux d'expansion de l'Univers. C'est une augmentation de 25% du nombre de « *quads* » désormais connus qu'apporte ce travail publié par un consortium scientifique international, dont des chercheurs du laboratoire Lagrange de l'Observatoire de la Côte d'Azur (CNRS-UCA-OCA).



© image : *The GraL Collaboration*

## L'astéroïde Apophis observé pour la première fois par la technique des occultations stellaires

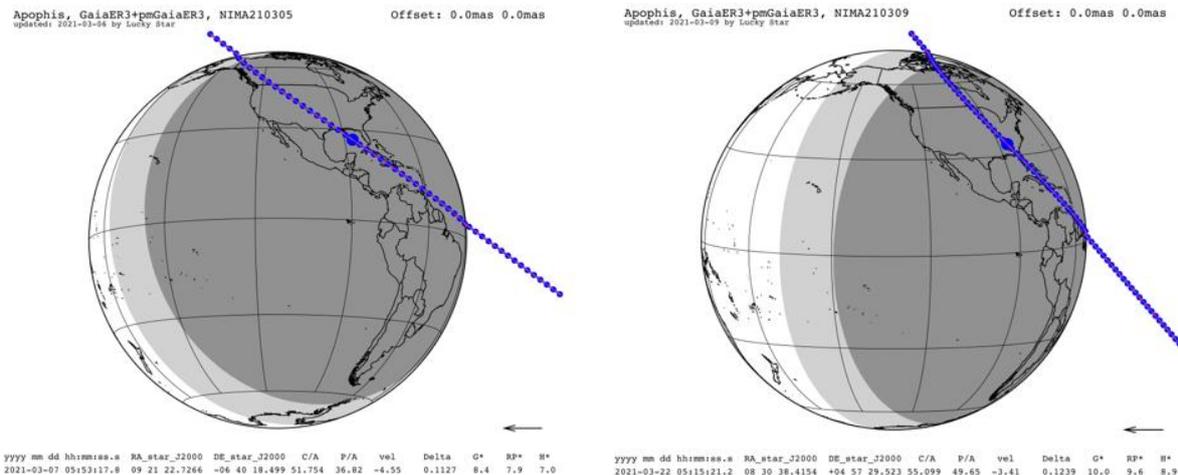
Publication : 14 avril 2021



L'astéroïde géocroiseur Apophis fascine car il effectue régulièrement des passages proches de la Terre. En mars 2021 déjà, il est passé à 16,8 millions de km de notre planète et, en avril 2029, il la frôlera à seulement 31 000 km, soit douze fois plus proche que la Lune ! Sa trajectoire est donc surveillée de près depuis sa découverte en 2004.

(Illustration à gauche : © [Astronomical Institute of the Charles University](#); [Josef Ďurech](#), [Vojtěch Sidorin](#) CC BY 4.0)

Pour la première fois, deux occultations stellaires par Apophis ont été observées pendant le mois de mars 2021, aux Etats-Unis. Ce succès est le résultat d'une collaboration entre : Paolo Tanga, astronome au laboratoire Lagrange (Observatoire de la Côte d'Azur/UCA/CNRS) ; Kleomenis Tsiganis (Université de Thessalonique, Grèce) ; Federica Spoto (Minor Planet Center, USA), Josselin Desmars, post-doctorant (IMCCE- IPSA-Observatoire de Paris) ; Damya Souami, post-doctorante, et Bruno Sicardy, professeur, du LESIA (Observatoire de Paris-PSL-CNRS-Université de Paris-Sorbonne Université) ; Bruno Morgado (Observatorio Nacional, Brésil) ; Felipe Braga-Ribas, professeur, (Federal University of technology, Brésil) ; et plusieurs équipes américaines d'astronomes professionnels et amateurs.



Cartes de prédiction des occultations par Apophis le 7 mars 2021 (gauche) et le 22 mars 2021 (droite). Les points bleus sur la trajectoire sont espacés toutes les minutes et la zone grisée représente la partie de la Terre dans la nuit.

Les occultations stellaires sont de très courts évènements produits quand un astéroïde se place entre notre point d'observation et une étoile, nous empêchant de recevoir sa lumière pendant un temps très court. Elles permettent non seulement de déterminer la taille et la forme des petits corps du système solaire avec une précision sub-kilométrique, mais également d'en donner leurs positions avec une très grande précision. Les prédictions requièrent cependant une bonne connaissance du mouvement du corps et de la position de l'étoile, ainsi qu'un réseau dense de télescopes le long du chemin de l'occultation. Pour un objet comme Apophis (environ 380 m de diamètre seulement), une telle détection revient à mesurer la taille d'une pièce d'un Euro à une distance de 1000 km ! Impensable sans la précision du catalogue Gaia et l'expertise de l'équipe internationale qui a préparé les observations. De plus, début mars, des mesures radar ont contribué à améliorer encore la précision de l'orbite. Enfin, la participation d'astronomes amateurs équipés de télescopes mobiles a été une fois de plus décisive dans le succès de ces observations.

Les premières occultations d'étoiles par Apophis, d'une durée de moins de 0.1 seconde, ont été enregistrées par de petits télescopes les 7 et 22 mars, améliorant la connaissance de l'orbite de l'astéroïde et permettant d'autres détections les 4 et 10 avril. Apophis devient ainsi le premier objet de

quelques centaines de mètres à être observé par occultation stellaire. Les positions déduites sont complémentaires et équivalentes en précision aux observations radar, avec l'avantage d'être beaucoup moins coûteuses.

Au-delà d'exclure tout risque d'impact pour les 100 prochaines années, ces observations nous ont également permis de mesurer des accélérations très faibles du mouvement d'Apophis dues à l'effet Yarkovsky. Ce très petite accélération produite par l'émission thermique de l'astéroïde, joue un rôle prépondérant sur la dynamique de l'objet et donc sur sa trajectoire et ses futurs passages proches avec la Terre. Les retombées scientifiques sont donc inédites.

La réussite de ces occultations annonce une ère nouvelle dans l'étude des astéroïdes géocroiseurs. Après les occultations stellaires par le géocroiseur Phaéon (environ 6 km de diamètre) observées avec succès en 2019 et les occultations par Apophis de mars 2021, nous pouvons maintenant envisager des occultations par d'autres astéroïdes tel que le géocroiseur Didymos, cible des missions DART (NASA) et Hera (ESA).

### **Pour plus d'information**

[Sur le site de l'Observatoire de Paris.](#)

### **En anglais :**

[https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/iow\\_20210329](https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/iow_20210329)

<https://asteroid-obs.oca.eu/foswiki/bin/view/Main/OccultationAstrometry>

### **Contacts**

- Paolo Tanga
- Josselin Desmars
- Damya Souami
- Bruno Sicardy
- Kleomenis Tsiganis

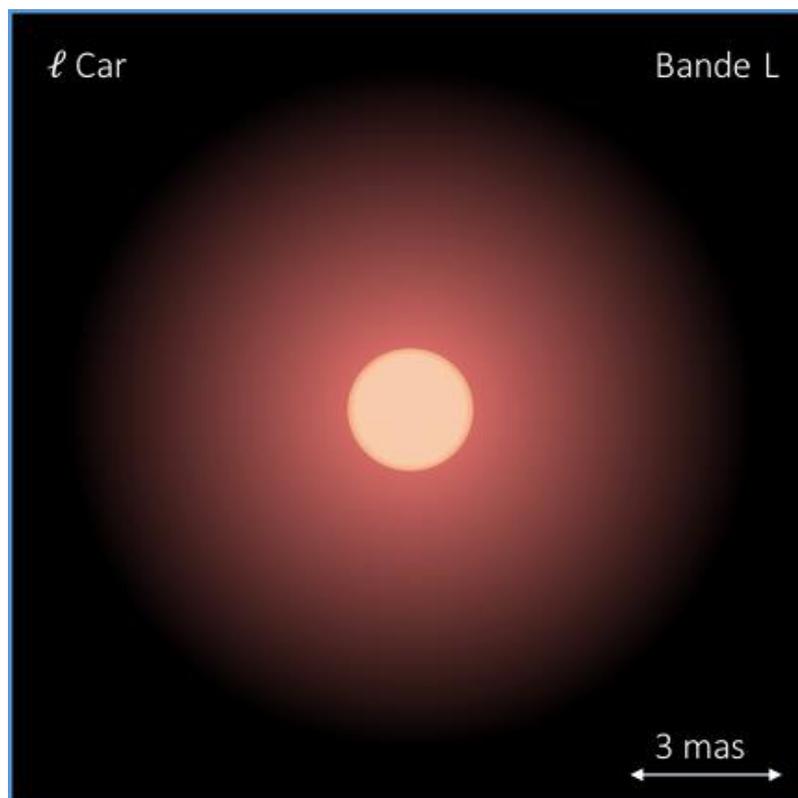
## Une nouvelle lumière sur les Céphéides grâce à l'instrument MATISSE du VLTI

Publication : 16 avril 2021



108 ans après la découverte fondamentale par Henrietta Leavitt des propriétés des étoiles variables dites « Céphéides » pour mesurer les distances dans l'Univers, une équipe internationale de scientifiques coordonnée par un chercheur du Laboratoire Lagrange - Observatoire de la Côte d'Azur/[Université Côte d'Azur/CNRS](#), a fait un pas de plus dans la compréhension de ces étoiles. Cette équipe a observé la Céphéide Carinae (I Car) avec l'instrument [MATISSE](#), situé à Paranal (Chili). [MATISSE](#) est un interféromètre qui recombine la lumière recueillie par 4 télescopes du VLT, offrant ainsi la possibilité d'observer la géométrie des objets très lointains, ou d'en réaliser des images aussi détaillées que le ferait un télescope virtuel de 100 mètres de diamètre. Cet instrument, conçu et réalisé principalement à l'Observatoire de la Côte d'Azur, a été installé au Chili à l'automne 2017, et commence tout juste à donner ses premiers résultats scientifiques.

À l'aide de MATISSE, les chercheurs ont pu observer I Car dans l'infrarouge moyen, simultanément en bande L, M et N, une gamme de longueur d'ondes qui n'était pas accessible auparavant avec cette résolution spatiale, et qui est idéale pour contraindre la composition en gaz ou en poussière des environnements stellaires. Ces observations ont permis de découvrir une émission continue en bande L provenant d'une enveloppe sphérique entourant cette étoile. L'absence de poussière autour de cette étoile est également confirmée par l'absence d'émission caractéristique en bande N, ce qui oriente les chercheurs pour la première fois à imaginer une enveloppe constituée de gaz ionisé autour de cette Céphéide. Ce gaz aurait été ionisé par les chocs répétitifs qui se produisent lors des pulsations de l'étoile. Pour déterminer cela, les scientifiques ont comparé un modèle d'enveloppe de gaz ionisé avec les observations de MATISSE, ainsi que des observations du télescope spatial Spitzer. Le modèle obtenu prédit une enveloppe de gaz plus compacte que celle observée par MATISSE, ce qui permet d'envisager de nouvelles pistes d'exploration de la physique de ces enveloppes.



*Illustration de l'observation de I Car en bande L (longueur d'onde de 3.2 to 3.9  $\mu\text{m}$ ). L'échelle montrée est mesurée en millisecondes d'arc (mas). 1 mas est l'équivalent de la taille d'un petit pois vu à 1000 km*

Ces recherches permettent d'apporter de nouvelles preuves de l'existence d'enveloppes circumstellaires autour des Céphéides, dont l'émission est susceptible de biaiser la détermination de distance de ces étoiles. Les Céphéides sont le maillon central de l'échafaudage des échelles de distance dans l'univers, et sont actuellement la clef qui permet d'évaluer avec précision la vitesse d'expansion de l'Univers, c'est à dire la constante de Hubble-Lemaître. De nouvelles observations avec MATISSE sont attendues pour caractériser les enveloppes d'un échantillon plus large de Céphéides, et ainsi déterminer plus exactement leur rôle dans l'étalonnage des distances dans l'Univers.

Lien vers l'étude: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021arXiv210317014H/abstract>

## Contacts

**Vincent Hოდé**, post-doctorant, Centre astronomique Nicolas Copernic de l'Académie des Sciences polonaise à Varsovie

**Nicolas Nardetto**, chargé de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (CNRS-Université Côte d'Azur - Observatoire de la Côte d'Azur)

## Télécommunications de demain : l'Agence Spatiale Européenne confie une mission cruciale à des chercheurs azuréens

Publication : 30 avril 2021



Aujourd'hui, les réseaux de télécommunications classiques, fondés sur les ondes radioélectriques, sont au bord de la saturation. Une solution ? les télécommunications optiques, fondées sur le transport de données par la lumière (laser), sont en mesure de multiplier par 10 le débit de ces échanges de données. Mais pour la mise en place de ces nouveaux réseaux à l'échelle de la planète, les chercheurs doivent considérer trois problèmes majeurs qui perturbent ces transmissions : les nuages, les aérosols et la turbulence atmosphérique. Une équipe de scientifiques associant le CNRS, l'Observatoire de la Côte d'Azur et UCA s'est vu confier par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), l'évaluation des sites pressentis pour accueillir les stations de ce nouveau réseau. Les chercheurs devront étudier ces trois phénomènes sur chaque site afin de les qualifier et ainsi de permettre de choisir les meilleurs, c'est-à-dire les moins exposés à l'altération des transmissions optiques par le climat, les aérosols et la turbulence dans l'atmosphère.

Sous le nom d'ANATOLIA, pour Atmospheric moNitoring to Assess the availabiliTy of Optical LInks through the Atmosphere, un consortium européen rassemblant de nombreux acteurs a été créé et sa direction a été confiée à une équipe du laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA). Aziz Ziad, professeur à l'Université Côte d'Azur en est le responsable scientifique et nous explique : « *Les perturbations des télécommunications optiques sont similaires à celles que nous rencontrons en astronomie. En effet, les nuages, la pollution ou encore la turbulence atmosphérique perturbent les observations en altérant la qualité de la lumière captée par les télescopes. Au sein de notre laboratoire dédié à l'astronomie et à l'astrophysique, nous avons donc tout naturellement développé des compétences en optique atmosphérique nécessaires à la définition des systèmes d'optique adaptative, procédé qui permet de corriger ces perturbations* ». Une station entièrement dédiée à l'étude de ces phénomènes même été installée sur le site d'observation du plateau de Calern où elle est bien utile à l'instrument MéO, qui utilise le laser pour étudier la distance Terre-Lune ou pour réaliser des relevés de géodésie. Appelée [CATS](#) (Calern Atmospheric Turbulence Station), cet ensemble d'instruments est devenu la station de référence pour le consortium Anatolia qui propose d'en concevoir et fabriquer une version mobile à déplacer sur les sites sélectionnés pour accueillir une station de télécommunications optiques au sol, dans les États membres de l'ESA ou à proximité.



*La station CATS, Calern Atmospheric Turbulence Station, plateau de Calern à Caussols, Observatoire de la Côte d'Azur.*

Le but sera d'enregistrer en continu les informations locales sur les nuages, les aérosols et les conditions de turbulence atmosphérique pendant une période de deux ans et de les corrélérer avec d'autres sources de données disponibles (sites météorologiques, satellites, etc.) L'objectif principal sera d'améliorer la connaissance de la disponibilité de la liaison optique pour les emplacements sélectionnés des stations terrestres optiques et de réaliser des essais de fonctionnement. Mais aussi de valider à long terme les méthodes de prévision de la disponibilité des liaisons optiques.

## **Consortium Anatolia**

CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, Université Côte d'Azur, UMR Lagrange, Icare/Aeris, Norway University, Airbus DS, Thales Alenia Space, Latmos, Réuniwatt, Cimel.

## **Financement**

**ESA** : 2 millions d'euros selon les contributions suivantes : **CNES** : 1,6 millions d'euros

**Agence spatiale de la Norvège** : 400 000 euros

## **Implication des personnels Lagrange**

**Aziz Ziad**, professeur Université Côte d'Azur, responsable scientifique **Christophe Giordano**, Docteur, CNRS, recruté par Anatolia comme Chef de projet **Eric Aristidi**, Maître de Conférences Université Côte d'Azur **Marcel Carbillet**, Professeur Université Côte d'Azur **Yan Fanteï-Caujolle**, Ingénieur en informatique CNRS, **Christophe Bailet**, Ingénieur en mécanique OCA, **Isabelle Bailet**, Gestionnaire OCA

Direction technique du laboratoire Lagrange : **Carole Gouvret** et **Philippe Bério**.

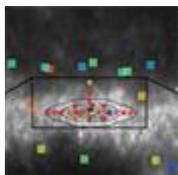
## **Contact**

**Aziz Ziad**

## MAI

## Le centre de notre galaxie dévoilé

Publication : 20 mai 2021

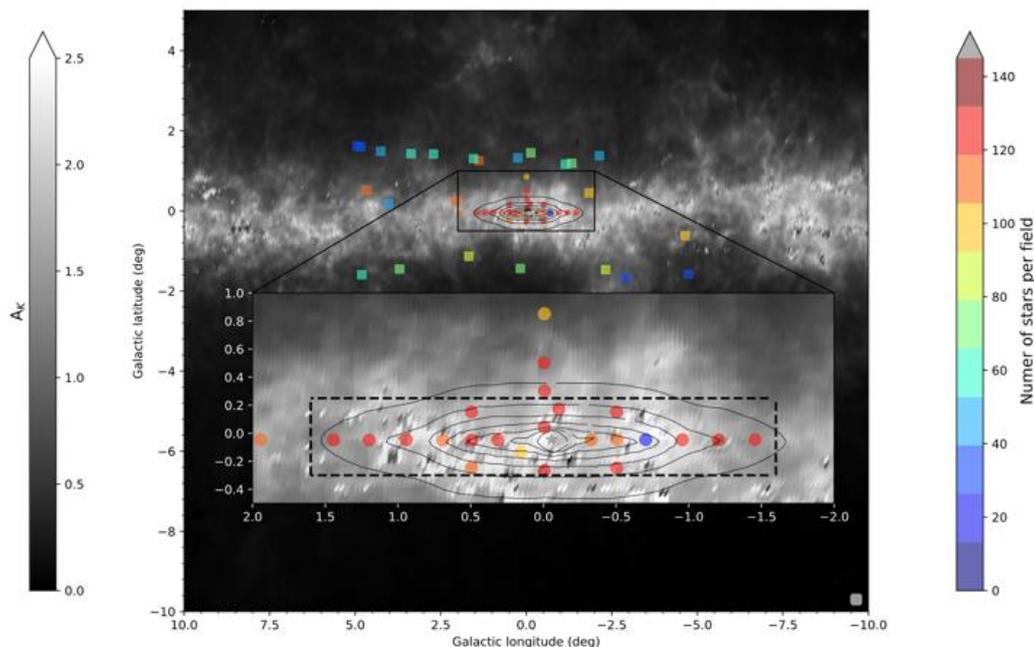


Une équipe internationale de chercheurs, coordonnée par Mathias Schultheis, astronome au laboratoire Lagrange (Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, UCA), a révélé pour la première fois la composition et le mouvement d'une des structures de la Voie Lactée, notre galaxie.

En utilisant les observations obtenues grâce à l'instrument KMOS, un spectroscopie situé sur un des télescopes du VLT (ESO), au Chili, cette équipe a étudié plus de 3000 étoiles de la région du disque nucléaire stellaire, situé autour de l'amas stellaire nucléaire, au centre de la Voie Lactée où se trouve le trou noir supermassif. La grande quantité de poussière interstellaire dans cette région rend cette tâche particulièrement difficile et est à l'origine de la méconnaissance des propriétés du disque nucléaire avant cette étude.

Contrairement à ce qui était attendu, cette étude a montré que les étoiles du disque nucléaire ne partagent pas des caractéristiques de métallicité (quantité d'éléments chimiques différents de l'hydrogène) ni de dynamique avec celles présentes dans les structures qui les entourent : le bulbe et l'amas nucléaire. De plus, deux populations différentes ont été identifiées dans le disque nucléaire : les étoiles qui possèdent plus de métaux et présentent une vitesse de rotation plus grande ; et la population plus pauvre en métaux avec une vitesse de rotation plus faible. L'origine de ces deux populations s'est révélée également différente. Les étoiles avec un taux de métallicité plus élevé ressemblent en composition et dynamique au gaz présent dans la Zone Centrale Moléculaire, une région de la Voie Lactée composée de gaz très dense d'une masse équivalente à 60 millions de masses solaires. Cette région pourrait être donc le berceau de cette population d'étoiles de fort taux de métallicité du disque nucléaire. Les étoiles de plus faible métallicité auraient vraisemblablement une origine différente.

Les propriétés découvertes dans les profondeurs de notre Voie Lactée aident les scientifiques à mieux comprendre sa formation, mais aussi la formation des autres galaxies qui lui ressemblent, dans lesquelles on a pu observer des disques nucléaires stellaires. Les caractéristiques et l'origine de ces disques sont donc fondamentales pour comprendre la formation des galaxies qui composent l'Univers.



Carte de la poussière présente au centre de la Voie Lactée. Les cercles en couleur représentent les zones étudiées dans ce travail. Les carrés en couleur représentent les zones étudiées lors de travaux précédents.

## Au cœur de l'amas des étoiles les plus massives de notre Univers local

Publication : 27 mai 2021



Cordonnée par Zeinab Khorrami, chercheuse qui a réalisé son doctorat à l'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), une équipe internationale de scientifiques, dont des chercheurs de l'OCA, a étudié un amas d'étoiles situé dans le Grand Nuage de Magellan, galaxie voisine de notre propre Voie Lactée. L'amas R136 se trouve à l'intérieur de la nébuleuse de la Tarentule, plus précisément dans 30 Doradus, une région de formation stellaire. Il a comme particularité d'être extrêmement jeune et de contenir les étoiles les plus massives connues dans l'Univers local. Il constitue donc un endroit unique pour étudier la formation d'étoiles massives et leur évolution.

Cette équipe a observé R136 à l'aide de l'instrument IRDIS de [SPHERE](#), situé au [Very Large Telescope](#) (ESO), au Chili. Cet instrument, conçu et réalisé avec la participation de l'Observatoire de la Côte d'Azur, utilise une technique d'optique adaptative extrême qui permet d'éliminer les perturbations de l'atmosphère terrestre sur la lumière de l'objet astronomique observé. Les astronomes peuvent ainsi réaliser des observations avec une définition inégalables auparavant depuis la Terre.

SPHERE a permis à cette équipe d'observer dans l'infrarouge et de détecter presque 1500 étoiles à l'intérieur de l'amas R136 avec un détail suffisant pour pouvoir les analyser. Dans un premier article, accepté en février par la revue [Monthly Notices of the Royal Astronomical Society](#) (MNRAS), cette chercheuse et ses collaborateurs ont comparé des données de l'amas prises en deux époques différentes et ils ont été capables d'analyser la fonction de masses de R136. Leurs résultats ont montré que de nouvelles étoiles continuent à se former dans la nébuleuse de 30 Doradus. Celles-ci s'agrégent ensuite à l'amas.



*Fig. 1. Montage d'images de R136 et son environnement. À gauche, image de la nébuleuse de la Tarentule dans des longueurs d'onde visibles avec le télescope de 2.2 mètres de l'ESO. Au centre, image de la région 30 Doradus également dans le visible, prise avec le VLT (télescope de 8 mètres de l'ESO). À droite, image en infrarouge prise avec le VLT en utilisant l'optique adaptative de première génération. Crédit : ESO/P. Crowther/C.J. Evans*

Dans un deuxième article, accepté en avril comme lettre dans la revue [Astronomy and Astrophysics](#) (A&A), cette équipe a trouvé deux étoiles qui semblent se détacher du reste de l'amas par leur mouvement propre. Ils les ont appelées HOMAs, prenant le nom de l'oiseau mythique des légendes Persanes qui ne se repose jamais, et qui vole très haut dans le ciel, invisible, pendant toute sa vie. Les HOMAs détectées dans R136 sont deux étoiles avec un mouvement propre qui correspond à une vitesse tangentielle proche de 300 km/s. Plusieurs raisons sont explorées pour expliquer la vitesse de ces deux étoiles, notamment une explosion de supernova, leur éventuelle rencontre avec un objet très massif comme un trou noir, ou liée aux mécanismes de leur formation initiale. Pour l'instant, les chercheurs n'ont pu confirmer l'un d'entre ces scénarios et continueront à étudier ces objets pour dévoiler l'origine de ces HOMAs mythiques !

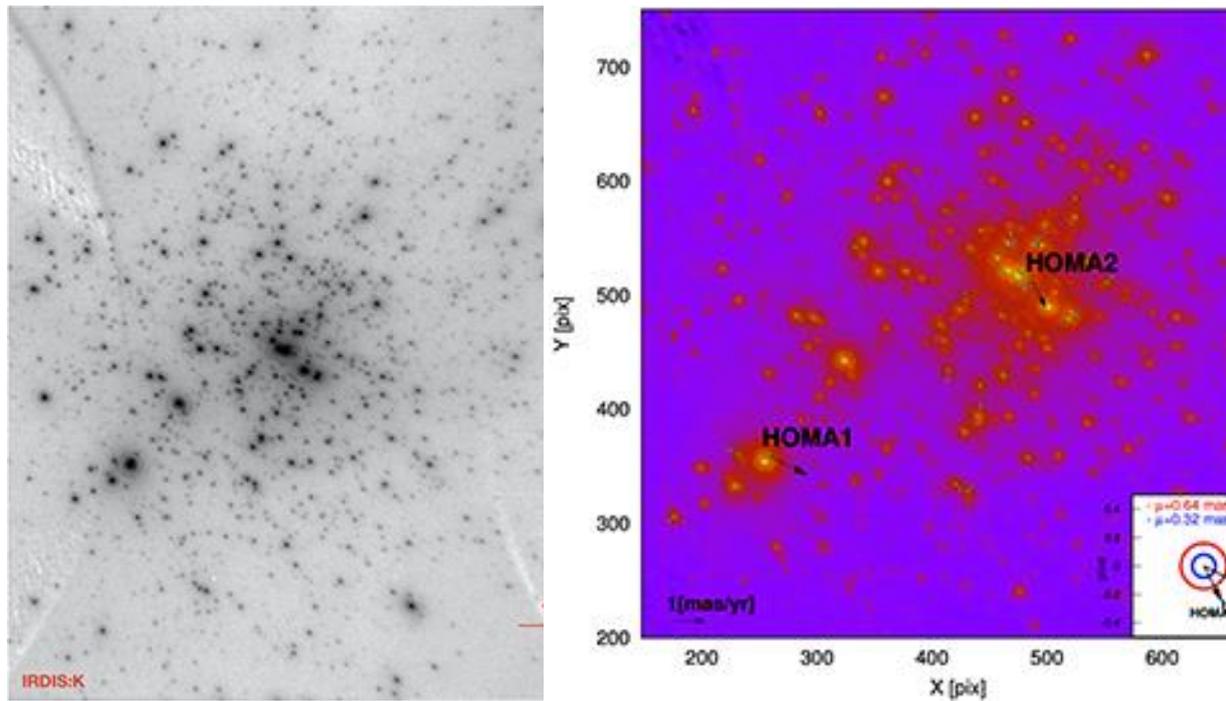


Fig. 2. Gauche : Image de R136 prise avec l'instrument d'optique adaptative de 2<sup>ème</sup> génération IRDIS (SPHERE/VLT). Droite : Position des deux HOMAs dans l'amas R136. Crédits : Khorrami et al., MNRAS, 503, 2021 ; Khorrami et al., A&A Letters, 649, 2021.

## Références

Khorrami, Z.; Langlois, M.; Clark, P.-C.; Vakili, F. et 7 co-auteurs. « [High-contrast and resolution near-infrared photometry of the core of R136](#) », MNRAS, Vol. 503, Issue 1, pp.292-311, 2021.

Khorrami, Z.; Langlois, M.; Vakili, F.; Clark, P. C.; et 8 co-auteurs. « [Extreme adaptive optics astrometry of R136. Searching for high proper motion stars](#) », Astronomy & Astrophysics, Volume 649, id.L8, 6 pp., 2021.

## JUIN

## Trous noirs et étoiles à neutrons : la dernière danse de « couples mixtes »

Publication 29 juin 2021

- Les détecteurs d'ondes gravitationnelles ont capté un nouveau type de cataclysme cosmique : la fusion d'une étoile à neutrons avec un trou noir.
- Ce phénomène a été détecté par deux fois en janvier 2020.
- Plusieurs hypothèses peuvent expliquer l'existence de tels couples mixtes. Pour trancher, il faudra accumuler d'autres observations.

**Une nouvelle pièce vient d'être ajoutée au catalogue des phénomènes cosmiques. Annoncée par les collaborations Ligo, Virgo et Kagra, il s'agit de la première détection d'ondes gravitationnelles<sup>1</sup> provenant de la fusion « mixte » entre un trou noir et une étoile à neutrons<sup>2</sup>. Cette découverte, publiée le 29 juin 2021 dans *Astrophysical Journal Letters*, implique des chercheurs et chercheuses du CNRS travaillant au sein de la collaboration scientifique Virgo.**

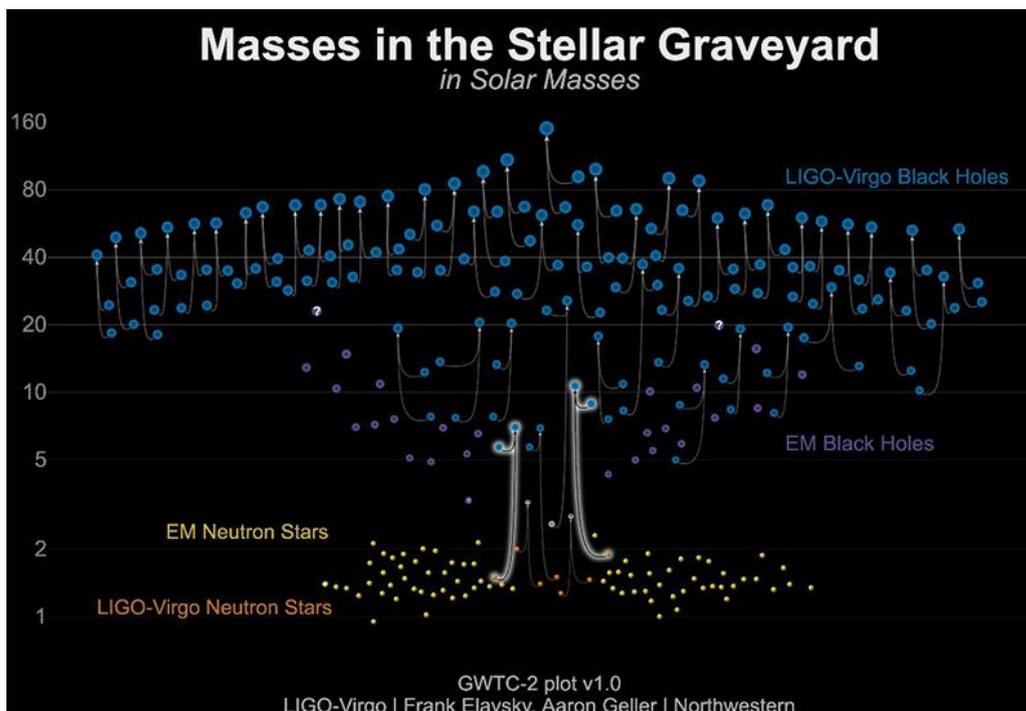
Quelques années ont suffi pour que l'observation des ondes gravitationnelles fournisse un répertoire conséquent de phénomènes issus d'objets cosmiques massifs. Les détecteurs Ligo et Virgo ont ainsi permis d'étudier des fusions de « couples » (ou binaires) de trous noirs, pour la plupart, et parfois d'étoiles à neutrons. Mais des ondes gravitationnelles, mesurées en janvier 2020 et dont les signaux associés sont surnommés GW200105 et GW200115 selon leurs dates de détection, témoignent de l'existence de nouveaux types de systèmes. Ces signaux proviennent en effet d'un phénomène déjà théorisé, mais jusqu'alors jamais observé : la coalescence de « couples mixtes » composés chacun d'un trou noir et d'une étoile à neutrons<sup>3</sup>.

Les ondes gravitationnelles contiennent des informations précieuses sur leurs origines, comme la masse des éléments de la binaire. Leurs analyses ont donc permis de révéler que GW200105 provenait d'un trou noir et d'une étoile à neutrons respectivement 8,9 fois et 1,9 fois plus massifs que le Soleil et dont la fusion a eu lieu il y a 900 millions d'années. Le signal GW200115, quant à lui, est issu d'objets 5,7 et 1,5 fois plus massifs que notre astre et sa coalescence remonte à 1 milliard d'années. La différence de masse entre les éléments du système indique qu'il s'agit bien de binaires « mixtes » : la masse de l'objet le plus lourd correspond effectivement à celle d'un trou noir et la masse du plus léger à celle d'une étoile à neutrons. L'écart entre ces deux masses pourrait aussi expliquer l'absence d'observation de signaux lumineux par des télescopes. En effet, une étoile à neutrons s'approchant d'un trou noir peut théoriquement se déchirer sous l'effet de forces de marée, provoquant alors une éruption de rayonnements lumineux. Mais dans les deux cas observés, le trou noir, bien plus massif, pourrait avoir avalé l'étoile à neutrons en une seule bouchée, sans laisser de traces.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer la formation de ces binaires « mixtes ». La première est celle de l'évolution d'un couple d'étoiles, en orbite l'une autour de l'autre, qui deviendraient à la fin de leur vie un trou noir et une étoile à neutrons encore liés. Selon une autre hypothèse, celle de l'interaction dynamique, les deux éléments se formeraient séparément dans un milieu stellaire très dense avant de se rejoindre. Ces résultats ouvrent la voie à la détection d'autres binaires « mixtes » et à l'observation et la compréhension de phénomènes extrêmes similaires.



Vue d'artiste d'une fusion trou noir-étoile à neutrons. © Carl Knox, OzGrav -Swinburne University



Représentation de la masse des trous noirs et étoiles à neutrons détectés via les ondes gravitationnelles (bleu et orange) et via les observations électromagnétiques (violet et bleu). Les fusions trous noirs-étoiles à neutrons correspondant aux signaux GW200105 et GW200115 sont représentés au centre. © LIGO-Virgo / Frank Elavsky, Aaron Geller / Northwestern

Pour aller plus loin :

- [Quand un trou noir rencontre une étoile à neutrons](#), CNRS Le Journal, 29 juin 2021

- Résumé scientifique, fiche d'information et publication scientifique à retrouver [sur le site de la collaboration Virgo](#).

## Bibliographie

**Observation of gravitational waves from two neutron star-black hole coalescences**, The LIGO Scientific Collaboration, the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration, *Astrophysical Journal Letters*, le 29 juin 2021. [DOI : 10.3847/2041-8213/ac082e](https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac082e)

La collaboration Ligo-Virgo-Kagra promeut la science ouverte et rend accessible les données associées à cette observation sur le site <http://www.gw-openscience.org>

## Contact

**Astrid Lamberts** Chercheuse CNRS, responsable de l'équipe ayant écrit l'article sur la détection

**Matteo Barsuglia** Chercheur CNRS, responsable pour la France de la collaboration Virgo

**Véronique Etienne** Attachée de presse CNRS

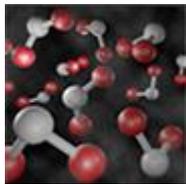
**Vincenzo Napolano** Chargé de communication, EGO

## Notes

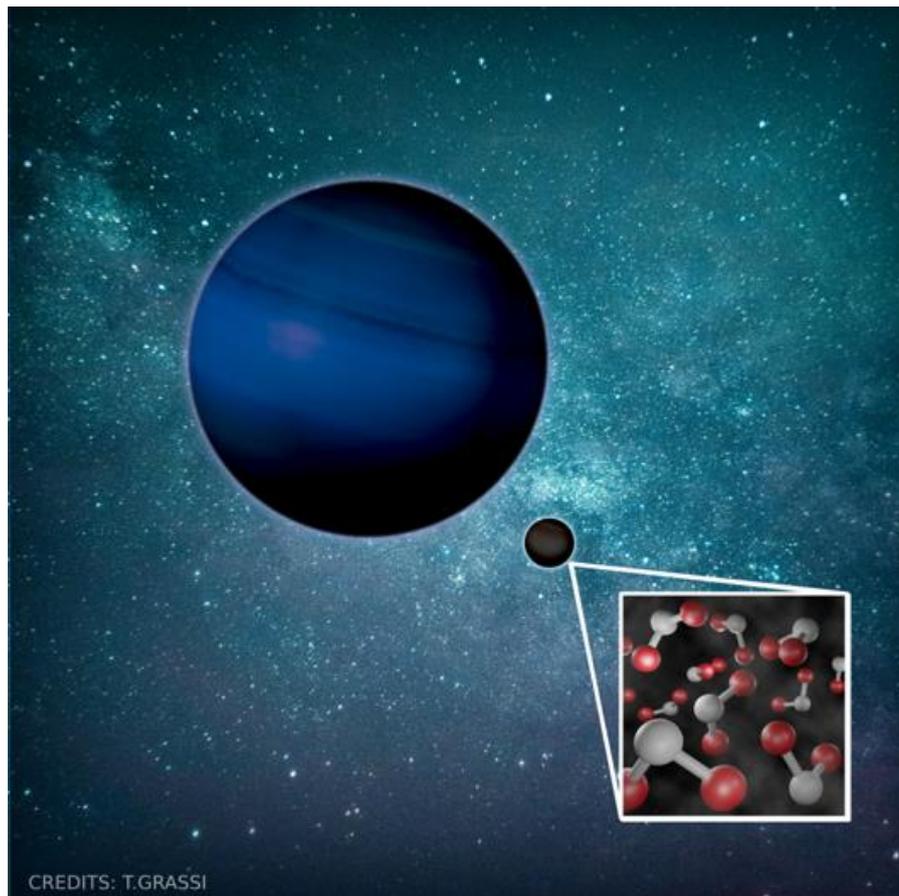
1. Les ondes gravitationnelles correspondent à d'infimes ondulations de l'espace-temps et ont été observées pour la première fois en 2015, un siècle après leur prédiction par Albert Einstein dans sa théorie de la relativité générale.
2. Une étoile à neutrons est un résidu issu de l'effondrement d'une étoile massive en fin de vie.
3. Les deux signaux ont des niveaux de confiance différents. Même si celui de GW200105 n'est pas très élevé, la forme du signal et les paramètres qui en ont été déduits sont en faveur d'une origine astrophysique.

## De l'eau liquide sur les lunes des planètes flottantes

Publication : 9 juin 2021



Les lunes des planètes qui n'ont pas d'étoile mère peuvent posséder une atmosphère et conserver de l'eau liquide. Des astrophysiciens de l'université Ludwig-Maximilian de Munich, de l'université de Concepción au Chili, du laboratoire Lagrange (CNRS-Université Côte d'Azur -Observatoire de la Côte d'Azur) et de l'université de Tokyo ont calculé que ces systèmes pourraient abriter suffisamment d'eau pour rendre la vie possible - et la maintenir.



*De l'eau liquide peut exister sur les lunes des planètes flottantes (FFP). Image : Tommaso Grassi/LMU*

L'eau - sous forme liquide - est l'élixir de vie. Elle a rendu la vie possible sur Terre et est indispensable à la poursuite de l'existence des systèmes vivants sur la planète. Cela explique pourquoi les scientifiques sont constamment à la recherche de preuves de la présence d'eau sur d'autres corps solides dans l'Univers. Jusqu'à présent, l'existence d'eau liquide sur des planètes autres que la Terre n'a pas été directement prouvée. Cependant, il existe des indications selon lesquelles plusieurs lunes situées aux confins de notre propre système solaire - plus précisément Encelade de Saturne et trois des lunes de Jupiter (Ganymède, Callisto et Europe) - pourraient posséder des océans souterrains. Quelles sont donc les perspectives de détection d'eau sur les lunes de planètes situées au-delà de notre système solaire ?

La collaboration, qui inclue Andrea Chiavassa du Laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) a utilisé des méthodes mathématiques pour modéliser l'atmosphère et la chimie de la phase gazeuse d'une lune en orbite autour d'une planète flottante (FFP). Une FFP est une planète qui n'est pas associée à une étoile.

## Plus de 100 milliards de nomades planétaires

Les FFP sont intéressants principalement parce que les preuves indiquent qu'il y en a beaucoup. Selon des estimations, notre propre galaxie abrite au moins autant de planètes orphelines de la taille d'un Jupiter que d'étoiles - et la Voie lactée elle-même abrite bien plus de 100 milliards d'étoiles. Les auteurs ont simulé numériquement la structure thermique de l'atmosphère d'une lune de la même taille que la Terre en orbite autour d'un FFP. Leurs résultats suggèrent que la quantité d'eau présente à la surface de la lune serait environ 10 000 fois plus petite que le volume total des océans de notre planète, mais 100 fois plus grande que celle trouvée dans l'atmosphère terrestre. Cela serait suffisant pour permettre à la vie d'évoluer et de prospérer.

Le modèle à partir duquel cette estimation a été établie consiste en une lune de la taille de la Terre et un FFP de la taille de Jupiter. Un tel système, qui n'a pas de compagnon stellaire à proximité, devrait être sombre et froid. Contrairement à notre système solaire, il n'y a pas d'étoile centrale qui puisse servir de source d'énergie fiable pour alimenter les réactions chimiques.

## Le rayonnement cosmique et les forces de marée au premier plan !

Dans le modèle des chercheurs, les rayons cosmiques fournissent plutôt l'impulsion chimique nécessaire pour convertir l'hydrogène moléculaire et le dioxyde de carbone en eau et autres produits. Pour maintenir le système en ébullition, les auteurs invoquent les forces de marée exercées par la planète sur sa lune comme source de chaleur - et en supposant que le dioxyde de carbone représente 90 % de l'atmosphère de la lune, l'effet de serre qui en résulte retiendrait effectivement une grande partie de la chaleur générée sur la lune. Ensemble, ces sources d'énergie suffiraient à maintenir l'eau à l'état liquide.

## Références

[Presence of water on exomoons orbiting free-floating planets: a case study](#). In: International Journal of Astrobiology, 08 June 2021.

## Contacts

**Dr. Tommaso Grassi**, ORIGINS Cluster of Excellence, LMU Munich.

**Dr. Andrea Chiavassa**, Laboratoire Lagrange, (CNRS-UCA-OCA)

## Communiqués de presse originaux

[Origin Cluster Munich](#)

[LMU Munich](#)

## Bételgeuse : l'épaule poussiéreuse du guerrier

Publication : 16 juin 2021



Bételgeuse, l'épaule droite du fier Orion qui règne sur le ciel d'hiver, a mis les scientifiques sur des charbons ardents pendant plusieurs mois. Étoile rougeâtre, avec une couleur bien identifiable à l'œil nu surtout en comparaison avec la bleue Rigel, le pied gauche du guerrier, Bételgeuse a vu sa luminosité affaiblie pendant plusieurs mois pendant l'hiver 2019-2020.

Des spéculations sont rapidement apparues, l'étoile se faisant de plus en plus faible à l'œil nu, l'hypothèse de l'arrivée de la fin de la vie de cette géante rouge et son imminente explosion en forme de supernova a pris vite sa place dans l'imaginaire (et les espoirs !) des scientifiques et des amateurs du ciel. La dernière supernova apparue dans notre galaxie datant du XVII<sup>e</sup> siècle, l'expectative de voir éclater l'épaule du guerrier et assister à ce qui devrait être un événement sublime était grande. Une telle explosion rendrait en effet l'étoile visible en plein jour et certains disent même qu'il serait possible de lire un livre au clair de supernova lors d'une nuit sans lune.

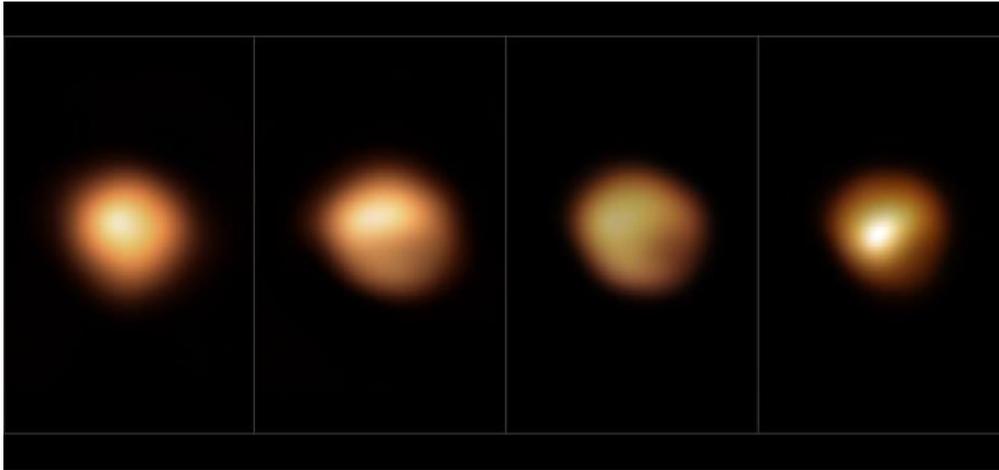


*Image de la constellation d'Orion en février 2012 (gauche) et février 2020 (droite). La luminosité de Bételgeuse apparaît largement diminuée. Crédits : H. Raab*

L'équipe de scientifiques coordonnée par Miguel Montargès ([Observatoire de Paris](#)), dont des chercheurs du Laboratoire Lagrange (Observatoire de la Côte d'Azur/[UCA/CNRS](#)), ont donc braqué rapidement les plus grands télescopes sur cette étoile, notamment les télescopes du VLT (Very Large Telescope) situés dans le désert d'Atacama, au Chili. Dotés d'instruments d'observation avec les technologies les plus modernes, ces télescopes ont produit les observations nécessaires pour comprendre le phénomène physique qui avait amené Bételgeuse à faiblir sa luminosité.

Ces instruments, et notamment l'instrument SPHERE, co-porté par l'Observatoire de la Côte d'Azur, peuvent aujourd'hui explorer les environnements stellaires avec une résolution inatteignable auparavant depuis le sol. En effet, SPHERE est doté de la technologie d'optique adaptative extrême, qui permet de corriger les effets de turbulence atmosphérique qui brouillent les images quand la lumière traverse l'atmosphère terrestre. L'augmentation de la résolution spatiale implique d'être capable de distinguer des détails très fins à la surface des objets observés, ce qui a permis d'analyser avec détail l'environnement circumstellaire de Bételgeuse.

Plusieurs images ont été obtenues dans le visible avec la caméra ZIMPOL de SPHERE, qui avait permis dès 2016 d'obtenir des images de la surface de Bételgeuse. L'étoile était surveillée avant « *le Grand Déclin* » de fin 2019. Il a été donc possible de comparer les différentes images et de constater que la baisse de luminosité n'était pas homogène, mais qu'elle se centrait plutôt dans le quadrant Sud-Ouest. Quelque chose s'était donc passé sur ou devant une partie de la surface de l'étoile. Cela était un argument clair contre l'explosion imminente d'une supernova.



Images prises avec la caméra ZIMPOL de SPHERE qui montrent la tache de poussière formée à partir de décembre 2019.

Mais les observations ne font pas tout en astronomie. Pour pouvoir interpréter les images obtenues, des modèles physiques des étoiles et de son environnement sont nécessaires. Dans le cas de Bételgeuse, les modèles ont permis d'analyser les possibles hypothèses pour expliquer les images obtenues, notamment l'apparition d'une zone froide sur la surface de l'étoile qui aurait rendu cette zone soit moins lumineuse ou la formation d'un grumeau de poussière entre l'étoile et nous qui aurait occulté une partie de l'astre.

Les solutions des astronomes doivent toujours prendre en compte toutes les données connues sur l'objet qu'ils étudient. Dans le cas de Bételgeuse, la géante rouge est connue pour avoir de petites variations de luminosité dues à des pulsations et à sa surface « bouillonnante » (voir « [Le coin des curieux – Pi Gruis ou le mystère résolu de l'étoile bouillonnante](#) »). Ces indices ont amené les chercheurs à imaginer une hypothèse combinée : le bouillonnement de l'étoile, c'est-à-dire, sa convection, aurait provoqué l'apparition d'une zone plus froide sur la surface de l'étoile et fait s'échapper du gaz qui aurait favorisé la formation rapide de poussière juste devant l'étoile qui, en bloquant sa chaleur aurait provoqué encore une cascade de formation de poussière. Ce (gros) grumeau formé aurait été éjecté et aurait obscurci l'étoile pendant « *le grand Déclin* ». Son expansion avec le temps et donc la diminution de son opacité, aurait amené l'étoile à récupérer sa luminosité initiale, comme on l'observe à nouveau aujourd'hui.

Nous sommes loin, donc, de l'hypothèse dans laquelle Bételgeuse se prépare pour nous délecter avec une explosion fascinante. C'est plutôt l'hypothèse de l'épaule poussiéreuse que le guerrier Orion aurait nettoyé d'un mouvement de main que les chercheurs mettent en avant, ravis d'avoir observé en temps réel un évènement produit dans une étoile et de l'avoir compris et expliqué.

Continuons donc à regarder le ciel, si la supernova n'arrivera pas pour l'instant du côté de Bételgeuse, peut être qu'une autre étoile se prépare en silence pour nous faire le cadeau de ce magnifique spectacle.

## Références

[A dusty veil shading Betelgeuse during its Great Dimming](#), Nature, 16 juin 2021.

[Image de la surface de Bételgeuse prise en décembre 2019.](#)

## Contacts

Pour toute information complémentaire ou diffusion de cet article, contactez l'auteur : **Olga Suarez**

Pour plus d'information scientifique : **Eric Lagadec**

## Un astéroïde à leur nom en récompense

Publication : 17 juin 2021



L'[Union Astronomique Internationale](#) est chargée de nommer officiellement les corps célestes, dont les astéroïdes, les étoiles, les planètes, les objets interstellaires... Les noms choisis pour les astéroïdes mettent souvent à l'honneur des scientifiques qui ont contribué à l'avancée des connaissances de ces petits corps. Les chercheurs de l'UMR Lagrange, expérimentés, jeunes doctorants ou post-doctorants de passage, voient régulièrement leur nom attribué à un astéroïde par exemple, en reconnaissance de leurs travaux de recherche.

Cela a été le cas encore récemment avec :

Nom de l'astéroïde	Référence de l'astéroïde	Lien avec l'UMR Lagrange
(28594) Ronaldballouz	2000 EF134	Ancien doctorant, bourse Chateaubriand de l'ambassade de France aux Etats-Unis
(43081) Stephenschwartz	1999 VA199	Ancien doctorant, bourse Chateaubriand et post-doctorant sur contrat européen Neoshield-2
(42175) Yuyang	2001 CR21	Ancien post-doctorant sur contrat européen Neoshield-2
(45846) Avdellidou	2000 RA96	Post-doctorante Université Côte d'Azur
(31985) Andrewryan	2000 HV23	Ancien post-doctorant Université Côte d'Azur
(37309) Pajuelo	2001 OX62	Ancienne étudiante
(41184) Devogèle	1999 VW199	Ancien doctorant Université Côte d'Azur
(42177) Bolin	2001 CL22	Ancien doctorant Université Côte d'Azur
(53537) Zhangyun	2000 AZ239	Post-doctorante Université Côte d'Azur et contrat européen NEO-MAPP

Retrouvez l'ensemble des nominations sur le [WGSBN Bulletin](#) de l'AUI.

## JUILLET

## WEAVE : un instrument pour l'analyse des lumières de l'Univers

Publication : 12 juillet 2021



Soutenu en France par [le CNRS](#), [l'Observatoire de Paris – PSL](#) et [l'Observatoire de la Côte d'Azur](#), le spectrographe WEAVE est arrivé à destination aux Canaries. Ce nouvel instrument répondra aux besoins de la communauté astronomique qui se dote ici d'un outil plus efficace pour observer l'Univers. Les tests de ses composants ont confirmé l'excellence de ses capacités et il devrait commencer à observer le ciel en octobre 2021.

L'analyse de la lumière émise par les objets célestes permet aux astrophysiciens de déduire de nombreuses informations à leur propos. Cette méthode d'analyse appelée spectroscopie astronomique connaît de grandes avancées depuis une quarantaine d'année et le développement de la spectroscopie dite « *multi-objets* » qui étudie la lumière de plusieurs cibles simultanément. Elle fait aujourd'hui un nouveau bond en avant grâce au spectrographe WEAVE.

Ce nouvel instrument pourra déployer presque mille fibres optiques sur un très grand champ de vue et sera capable d'étudier en même temps la lumière émise par autant d'objets astronomiques. La versatilité de ce spectrographe permettra aux astronomes de travailler plus efficacement et ainsi de réaliser des avancées en astrophysique, pour l'étude l'évolution des galaxies et des quasars, qui sont des noyaux de galaxies très lumineux, par exemple.

Ses principaux composants sont maintenant arrivés à l'Observatoire de Roque de los Muchachos (Canaries, Espagne) où WEAVE doit être installé cet été sur le télescope William Herschel et démontrent des capacités optimales. Sur la base de ces résultats, on peut s'attendre à ce que WEAVE fournisse des spectres de haute qualité. Sa mise en service et ses premières observations sur le ciel sont prévues pour le mois d'octobre 2021.

Le consortium ayant conçu WEAVE a impliqué des équipes au Royaume-Uni, aux Pays Bas, en Espagne, en Italie, au Mexique et en France. Dans l'Hexagone, il a profité de l'expertise des laboratoires Galaxies, étoiles, physique, instrumentation (Observatoire de Paris – PSL/CNRS) et Lagrange (CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Côte d'Azur), et du soutien de l'Observatoire des sciences de l'Univers Terre homme environnement temps astronomie (ex-Observatoire de Besançon ; CNRS/Université Bourgogne Franche-Comté).

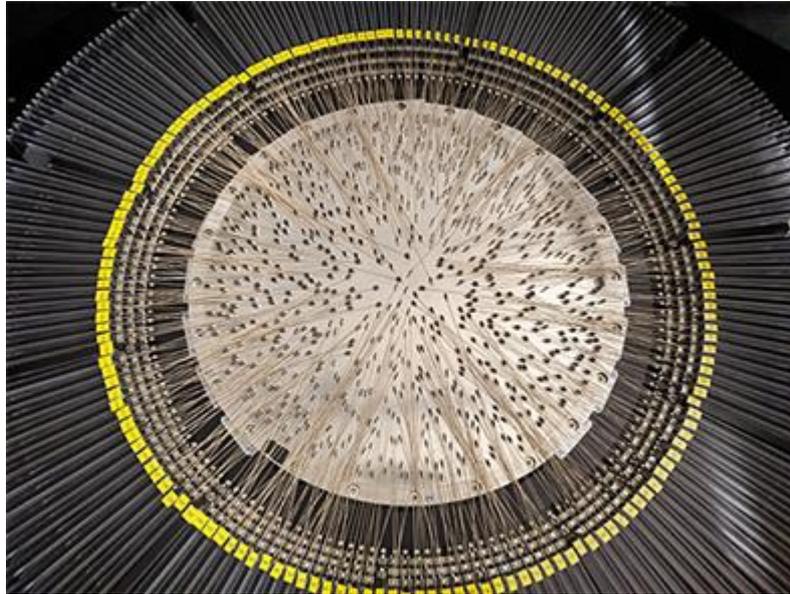
En France, la construction de WEAVE a été financée par le CNRS, l'Observatoire de Paris-PSL, les régions Île-de-France<sup>1</sup> et Bourgogne-Franche-Comté.

Plusieurs autres entités internationales ont également participé à son financement :

- au Royaume-Uni : le Conseil des infrastructures scientifiques et technologiques (STFC),
- aux Pays-Bas : l'École néerlandaise de recherche en astronomie (NOVA), le Conseil néerlandais de la recherche (NWO),
- en Espagne : l'Institut d'astrophysique des Canaries (IAC), le groupe international de télescopes Isaac Newton, le Ministère des Affaires économiques et de la Transformation numérique espagnol,
- en Italie : l'Institut national d'astrophysique (INAF),
- au Mexique : l'Institut national d'astrophysique, d'optique et d'électronique (INAOE),
- en Suède : l'Observatoire de Lund, l'université d'Uppsala,
- en Allemagne : l'Institut Leibniz pour l'astrophysique de Potsdam (AIP), l'Institut Max Planck pour l'astronomie (MPIA),
- aux Etats-Unis : l'université de Pennsylvanie,
- et en Hongrie : l'observatoire Konkoly

## Notes

1 – Le projet WEAVE a été financé dans le cadre du Domaine d'intérêt majeur « Astrophysique et conditions d'apparition de la vie » 2012-2016 de la région Île-de-France.



*Un champ WEAVE entièrement configuré, avec 700 des 950 fibres environ placées par deux robots (hors du cadre), sur place dans le télescope William Herschel. © Gavin Dalton/U. Oxford/STFC-RAL Space.*

## Contacts

Chercheur CNRS et responsable national de WEAVE | Piercarlo Bonifacio

Presse CNRS | François Maginot



## Premières observations d'occultations stellaires par le télescope UniversCity, piloté à distance

Publication : 15 juillet 2021



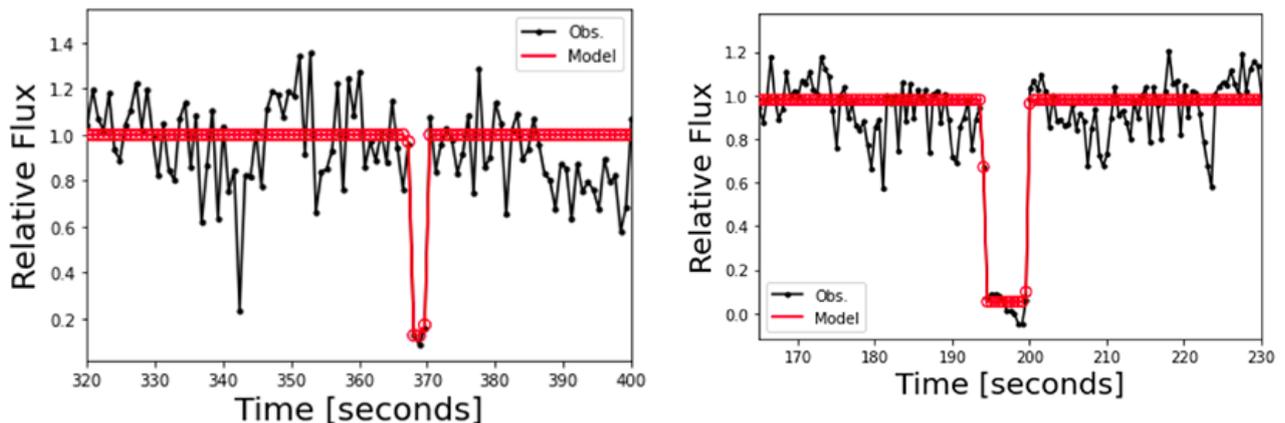
Le télescope UniversCity, dont la construction est en cours de finalisation au Plateau de Calern, a permis d'obtenir pour la première fois des données scientifiques sur deux occultations stellaires le 10 juillet 2021. Elles ont été réalisées par une étudiante basée à Nice qui contrôlait l'instrument à distance. Les deux observations, l'une avant l'aube, l'autre la nuit du même jour, se sont avérées positives, produisant ainsi des mesures utiles. Elles concernaient les astéroïdes (2207) Antenor et (884) Priamus, « troyens » de Jupiter et cibles du projet [Lucky Star](#).

Les observations ont été réalisées par Luana Liberato, doctorante (UMR Lagrange / UNESP – Brésil), qui a été formée et assistée pour la prise de contrôle du télescope à distance par Paul Girard, chef de projet UniversCity (OCA), et Erick Bondoux, OGS Technologies.

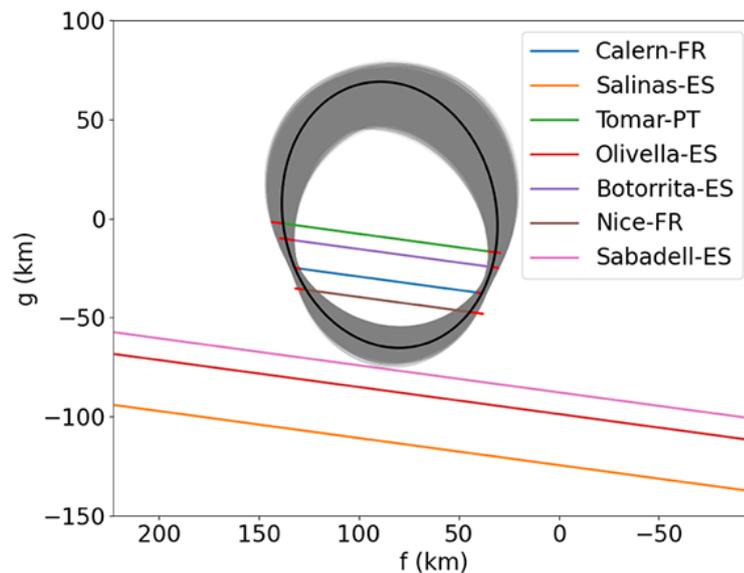
Pour les deux événements, la probabilité de voir l'occultation était comprise entre 15% et 40% avec l'ombre d'Antenor ne passant pas, a priori, sur le site de Calern. Ces détections amélioreront beaucoup la précision de l'orbite des astéroïdes qui ont occulté l'étoile. Des informations précieuses sur leur taille et leur forme sont obtenues grâce aux observations effectuées indépendamment par un réseau d'observateur mixte (amateurs et professionnels), qui inclue aussi des autres contributions de notre équipe : le télescope de la Coupole Schaumasse (sur le site du Mont-Gros à Nice, par Matthieu Conjat) et une station mobile (Paolo Tanga).

Le télescope UniversCity a un diamètre de 0,5 m. Une des principales applications qui ont guidé sa conception est l'observation systématique des occultations stellaires par les astéroïdes, en mode robotique, en exploitant les améliorations apportées par la mission Gaia.

Les opérations à distance sont une étape préliminaire vers l'automatisation du télescope.



Les graphiques montrent le signal mesuré pour les étoiles occultées par Antenor (en haut) et Priamus (en bas). Les deux événements étaient de faible altitude et le second a été affecté par des voiles nuageux. Les points noirs représentent les données observées, les rouges le modèle ajusté (crédits : L. Liberato, UMR Lagrange (CNRS-UCA-OCA)).



La silhouette projetée sur le ciel par Antenor, observé par occultation. Les observations d'occultation positives observés aux de différents emplacements fournissent 4 "coupes" à travers la forme (appelées « cordes »). Les cordes sont des segments tracés à partir de la connaissance des emplacements des observateurs, des instants de début et fin de l'occultation et du mouvement de l'astéroïde dans le ciel. Les lignes continues correspondent aux emplacements d'observateurs où l'occultation n'a pas eu lieu. L'ellipse qui en résulte (ligne noire) a un rayon équatorial de  $63,1 \pm 4,9$  km et un aplatissement  $15 \pm 7$  %. La zone grise représente l'incertitude sur la forme. (crédits : L. Liberato, UMR Lagrange (CNRS-UCA-OCA) – package SORA – UniversCity, Observatoire de la Côte d'Azur).

### Contacts

**Paolo Tanga**, UMR Lagrange ( OCA) – coordinateur scientifique UniversCity

**Lyu Abe** (Lagrange/OCA) – PI UniversCity

**Paul Girard** (OCA) - chef de projet UniversCity

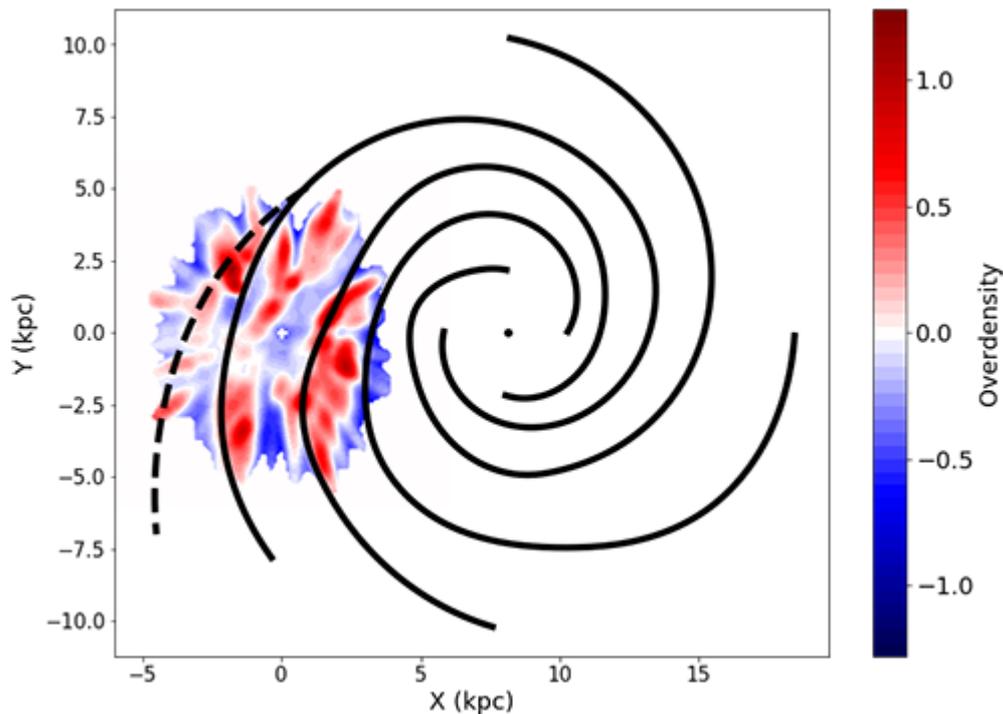
## The Gaia satellite helps us to better understand our galaxy

Publication : 28 juillet 2021



Like many other galaxies, our home galaxy, the Milky Way, is characterised by large-scale spiral arms. However, our Solar System is embedded in the Galactic disc, making the large-scale mapping of the Galaxy a quite difficult task. As a consequence, there is currently no consensus about their properties. For example, we don't know exactly how many spiral arms are present in the Galactic disc, or where exactly they are located.

The Gaia satellite is currently mapping the Milky Way by measuring positions and motions for more than one billion stars with strong accuracy and unprecedented detail. Using this wealth of information, an international team of researchers lead by Eloisa Poggio, Post-doctoral fellow, mapped the spatial distribution of young stars in the Galactic disc. They found that some regions in the Galactic disc are more populated than others (also called "overdense" regions). Those regions indicate the location of the nearest spiral arms in our Galaxy (within 4-5 kiloparsec from the Sun).



**Figure** : Red regions = overpopulated regions (coinciding with the spiral arms in the Galaxy) ; blue regions = underpopulated regions.

### Reference

[Galactic spiral structure revealed by Gaia EDR3](#), A&A.

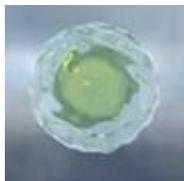
### Contact

**Eloisa Poggio**, Post-doctoral fellow at Côte d'Azur Observatory (France) and INAF associate in Turin (Italy)

## SEPTEMBRE

## Les Mushballs cachent l'ammoniac manquant sur Uranus et Neptune

Publication : 21 septembre 2021



Les « *mushballs* », des grêlons géants et gluants fabriqués à partir d'un mélange d'ammoniac et d'eau, pourraient être à l'origine d'une anomalie atmosphérique sur Neptune et Uranus. Anomalie qui laisse les scientifiques perplexes. Une étude présentée par Tristan Guillot, directeur de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) au [congrès scientifique Europlanet \(EPSC\) 2021](#) montre que les « *mushballs* » pourraient être très efficaces pour transporter l'ammoniac dans les profondeurs de l'atmosphère des géantes de glace, cachant le gaz sous des nuages opaques.

Récemment, des observations à distance aux longueurs d'onde infrarouge et radio ont montré qu'Uranus et Neptune manquent d'ammoniac dans leur atmosphère par rapport aux autres planètes géantes de notre système solaire. Cela est surprenant car elles sont par ailleurs très riches en d'autres composés, comme le méthane, que l'on trouve dans le nuage primordial à partir duquel les planètes se sont formées.

Soit les planètes se sont formées dans des conditions particulières, à partir d'un matériau qui était également pauvre en ammoniac, soit un processus en cours doit être responsable. Tristan Guillot, directeur de recherche CNRS, Laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) à Nice, France, s'est tourné vers une découverte récente sur Jupiter pour trouver une réponse possible à cette énigme.

*« La sonde Juno a montré que sur Jupiter, l'ammoniac est présent en abondance, mais généralement beaucoup plus profondément que prévu - grâce à la formation de boules de mousse. Je montre que ce que nous avons appris sur Jupiter peut être appliqué pour fournir une solution plausible à ce mystère pour Uranus et Neptune », a déclaré Tristan Guillot.*

Les observations de Juno sur Jupiter ont montré que des grêlons d'ammoniac et d'eau peuvent se former rapidement pendant les tempêtes en raison de la capacité de l'ammoniac à liquéfier les cristaux de glace d'eau, même à des températures très basses d'environ -90 degrés Celsius. Les modèles indiquent que les *mushballs* de Jupiter peuvent atteindre un poids d'un kilogramme ou plus, soit un peu plus que les plus gros grêlons sur Terre. En plongeant vers le bas, ils transportent très efficacement l'ammoniac vers l'atmosphère profonde, où il finit par être enfermé sous la base des nuages.

*« La chimie thermodynamique implique que ce processus est encore plus efficace sur Uranus et Neptune, et la région d'ensemencement des « *mushballs* » est étendue et se produit à de plus grandes profondeurs », a déclaré Tristan Guillot. « Ainsi, l'ammoniac est probablement simplement caché dans les atmosphères profondes de ces planètes, hors de portée des instruments actuels. »*

Pour déterminer exactement à quelle profondeur les « *mushballs* » transportent l'ammoniac et l'eau, il faudra peut-être attendre qu'un orbiteur équipé d'instruments puisse sonder de près les atmosphères des géantes de glace.

*« Pour comprendre pleinement les processus, nous avons besoin d'une mission dédiée pour cartographier la structure atmosphérique profonde et comprendre le mélange dans les atmosphères d'hydrogène », a expliqué Tristan Guillot. « Neptune et Uranus sont un lien critique entre les planètes géantes, comme Jupiter et Saturne, et les exoplanètes géantes de glace que nous découvrons dans la galaxie. Nous devons vraiment y aller ! »*

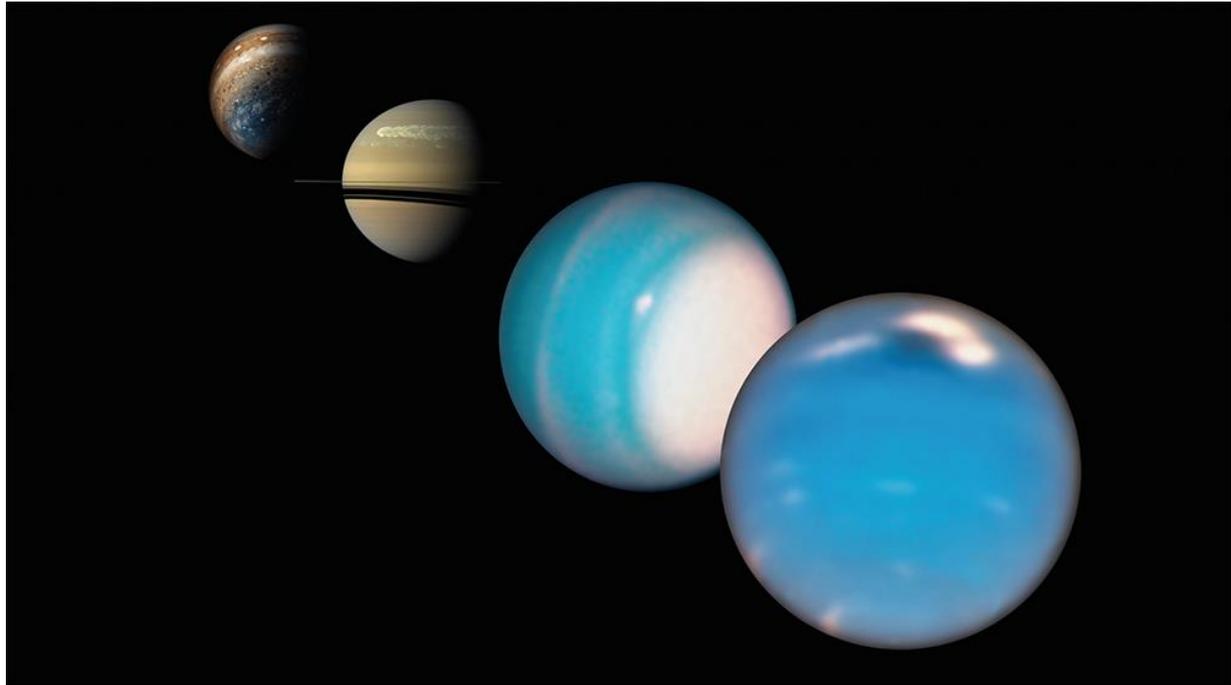
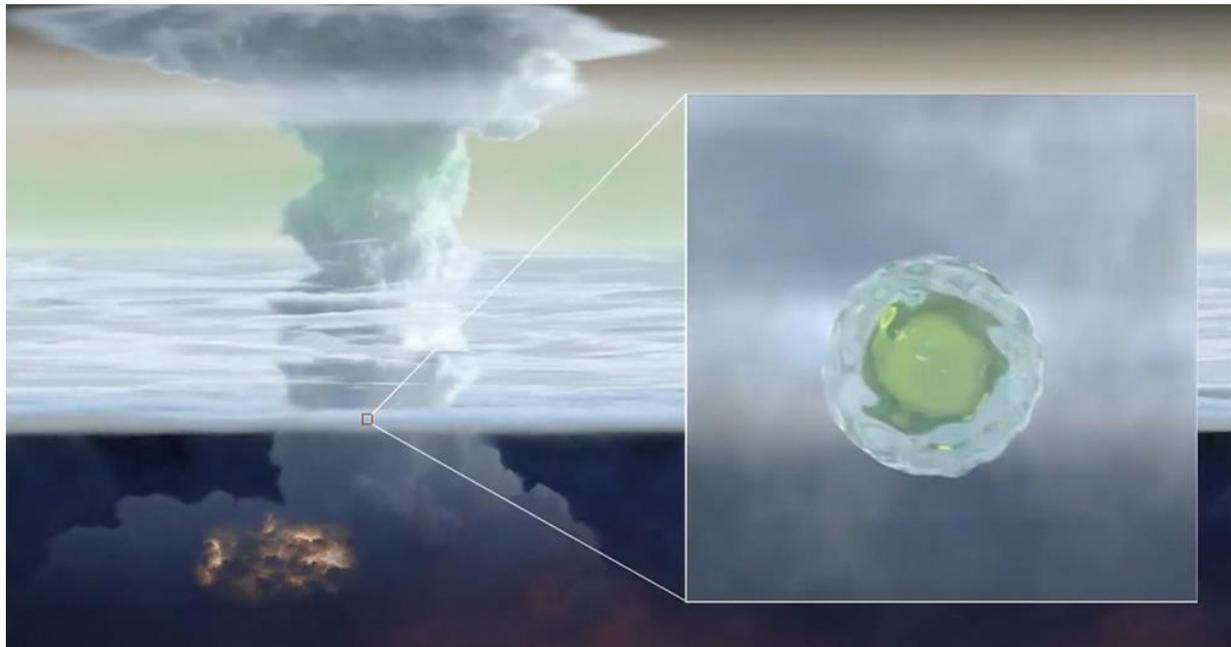


Image composite de Neptune, Uranus, Saturne et Jupiter. Crédits : Jupiter de Juno : NASA/SwRI/MSSS/Gerald Eichstädt/Seán Doran ; Saturne de Cassini : NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute ; Uranus et Neptune depuis HST : NASA/ESA/A. Simon (NASA Goddard Space Flight Center), et M.H. Wong et A. Hsu (Université de Californie, Berkeley).



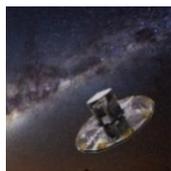
Vue d'artiste d'un « Mushball » descendant dans l'atmosphère d'une planète géante. Crédit : NASA/JPL-Caltech/SwRI/CNRS [https://www.europlanet-society.org/wp-content/uploads/2021/09/Mushballs\\_descent-scaled.jpg](https://www.europlanet-society.org/wp-content/uploads/2021/09/Mushballs_descent-scaled.jpg)

Vue d'artiste montrant comment les boules de champignons se forment dans l'atmosphère des planètes géantes. Crédit NASA/JPL-Caltech/SwRI/CNRS <https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/pia24042-image-3b-1041.jpg>

**Contact scientifique :** Tristan Guillot

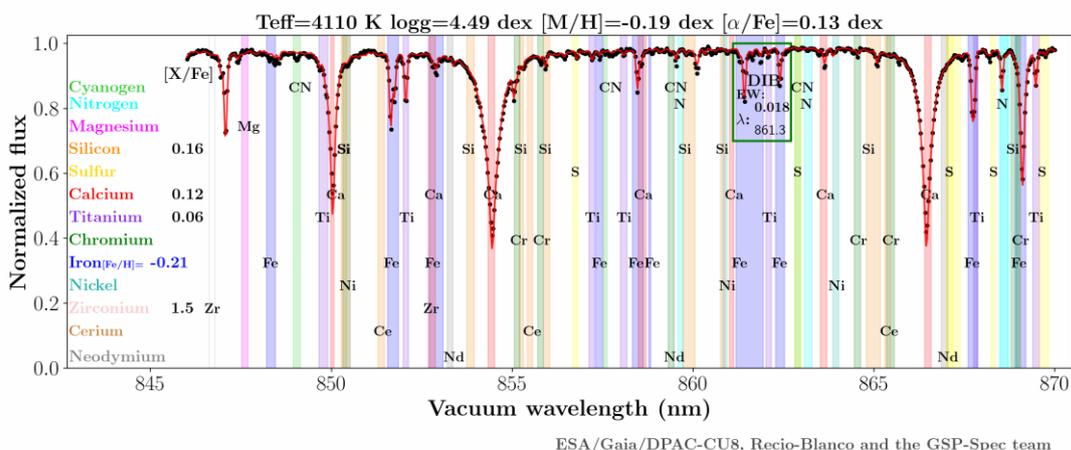
## Comment Gaia dévoile de quoi sont faites les étoiles

Publication : 27 septembre 2021



Les spectres stellaires collectés par l'instrument RVS de Gaia contiennent une foison d'informations sur les propriétés des étoiles de la Voie Lactée. [Cette animation](#), mise en avant sur le site web de [l'ESA](#), illustre la diversité des spectres observés et notamment la présence de diverses absorptions (appelées raies) atomiques et moléculaires.

La présence (ou l'absence) ainsi que le profil de ces signatures spectrales dépendent des propriétés physiques et chimiques de l'atmosphère des étoiles : température effective ( $T_{\text{eff}}$  en K), gravité de surface ( $\log g$ , avec  $g$  en  $\text{cm/s}^2$ ),  $[M/H]$  l'abondance moyenne en éléments chimiques plus lourds que l'hélium (échelle logarithmique en dex) et  $[\alpha/Fe]$  l'abondance moyenne en éléments  $\alpha$  (oxygène, magnésium, silicium, soufre, calcium, titane) par rapport à l'abondance du fer (en dex). De plus, l'importance de près de 60 raies en absorption, spécifiques à une douzaine d'espèces chimiques, permet de déterminer les abondances individuelles d'une douzaine d'éléments.



Paramétrisation de divers spectres RVS de Gaia (points noirs). Les bandes colorées verticales représentent les différents atomes et molécules identifiés dans l'atmosphère stellaire, ainsi qu'une bande interstellaire diffuse (DIB, rectangle vert). Le modèle de spectre stellaire calculé grâce à la paramétrisation et reproduisant au mieux les observations est représenté en rouge. Les abondances déterminées pour une douzaine d'éléments chimiques sont indiquées sur la gauche de la figure et les principaux paramètres atmosphériques des étoiles sont écrits en haut.

L'algorithme développé par le groupe de l'OCA/Lagrange Generalized Stellar Parameterizer-Spectroscopy (GSP-Spec) est ainsi capable d'estimer automatiquement la valeur de 18 paramètres physiques et abondances chimiques pour les millions de spectres RVS collectés par Gaia, dont notamment l'intensité et la position de la bande interstellaire diffuse (DIB) qui permet de cartographier le milieu interstellaire. L'analyse de ces données est maintenant achevée et les résultats seront publiés avec le nouveau catalogue de Gaia (DR3) prévu avant la fin du premier semestre 2022.

La composition des atmosphères stellaires nous renseigne sur les propriétés chimiques du milieu interstellaire tel qu'il était lors de la formation stellaire. C'est un des principaux diagnostics fossiles que l'archéologie galactique recherche afin de reconstruire l'histoire de la formation et de l'évolution de notre Galaxie. Il est à noter que les informations chimiques issues de la mission Gaia concernent toutes les grandes familles de nucléosynthèse et qui enrichissent le milieu interstellaire depuis plusieurs milliards d'années : explosion d'étoiles massives (supernovae de Type II), derniers stades évolutifs d'étoiles peu massives en système binaire (supernovae de Type Ia), coalescence d'étoiles à neutrons, fin de vie des étoiles de masse faible ou intermédiaire. L'exploitation de ce catalogue unique en quantité et en qualité va révolutionner notre vision de la Voie Lactée.

Pour plus de détails, voir [How Gaia unveils what stars are made of](#)

**Groupe GSP-spec Lagrange (CNRS-UCA-OCA) impliqué dans ce projet :** A. Recio-Blanco, P. de Laverny, G. Kordopatis, C. Ordenovic, P. Alonso-Palicio, M. Schultheis, H. Zhao, G. Contursi, I. Oreshina-Slezak et A. Bijaoui. GSP-spec est un des modules du Gaia/DPAC/CU8.

## Naissance du calcul des variations : des corps ponctuels à la mécanique des fluides

Publication : 30 septembre 2021



*Rudolf Friedrich  
Alfred Clebsch*

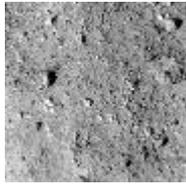
Après les premières tentatives, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle des formulations variationnelles de Lagrange pour les fluides en mouvement, les travaux de Hamilton et de Jacobi se concentrèrent au début du XIX<sup>e</sup> siècle sur la mécanique des masses ponctuelles. Clebsch, un membre l'école de Jacobi, introduisit une formulation multidimensionnelle pour passer aux fluides continus. Ces travaux, publiés en 1857 et 1859 en allemand n'ont jamais été traduits, malgré leur importance. La première traduction en anglais de ces travaux a

été effectuée par U. Frisch et G. Grimberg (PEMAT-UFRJ, Rio, Brésil), un visiteur fréquent de notre laboratoire, avec l'aide d'un collègue américain, D. Delphenich. Les traductions sont disponibles grâce à SpringerNature, aux liens [1857](#) et [1859](#). D'autre part, G. Grimberg et E. Tassi ont analysé en détail [les relations](#) entre le travail de Clebsch et les nombreux travaux postérieurs en mécanique des fluides et en magnétohydrodynamique. Le travail de traduction et de commentaire, commencé il y a quatre ans et maintenant publié, est raconté [ici](#).

## OCTOBRE

## La production de régolithes fins sur les astéroïdes est contrôlée par la porosité des roches

Publication : 7 octobre 2021



La mission [OSIRIS-REx](#) de la NASA est partie à la découverte de l'astéroïde Bennu pour en récolter des échantillons en octobre 2020. Cette aventure spatiale a offert son lot de surprise aux scientifiques et leur a permis de mieux connaître ces petits corps du système solaire. En effet, grâce aux données récoltées par la mission, une équipe dirigée par des chercheurs de l'Université d'Arizona et du [Laboratoire Joseph-Louis Lagrange \(CNRS-Université Côte d'Azur-OCA\)](#) a conclu que les astéroïdes avec des roches très poreuses comme Bennu ne sont pas recouvert de particules fines (le régolithe) comme cela était attendu jusqu'à présent. Tel est le sujet [d'un article paru dans Nature le 6 octobre 2021](#).

L'analyse des observations astronomiques obtenues par des télescopes depuis l'orbite terrestre avaient suggéré la présence de larges quantités des particules fines plus petites que quelques centimètres sur Bennu. Cela aurait été parfait pour qu'[OSIRIS-REx](#) puisse collecter des échantillons sans difficulté. Mais les premières images de la surface de Bennu obtenues par la mission spatiale ont montré une surface couverte de rochers et sans régolithe évident, un grand challenge pour l'échantillonnage ! « Le vaisseau spatial a collecté des données à très haute résolution pour toute la surface de Bennu. Au-delà de l'intérêt scientifique, le manque de régolithe fin est devenu un défi pour la mission elle-même, car le vaisseau spatial a été conçu pour collecter... du régolithe ! », explique Dante Lauretta, professeur d'université d'Arizona et principal investigator de la mission [OSIRIS-REx](#), coauteur de cet étude.

Une nouvelle recherche, publiée dans Nature et dirigée par Saverio Cambioni, post-doctorant, et Marco Delbo, directeur de recherche CNRS au laboratoire Lagrange, a utilisé des données dans l'infrarouge thermique de la surface de Bennu et une nouvelle méthode d'analyse basée sur l'apprentissage automatique (machine learning) pour résoudre le mystère.

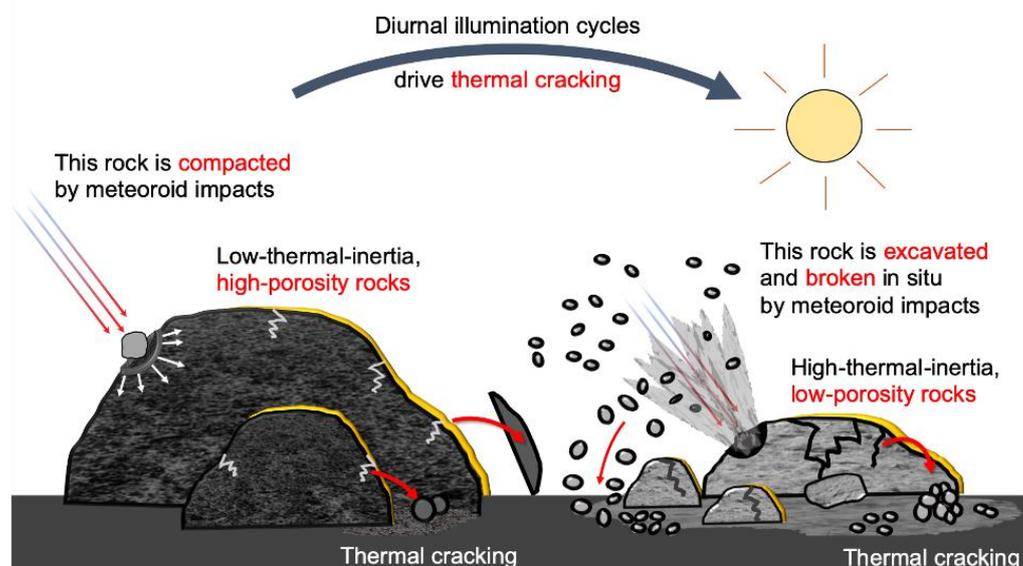
*« On savait que l'émission thermique du régolithe fin est différente de celle des roches plus grosses car la première est contrôlée par la taille de ses particules, tandis que la seconde est contrôlée par la porosité de la roche »,* précise Marco Delbo. *« Cependant avec des méthodes classiques d'analyse, je n'arrivais pas bien à séparer les deux composants dans les données de température des astéroïdes. Quand Saverio Cambioni m'a rendu visite à Nice et qu'il m'a montré les techniques d'apprentissage automatique pour résoudre ce problème, nous y avons vu un potentiel énorme ! Nous avons commencé à utiliser cette approche pour savoir si du régolithe fin était présent entre les roches sur la surface de Bennu »,* poursuit Marco Delbo.

L'équipe a d'abord construit une bibliothèque d'exemples d'émission thermique associée à des régolithes fins mélangés dans différentes proportions avec des roches de porosité variable. Ensuite, ils ont utilisé des techniques dites d'apprentissage automatique pour enseigner à un ordinateur comment « *relier les points* » entre les exemples. Un logiciel de machine learning a été utilisé pour analyser l'émission thermique de 122 zones à la surface de Bennu observées à la fois pendant la journée et la nuit. « *Seul un algorithme d'apprentissage automatique pouvait explorer efficacement un ensemble de données aussi volumineux* », précise Saverio Cambioni. Il a fallu d'ailleurs faire appel [au centre de calcul de l'Observatoire de la Côte d'Azur](#) pour réaliser cette opération. Une fois l'analyse des données terminée, Saverio Cambioni et ses collaborateurs ont trouvé quelque chose de surprenant : le régolithe fin est présent sur Bennu, mais en petite quantité et il n'est pas distribué au hasard sur Bennu : il y a systématiquement moins de régolithe fin là où les roches ont une porosité plus élevée, ce qui correspond à la majeure partie de la surface de l'astéroïde.

L'équipe a conclu que très peu de régolithe fin est produit à partir des roches très poreuses de Bennu parce qu'elles sont comprimées plutôt que fragmentées par les impacts de météorites. « *Comme une*

éponge, les pores dans les roches amortissent les impacts des météorites. Ces résultats sont également en accord avec les expériences de laboratoire d'impact à des vitesses de plusieurs km/s. Fondamentalement, une grande partie de l'énergie de l'impact sert à écraser les pores limitant la fragmentation des roches et la production de régolithe fin », explique Chrysa Avdellidou, co-auteurice de l'étude et post-doctorante au Laboratoire Lagrange.

De plus, les fissures causées par le chauffage durant le jour et le refroidissement durant la nuit des roches de Bennu se produisent plus lentement dans les roches poreuses que dans les roches plus denses, freinant davantage la production de régolithe fin.



**Figure** : La production de régolithes fins est diminuée en présence de roches à haute porosité. Sur les astéroïdes, les roches à porosité plus élevée sont compactées par les impacts de météorites plutôt que d'être excavées. Les chocs thermiques dans une roche plus poreuse sont plus faibles que dans une roche plus dense, ce qui signifie que la première pourrait être moins susceptible de produire un régolithe fin que la seconde (adaptée à partir [de l'article de Saverio Cambioni et al.](#) Nature 2021).

Les chercheurs ont utilisé des données d'autres missions spatiales pour corroborer leurs conclusions. La mission [Hayabusa2](#) de l'Agence Spatiale Japonaise (JAXA) qui a étudié et échantillonné Ryugu, un astéroïde carboné comme Bennu, a découvert qu'il manquait également du régolithe fin et que sa surface est dominée par des roches à haute porosité. Inversement, la mission Hayabusa de la JAXA sur l'astéroïde Itokawa en 2005 a révélé une quantité importante de régolithe fin à sa surface. Itokawa est un astéroïde de « type S », dont les roches ont une composition différente de celles de Bennu et Ryugu. Une étude précédente également de Saverio Cambioni et al. (2019, *Icarus*, 325, 16–30) a fourni la preuve que les roches d'Itokawa sont moins poreuses que celles de Bennu et Ryugu en utilisant des observations de la Terre.

L'équipe prédit que de grandes quantités de régolithe fin devraient être rares sur les astéroïdes carbonés, qui sont les plus courants de tous les types d'astéroïdes et dont on pense qu'ils ont des roches à haute porosité comme Bennu. En revanche, le régolithe fin devrait être plus commun sur les astéroïdes de type S, qui sont le deuxième groupe le plus peuplé du système solaire, et on pense qu'ils ont des roches plus denses et moins poreuses que les astéroïdes carbonés.

« C'est une pièce importante dans le puzzle de ce qui détermine la diversité des surfaces des astéroïdes. On pense que les astéroïdes sont des fossiles du système solaire, donc comprendre l'évolution qu'ils ont subie dans le temps est crucial pour comprendre comment le système solaire s'est formé et a évolué », affirme Saverio Cambioni. « Maintenant que nous connaissons cette différence fondamentale entre les astéroïdes carbonés et de type S, les futures équipes pourront mieux préparer les missions de prélèvement d'échantillons en fonction de la nature de l'astéroïde cible. »

Marco Delbo, directeur de recherche CNRS, et Chrysa Avdellidou, post-doctorante, du laboratoire Joseph-Louis Lagrange, et Antonella Barucci, astronome, et Prasanna Deshapriyadu, post-doctorant, du [LESIA à l'Observatoire de Paris](#) ont participé à cette étude et ont bénéficié du support du [Centre National d'Etudes Spatiales](#) (CNES). Marco Delbo et Chrysa Avdellidou remercient aussi le soutien de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) pour le projet « *ORIGINS* » (ANR-18-CE31-0014). Chrysa Avdellidou a été soutenue par l'ANR dans le cadre du projet « *Investissements d'Avenir* » de l'Université Cote d'Azur (UCAJEDI ANR-15-IDEX-01). L'Université d'Arizona dirige l'équipe scientifique OSIRIS-REx et la planification de l'observation scientifique et le traitement des données de la mission. Le Goddard Space Flight Center de la NASA à Greenbelt, dans le Maryland, assure la gestion globale de la mission, l'ingénierie des systèmes et la sécurité et la de mission [OSIRIS-REx](#). Lockheed Martin Space à Littleton, Colorado, a construit le vaisseau spatial et assure les opérations de vol. Goddard et KinetX Aerospace sont responsables de la navigation du vaisseau spatial [OSIRIS-REx](#). [OSIRIS-REx](#) est la troisième mission du programme New Frontiers de la NASA, géré par le Marshall Space Flight Center de la NASA à Huntsville, en Alabama, pour la Direction des missions scientifiques de l'agence à Washington, D.C, Etats Unis.

## Référence

[Fine-regolith production on asteroids controlled by rock porosity](#), S. Cambioni, M. Delbo, G. Poggiali, C. Avdellidou, A.J. Ryan, J.D.P. Deshapriya, E. Asphaug, R.-L. Ballouz, M.A. Barucci, C.A. Bennett, W.F. Bottke, J.R. Brucato, K.N. Burke, E. Cloutis, D.N. DellaGiustina, J.P. Emery, B. Rozitis, K.J. Walsh et D.S. Loretta. Nature, 6 octobre 2021. DOI : 10.1038/s41586-021-03816-5

## Contacts

Chercheur CNRS, **Marco Delbo**

A la rencontre des 42 astéroïdes les plus proéminents du Système Solaire

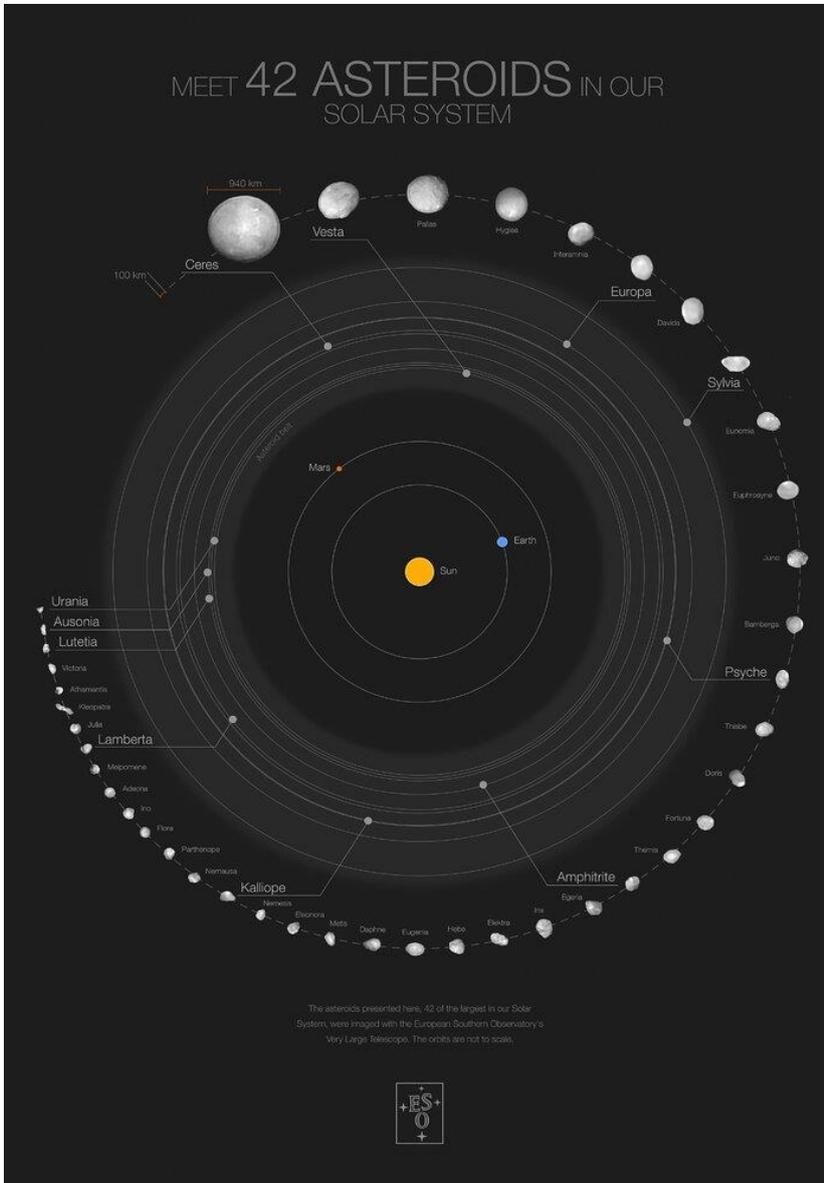
Publication : 15 octobre 2021



Grâce au Very Large Telescope de l’Observatoire Européen Austral (VLT de [l’ESO](#)) installé au Chili, des astronomes, dont Benoît Carry, astronome adjoint [au laboratoire Lagrange](#) (CNRS-UCA-OCA), ont acquis les images de 42 des objets les plus proéminents de la ceinture d’astéroïdes située entre Mars et Jupiter. Cet échantillon d’astéroïdes est le plus étendu et le mieux résolu dont nous disposions à ce jour. Les observations révèlent une grande diversité de formes particulières, s’étendant de la sphère classique à l’os de chien, et permettent aux astronomes de retracer l’origine géographique des astéroïdes au sein de notre Système Solaire.

eso2114fr — Communiqué de presse photo

A la rencontre des 42 : L’ESO publie les clichés de certains des astéroïdes les plus proéminents de notre Système Solaire



Sur cette affiche figurent 42 des objets les plus proéminents de la ceinture d’astéroïdes située entre Mars et Jupiter (les orbites ne sont pas à l’échelle). Les images des objets situés en périphérie de cette infographie ont été acquises au moyen de l’instrument [SPHERE](#) (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet Research) qui équipe le [Very Large Telescope](#) de l’ESO. L’échantillon d’astéroïdes se compose de 39 objets dont les diamètres excèdent les 100 kilomètres – 20 d’entre eux ont des dimensions supérieures à 200 kilomètres. L’affiche met en lumière certains de ces objets, parmi lesquels Cérès (l’astéroïde le plus grand de la ceinture), Urania (le plus petit corps imagé), Kalliope (dont la densité surpasse celle des autres objets) et Lutétia, que croisa la sonde Rosetta de l’Agence Spatiale Européenne.

**Crédit:** ESO/M. Kornmesser/Vernazza et al./MISTRAL algorithm (ONERA/CNRS)

Grâce au Very Large Telescope de l'Observatoire Européen Austral (VLT de l'ESO) installé au Chili, des astronomes ont acquis les images de 42 des objets les plus proéminents de la ceinture d'astéroïdes située entre Mars et Jupiter. Cet échantillon d'astéroïdes est le plus étendu et le mieux résolu dont nous disposions à ce jour. Les observations révèlent une grande diversité de formes particulières, s'étendant de la sphère classique à l'os de chien, et permettent aux astronomes de retracer l'origine géographique des astéroïdes au sein de notre Système Solaire.

L'acquisition, au moyen des télescopes terrestres, des images détaillées de ces 42 objets constitue une formidable avancée dans l'étude des astéroïdes, et contribue à répondre à la question de la Vie, de l'Univers, et du Tout [1].

«Jusqu'à présent, seuls trois grands astéroïdes de la ceinture principale, Cérès, Vesta et Lutétia, avaient été imagés avec un niveau de détail élevé, lorsque leurs chemins avaient croisé celui des sondes spatiales Dawn de la NASA et Rosetta de l'Agence Spatiale Européenne», précise Pierre Vernazza du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, France, auteur principal de l'étude sur les astéroïdes publiée ce jour au sein de la revue *Astronomy & Astrophysics*. «Nos observations à l'ESO ont délivré des images nettes d'un nombre de cibles nettement supérieur – 42 au total».

Le faible nombre d'observations détaillées d'astéroïdes dont nous disposions jusqu'alors nous empêchait d'accéder à leurs caractéristiques principales que sont leur forme 3D ou leur densité. Entre 2017 et 2019, Vernazza et son équipe ont entrepris de combler cette brèche en menant une étude approfondie des principaux corps de la ceinture d'astéroïdes.

La plupart des [42 objets](#) composant leur échantillon présentent des dimensions supérieures à 100 km. L'équipe a notamment imagé la quasi-totalité des astéroïdes de taille supérieure à 200 kilomètres – 20 sur les 23 recensés. Les deux objets les plus imposants de l'étude sont [Cérès et Vesta](#), dont les diamètres avoisinent les 940 et 520 kilomètres. A l'opposé, [Urania et Ausonia](#), dont les diamètres n'excèdent pas les 90 kilomètres, constituent les deux plus petits astéroïdes de l'échantillon.

En reconstruisant les formes des objets, l'équipe s'est aperçue que les astéroïdes étudiés se répartissaient en deux groupes distincts. Certains présentent un aspect quasi parfaitement sphérique, tels [Hygiea](#) et Cérès. D'autres en revanche arborent une forme particulière, étirée, à l'image de [Kleopatra](#), [semblable à un os de chien](#).

En combinant les formes des astéroïdes avec les informations concernant leurs masses, l'équipe a pu constater la grande diversité de densités au sein de l'échantillon. Les quatre astéroïdes présentant la plus faible densité, parmi lesquels figurent [Lamberta et Sylvia](#), affichent des densités voisines de 1,3 grammes par centimètre cube – proches de celle du charbon. Les astéroïdes les plus denses en revanche, tels [Psyche et Kalliope](#), affichent des densités de 3,9 et 4,4 grammes par centimètre cube, soit des valeurs supérieures à la densité du diamant (3,5 grammes par centimètre cube).

Cette grande disparité en termes de densité suggère de réelles différences de composition entre les astéroïdes de l'échantillon, et offre aux astronomes d'importants indices concernant leurs origines respectives. « Nos observations confortent l'hypothèse d'une migration substantielle de ces corps depuis l'époque de leur formation. En d'autres termes, de telles différences de composition témoignent de la formation de ces objets en des régions distinctes du Système Solaire » explique Josef Hanuš de l'Université Charles de Prague en République Tchèque, l'un des auteurs de l'étude. En particulier, les résultats de ces observations confirment l'hypothèse selon laquelle les astéroïdes caractérisés par une moindre densité se seraient formés au sein des régions les plus reculées, soit au-delà de l'orbite de Neptune, puis auraient migré en direction de leurs emplacements actuels.

Ces découvertes ont été permises par l'extrême sensibilité de l'instrument [SPHERE](#) (Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet Research) installé sur le [VLT](#) de l'ESO [2]. « Le gain en performance de SPHERE, combiné à notre connaissance restreinte de la forme des plus gros astéroïdes peuplant la

ceinture principale, nous ont permis d'effectuer de substantiels progrès dans ce domaine » ajoute Laurent Jorda du Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, co-auteur de l'étude.

Les astronomes seront en mesure d'acquérir les images détaillées d'un plus grand nombre d'astéroïdes lorsque l'[ELT](#) (Extremely Large Telescope), actuellement en cours de construction au Chili, entrera en service à la fin de cette décennie. « Les observations des astéroïdes de la ceinture principale au moyen de l'ELT nous permettront d'étudier des objets de diamètres inférieurs, compris entre 35 et 80 kilomètres selon leur localisation spatiale, ainsi que des cratères de dimensions comprises entre 10 et 25 kilomètres » conclut Vernazza. « Disposer d'un instrument tel que SPHERE sur l'ELT nous permettrait même d'imager un semblable échantillon d'objets au sein de la [Ceinture de Kuiper](#). En d'autres termes, nous serons en mesure de caractériser l'histoire géologique d'un échantillon plus étendu de petits corps depuis la surface de la Terre. »

### Notes

[1] Dans le [Guide du Routard Galactique](#) de Douglas Adams, le nombre 42 constitue la réponse à la « Question Ultime de la Vie, de l'Univers et du Tout ». Ce 12 octobre 2021, nous célébrons le 42ème anniversaire de la publication de cet ouvrage.

[2] L'ensemble des observations ont été effectuées au moyen de ZIMPOL (Zurich IMaging POLarimeter), un polarimètre imageur, sous-système de l'instrument SPHERE qui opère dans le domaine visible.

## La mission Juno nous donne la première vue 3D de l'atmosphère de Jupiter

Publication : 29 octobre 2021



L'équipe internationale de chercheurs en charge de [la mission Juno de la NASA](#), dont fait partie Tristan Guillot, directeur de recherche CNRS au Laboratoire Lagrange ([Observatoire de la Côte d'Azur](#), [Université Côte d'Azur](#), [CNRS](#)) et co-investigateur de la mission, vient de révéler pour la première fois une vue 3D de l'atmosphère de Jupiter.

Grâce à ces nouveaux résultats de la mission Juno il est enfin possible de déceler le comportement de l'atmosphère de Jupiter et de voir et comprendre ce qui se passe sous les bandes nuageuses colorées bien connues de cette planète. Les nouvelles données nous montrent des cyclones et des anticyclones qui pénètrent à des profondeurs variables sous la couche visible. La grande tache rouge de Jupiter apparaît la plus profonde de ces tourbillons. L'analyse des zones et des bandes de la planète permet de mettre en évidence un mécanisme également à l'œuvre dans l'atmosphère de la Terre. Ces résultats sont publiés aujourd'hui dans quatre articles : deux dans le journal *Science*, dans *Geophysical Research Letters* et dans *Journal of Geophysical Research : Planets*.

Lancée en 2011, la sonde Juno est entrée en orbite de Jupiter en 2016. Chaque passage de la planète (37 jusqu'à présent) permet de sonder les profondeurs de la planète grâce à une série d'instruments spécialisés. La mission a été étendue par la NASA jusque 2025.

### La grande tache rouge, les cyclones et anticyclones de Jupiter

Les six antennes du radiomètre micro-ondes (MWR) de Juno permettent de mesurer l'émission de la planète provenant de son atmosphère profonde, jusqu'à plus de 200 km sous les nuages visibles. L'étude publiée aujourd'hui par S.J. Bolton et collaborateurs révèle pour la première fois la structure des tourbillons qui parsèment Jupiter : Les cyclones sont plus chauds/moins denses en hauteur par rapport au gaz environnant et plus froids et denses en profondeur. Inversement, les anticyclones sont froids/denses en hauteur et chauds/peu denses en profondeur. Leur profondeur est variable, certains s'étendant « *seulement* » sur moins de 100 km, d'autres pénétrant beaucoup plus profondément.

C'est le cas de l'anticyclone le plus célèbre de la planète, la grande tache rouge, qui a une signature très forte sur toutes les antennes de l'instrument MWR. Ceci indique qu'elle modifie la température et la composition de l'atmosphère très significativement et à tous les niveaux sondés par l'instrument MWR. Cette modification locale induit un changement très subtil du champ de gravité de la planète. En utilisant deux passages de Juno au-dessus de la grande tache rouge, M. Parisi et collaborateurs sont parvenus à détecter les modifications de trajectoire qu'elle entraîne sur la sonde, qui correspondent à une modification de sa vitesse de seulement 0.01 millimètres par seconde (cent fois inférieure à la vitesse d'un escargot)! Ceci a permis de contraindre la profondeur de cette grande tache rouge: environ 300 km, ce qui est en accord avec les mesures des antennes micro-ondes de Juno.

*Adaptation d'une image observée par la caméra JunoCam. La grande tache rouge de Jupiter est extraite de l'atmosphère de la planète pour illustrer sa profondeur, entre 200 et 500km, mesurée pour la première fois par la sonde NASA Juno. Crédits : NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Kevin M. Gill.*

### Les ceintures et zones de Jupiter

De couleurs différentes, les bandes (ceintures et zones) de Jupiter sont séparées par des vents est-ouest intenses qui se déplacent dans des directions opposées. Les mesures de gravité de Juno et les modèles d'intérieur de Jupiter avaient déjà permis de montrer que ces vents pénètrent jusqu'à 3000 km de profondeur (Kaspi et al., Guillot et al., *Nature* 2018). Les mesures MWR des passages successifs de Juno près de la planète ont permis à K. Duer et collaborateurs d'examiner leur dynamique et de mettre en évidence une circulation atmosphérique qui s'apparente à celle des « *cellules de Ferrel* » qui contrôlent une grande partie du climat de la Terre. Ces cellules consistent en une circulation verticale dans les ceintures et les zones de Jupiter. Mais tandis que sur Terre une seule cellule de Ferrel est présente dans chaque hémisphère, Jupiter, en raison de sa rotation rapide, en contient huit par hémisphère. Chacune modifie la composition de l'atmosphère localement, ce qui pourrait expliquer les couleurs des bandes de Jupiter et aider à comprendre le lien entre l'atmosphère visible et l'intérieur planétaire.

D'autre part, L.N. Fletcher et collaborateurs. Montrent que cette circulation nécessite une transition entre la couche nuageuse visible et les niveaux plus profonds. Cette zone de transition est appelée « *Jovicline* » par analogie avec la thermocline des océans terrestres qui divise les eaux superficielles des eaux plus profondes .

### **Un laboratoire pour comprendre les atmosphères sans fond**

Les résultats ainsi obtenus sur Jupiter sont cruciaux pour comprendre la dynamique atmosphérique des planètes géantes. Comme ces planètes n'ont, contrairement à la Terre, pas de surface, leur circulation atmosphérique présente des différences significatives qu'il s'agit encore de comprendre. Ceci est indispensable pour analyser les mesures faites sur les exoplanètes qui ne peuvent pas être vues avec autant de précision que les planètes de notre système solaire.

*Cette recherche a été possible grâce au soutien du CNRS, du CNES, et de l'Observatoire de la Côte d'Azur.*

*La mission Juno est pilotée par la NASA et dirigée par Scott Bolton (Southwest Research Institute à San Antonio, USA). Tristan Guillot est directeur de recherche au CNRS à l'Observatoire de la Côte d'Azur et co-Investigateur de la mission Juno.*

### **Références**

Les articles du 28 octobre 2021 sont :

S. J. Bolton, S. Levin, T. Guillot, C. Li, Y. Kaspi, G. Orton, M. H. Wong, F. Oyafuso, M. S. Allison, J. Arballo, S. Atreya, H. N. Becker, J. Bloxham, S. Brown, L. N. Fletcher, E. Galanti, S. Gulkis, M. Janssen, A. Ingersoll, J. L. Lunine, S. Misra, P. Steffes, D. Stevenson, J. H. Waite, R. K. Yadav, Z. Zhang. [Microwave observations reveal the deep extent and structure of Jupiter's atmospheric vortices](#). Science, in press.

Marzia Parisi, Yohai Kaspi, Eli Galanti, Daniele Durante, Scott J. Bolton, Steven M. Levin, Dustin R. Buccino, Leigh N. Fletcher, William M. Folkner, Tristan Guillot, Ravit Helled, Luciano Iess, Cheng Li, Kamal Oudrhiri, Michael H. Wong. [The depth of Jupiter's Great Red Spot constrained by the Juno gravity overflights](#). Science, in press

Keren Duer, Nimrod Gavriel, Eli Galanti, Yohai Kaspi, Leigh N. Fletcher, Tristan Guillot, Scott J. Bolton, Steven M. Levin, Sushil K. Atreya, Davide Grassi, Andrew P. Ingersoll, Cheng Li, Liming Li, Jonathan I. Lunine, Glenn S. Orton, Fabiano A. Oyafuso, J. Hunter Waite. [Evidence for multiple Ferrel-like cells on Jupiter](#). Geophysical Research Letters, in press.

L.N. Fletcher, F.A. Oyafuso, M. Allison, A. Ingersoll, L. Li, Y. Kaspi, E. Galanti, M.H. Wong, G.S. Orton, K. Duer, Z. Zhang, C. Li, T. Guillot, S.M. Levin, S. Bolton. [Jupiter's Temperate Belt/Zone Contrasts Revealed at Depth by Juno Microwave Observations](#). Journal of Geophysical Research : Planets, in press.

### **Contact**

**Tristan Guillot**

## NOVEMBRE

### La mission spatiale Hayabusa2 récompensée

Publication : 16 novembre 2021



L'équipe de la mission spatiale Hayabusa2, dont des chercheurs français ([CNRS](#), [Observatoire de la Côte d'Azur](#)) font partie, reçoit le Prix Mondial de l'Espace 2021 de la Fédération Astronautique Internationale ([IAF WORLD SPACE AWARD](#)).

Le Prix Mondial de l'Espace de la Fédération Astronautique Internationale (IAF WORLD SPACE AWARD) est la récompense la plus prestigieuse de la Fédération, attribuée à une équipe qui a eu un impact exceptionnel sur le progrès des activités spatiales mondiales grâce à sa contribution exceptionnelle aux sciences spatiales, aux technologies spatiales, à la médecine spatiale, au droit spatial ou à la gestion de l'espace.

En 2021, cette récompense a été attribuée à l'équipe de la mission Hayabusa2 de la [JAXA](#) (Agence Spatial Japonaise), dont des membres de l'Observatoire de la Côte d'Azur/CNRS font partie, lors du Congrès International d'Astronautique qui s'est déroulé à Dubaï du 24 au 29 Octobre 2021. Elle couronne le succès des opérations nombreuses et complexes menées lors de la visite de l'astéroïde Ryugu en 2018-2019 jusqu'au retour d'échantillons de celui-ci sur Terre en 2020, et les nombreux résultats scientifiques obtenus. Ces opérations, dont certaines ont dû être revues sur place car basées sur des hypothèses erronées concernant l'astéroïde, ont notamment permis de nombreuses avancées scientifiques et ont mis en évidence que les astéroïdes sont de véritables petits mondes d'une richesse géologique incroyable et dont le comportement défie notre intuition, du fait de leur faible gravité.

Patrick Michel, Directeur de Recherche au CNRS au laboratoire Lagrange (UCA/OCA/CNRS), fortement impliqué dans la mission, était présent et a pu célébrer cette récompense à Dubaï avec Yuichi Tsuda, qui a reçu le Prix au nom de l'équipe et qui a supervisé les opérations de la sonde, et Makoto Yoshikawa, le manager de la mission (voir Photo).

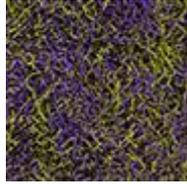


*De gauche à droite : Patrick Michel, directeur de recherche CNRS au laboratoire Lagrange (UCA/OCA/CNRS), Yuichi Tsuda (JAXA, project manager) et Makoto Yoshikawa (JAXA, mission manager), membres de la mission Hayabusa2 célébrant la remise du Prix Mondial de l'Espace à l'équipe Hayabusa2. Les masques ont été enlevés uniquement pour la photo.*

## DECEMBRE

## Les tourbillons discrets qui structurent la turbulence

Publication : 7 décembre 2021

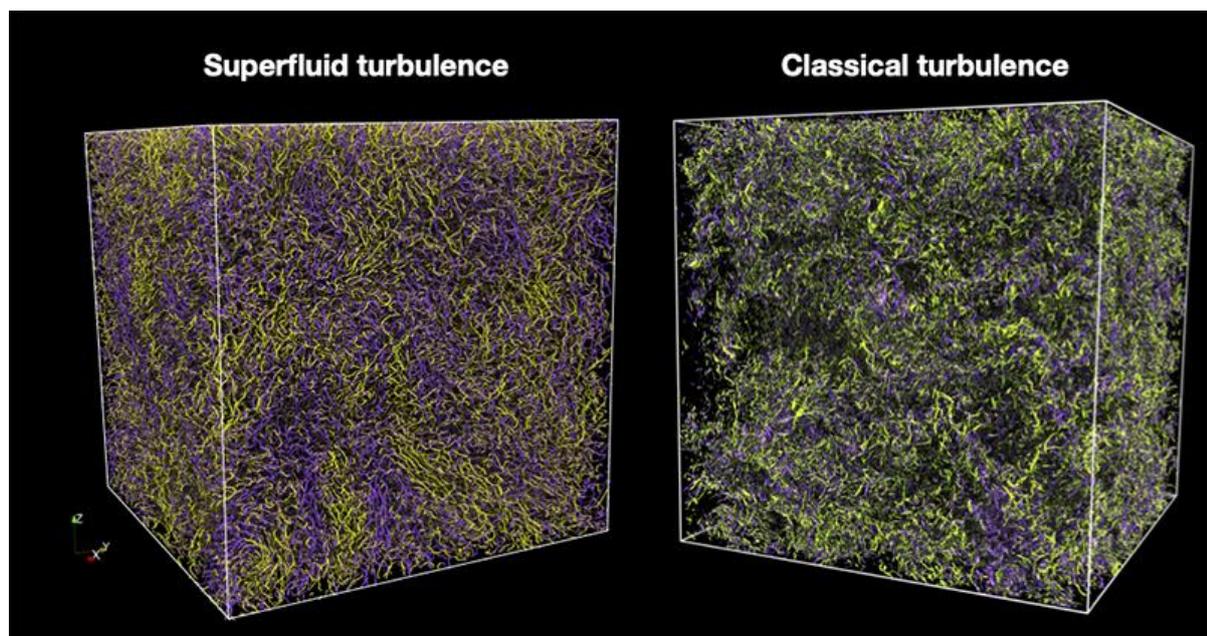


La turbulence a une influence majeure dans d'innombrables contextes naturels et industriels, tels que les écoulements atmosphériques, astrophysiques et océaniques, ainsi que ceux ayant lieu dans une turbine à combustion ou autour d'une aile d'avion. Dans tous ces exemples, une compréhension fondamentale de la turbulence est nécessaire pour une caractérisation fine des phénomènes de dispersion, mélange et traînée pariétale, ce qui peut mener notamment à des améliorations des rendements de certains procédés industriels.

Cependant, la modélisation de la turbulence est limitée aujourd'hui par l'absence d'une description complète de ce phénomène à un niveau fondamental, du fait de son immense complexité qui freine les développements théoriques.

Des chercheurs du Laboratoire Lagrange ([CNRS/Université Côte d'Azur/Observatoire de la Côte d'Azur](#)) et du Laboratoire de mécanique des fluides et d'acoustique (LMFA, CNRS/Université de Lyon) ont montré que la complexité des écoulements turbulents peut être complètement reproduite et quantifiée si l'on considère une turbulence constituée de tourbillons discrets (des filaments de vorticité de l'épaisseur infime) en interaction mutuelle, au lieu de l'écoulement d'un continuum de tourbillons classiquement décrit par les équations de Navier-Stokes. Ce système de tourbillons discrets, conceptuellement plus simple à appréhender, est celui que l'on observe notamment dans les superfluides sans viscosité, tels que l'hélium superfluide   très basse température, et qui est décrit avec précision par un modèle issu de la mécanique quantique.

Leur étude confirme, premièrement, que les tourbillons discrets ont une forte tendance à s'aligner, se regroupant dans des paquets polarisés de vorticité qui donnent lieu aux lois d'échelle de Kolmogorov bien connues dans la turbulence classique. Deuxièmement, ce travail montre que ces tourbillons se distribuent spatialement de manière très inhomogène. Ces résultats suggèrent des nouvelles pistes qui pourraient permettre d'améliorer notre compréhension de la turbulence dans les fluides de tous les jours.



*Simulations numériques d'un écoulement superfluide (  gauche) et d'un écoulement classique (  droite) où l'on voit la présence de petits tourbillons, colorés selon leur sens de rotation par rapport à la verticale.*

## Références

« [Vortex clustering, polarisation and circulation intermittency in classical and quantum turbulence](#) » Juan Ignacio Polanco, Nicolás P. Müller et Giorgio Krstulovic. *Nature Communications*, 7 décembre 2021.

« *Intermittency of Velocity Circulation in Quantum Turbulence* » Nicolás P. Müller, Juan Ignacio Polanco et Giorgio Krstulovic. [Phys. Rev. X 11, 011053 \(2021\)](#), published 16 March 2021.

Ces travaux ont été réalisés grâce au soutien de l'ANR GIANTE ANR-18-CE30-0020-01 et à l'allocation d'heures de calcul GENCI 2019-A0072A11003.

## Contact

**Giorgio Krstulovic**, chercheur CNRS, Laboratoire J-L Lagrange (CNRS-Université Côte d'Azur - Observatoire de la Côte d'Azur)

## A close flyby of an asteroid by JUICE mission

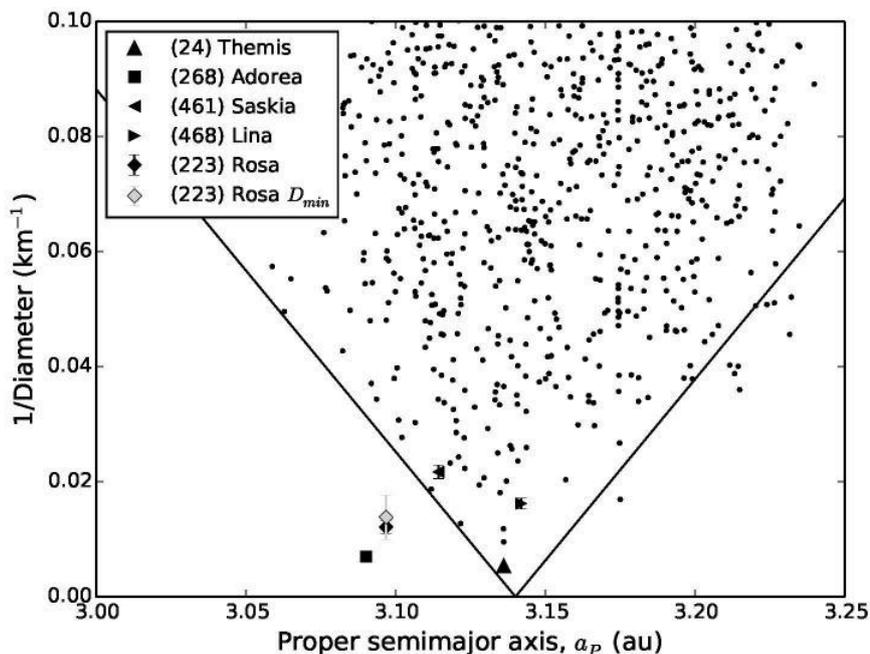
Publication : 8 décembre 2021



[The ESA JUperiter ICy moons Explorer](#) (JUICE) is a large-class mission that will mainly focus on Jupiter's giant icy moon Ganymede and perform multiple close-proximity flybys of Europa and Callisto. During the approximately nine-year cruise phase, the spacecraft will perform four Earth flybys and one Venus flyby, and will cross the main asteroid belt twice. The outer main belt asteroid (223) Rosa is currently the best candidate for JUICE to perform a close flyby.

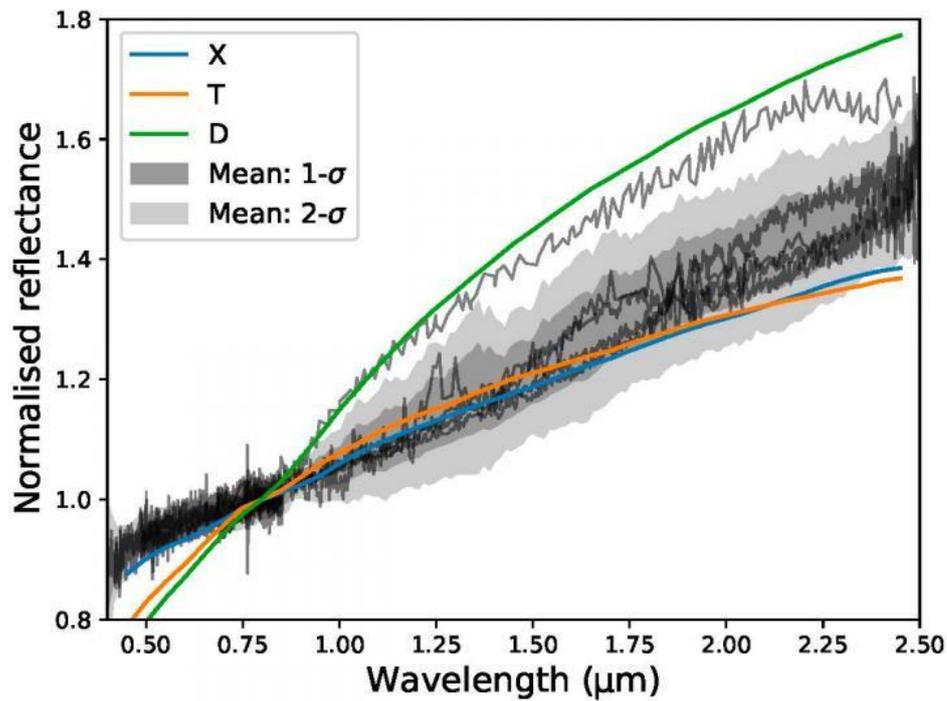
[CNRS](#) and [INAF](#) researchers studied the physical properties of Rosa. This work, that is led by Chrysa Avdellidou a post-doctoral researcher of the TOP group and appears as a Letter to the Editor in the journal *Astronomy and Astrophysics*, includes new spectroscopic observations in the visible and near-infrared wavelengths and a literature review of all the available physical properties, such as diameter, albedo, mass, and rotational period. It is found that asteroid Rosa is a very dark, low-density, spectroscopically X/P-type asteroid, while the rotationally resolved spectra show a relative homogenous surface. However, there may be an area with potentially fresher material which could have been exposed after for example an impact event.

Further investigation showed that Rosa does not belong to any asteroid family in the outer belt, contrary to earlier studies that assigned Rosa as a member of the Themis asteroid family. Hence, we propose that Rosa is a planetesimal that accreted in the protoplanetary disk beyond the snow line.



*V-shaped formation of the outer main belt asteroid family Themis. The position of asteroid Rosa that is out of the V-shape indicates that it is not a member of Themis family.*

During a close flyby of Rosa, shape reconstruction and resolved spectrophotometry can be performed confirming the aforementioned ground based observations. Furthermore, multiple geomorphological studies would be accomplished, such as cratering age determination and boulder formation and size-frequency distribution, maximising the scientific return of the JUICE mission.



Reflectance spectra of asteroid Rosa (black curves). In dark and light grey are represented the  $1\sigma$  and  $2\sigma$  deviation from the mean spectrum, respectively. For comparison, also shown are the X, T, and D spectroscopic classes.

This work is based on data provided by the [Minor Planet Physical Properties Catalogue](#) (MP3C) of the Observatoire de la Côte d'Azur.

#### Reference

« [Characterisation of the main belt asteroid \(223\) RosaA proposed flyby target of ESA's JUICE mission](#) », Avdellidou et al.

#### Contact

[Chrysa Avdellidou](#), post-doc, laboratoire J-L Lagrange (CNRS - Université Côte d'Azur - Observatoire de la Côte d'Azur)

## LES EVENEMENTS

Semaine Scientifique Lagrange : les thésards à l'honneur

<https://www.oca.eu/fr/actu-lagrange/3040-semaine-scientifique-lagrange>

Publication : 12 avril 2021



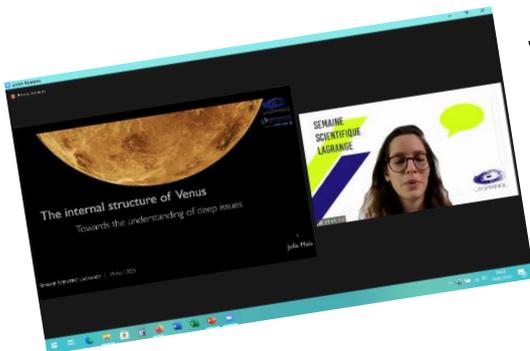
### Programme

**Lundi 19 avril 2021**

**Nicolás Müller** « *Counting tornados in turbulence* » (équipe Fluides)



**Julia Maia** « *Interior structure and evolution of Venus* » (Equipe TOP)



**Mardi 20 avril 2021**

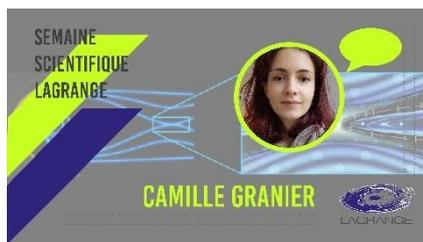
**Saburo Howard** « *Intérieurs et atmosphères des planètes géantes : de Juno à Plato* » (équipe TOP)



**Guillaume Doyen** « *SPEED: un prototype d'instrument haut-contraste pour télescope segmenté* » (équipe MPO)



**Mercredi 21 avril 2021**



**Camille Granier** « *Etude des structures cohérentes et de la reconnexion magnétique dans les plasmas non-collisionnels* » (équipe Fluides)

**Julien Drevon** « *Exploitation de l'instrument MATISSE / VLTI : imagerie des étoiles évoluées* » (équipe P2S)



**Jeudi 22 avril 2021**

**Elena Kokoulina** « *Investigating young stellar object properties with optical high angular resolution imaging* » (équipe TOP)



**Raphaël Pourcelot** « *Active control of low-order aberrations for future space-based exoplanet imagers* » (équipe MPO)



**Vendredi 23 avril 2021**

**Maria Maimone** « *Modélisation 3D, ab initio et simultanée de l'atmosphère des exo-planètes et de leurs étoiles hôtes* » (équipe P2S)



**Peter Chingaïpe** « *Kernel-nulling interferometry for high-contrast imaging with the VLTI* » (équipe MPO)



.....et Merci à **Eva et Marc**, du service communication de l'**OCA** pour l'organisation !



## Colloques

**Ecole VLTI 2021**

**Organisateurs :** Anthony MEILLAND, Florentin MILLOUR, Alexis MATTER

En 20 ans d'existence les écoles VLTI ont permis de former toute une génération de chercheurs à l'utilisation de l'interférométrie optique à longue base. Ainsi, très tôt dans le développement du Very Large Telescope Interferometer (VLTI) le besoin de formation a été identifié comme étant essentiel, l'expertise Européenne en interférométrie étant alors limitée à quelques instituts en France et en Allemagne (à cette époque le Royaume-Uni ne faisait pas partie de l'ESO). La première école fut organisée en 2002 aux Houches, et depuis des écoles financées par des fonds européens ont été organisées environ tous les deux ans dans de nombreux pays européens

Tout en restant la plus complète possible, chaque école est centrée sur un sujet tel qu'un nouvel instrument, une problématique en interférométrie, ou un domaine de l'astrophysique, avec de nombreuses des présentations généralistes. Les deux dernières écoles, organisées à Cologne en 2015 et à Porto en 2018, ont donc mis en avant GRAVITY, le nouvel instrument infrarouge proche du VLTI. Cette année, c'est le laboratoire Lagrange, très actif dans l'organisation de ces écoles puisqu'il avait déjà organisé celles de 2010 et 2013, qui devait organiser l'école VLTI avec pour thèmes principaux, l'étude des disques protoplanétaires et MATISSE, le nouvel instrument infrarouge thermique du VLTI conçu et construit au sein de notre laboratoire

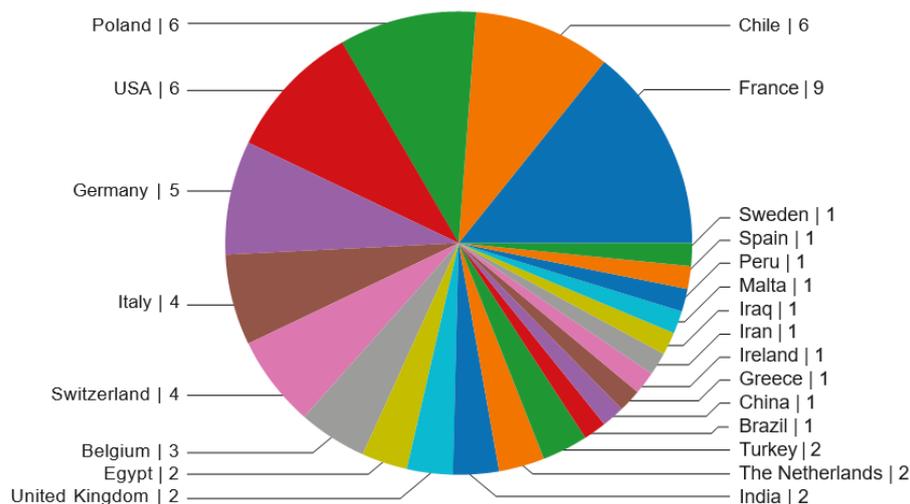
L'école, initialement prévue pour juin 2020, devait se dérouler au Centre International de Valbonne à Sophia Antipolis. La situation de la pandémie de COVID-19 nous a obligés à décaler la date, d'abord en septembre 2020 et enfin en juin 2021. Compte tenu de l'évolution défavorable de la situation pandémique mondiale au début de 2021, nous avons finalement décidé de transformer cette école en école en ligne, tout en gardant le format classique des écoles VLTI, avec autant de cours que de travaux pratiques (TPs), ce qui est essentiel pour l'apprentissage des outils liés à l'observation et à l'analyse de données interférométriques. Cette organisation 100% virtuelle, avec des étudiants dispersés dans le monde entier, n'aurait pas été possible sans l'expertise, le soutien et le dévouement du groupe technique du centre Jean-Marie Mariotti (JMMC).

L'école s'est ainsi déroulée dans un espace Gather Town pour les interactions directes et les séances de TPs (avec messagerie, voix et vidéo), avec des sessions Zoom pour les cours, et enfin l'environnement « wiki en direct » Nuclino pour l'échange d'informations et de fichiers. Sur le plan technique, la partie la plus difficile a été la mise en place de 21 machines virtuelles pour les TPs rendu possible grâce à la forte implication du groupe technique JMMC et les ressources du service GRICAD de l'Université de Grenoble.

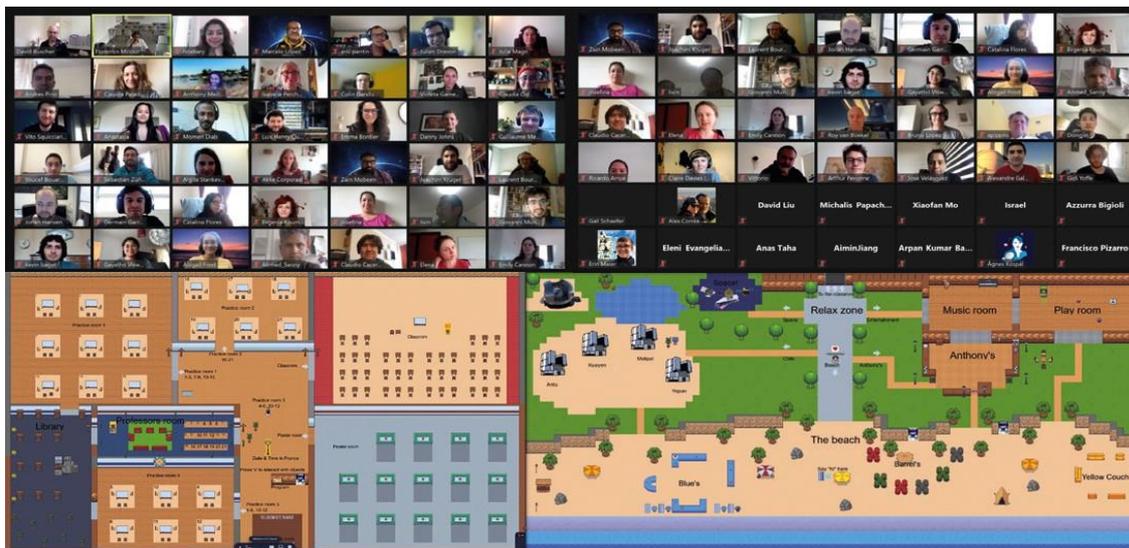
Le contenu des cours a été très varié : introduction à l'interférométrie à longue base, présentations des deux principaux interféromètres, le VLTI et CHARA et de leur nouveaux instruments, introduction à la réduction de données, à l'ajustement de modèles, à la reconstruction d'images et au transfert radiatif. Il y a également eu plusieurs cours sur les étoiles jeunes, les disques protoplanétaires, les exoplanètes et les astéroïdes. Ces cours ont été complétés par des TP sur les bases de l'interférométrie et la préparation d'observations, la réduction de données pour l'instrument MATISSE, l'ajustement de modèles, la reconstruction d'images, et, pour la première fois, sur le transfert radiatif et son utilisation pour l'analyse de données interférométriques. Enfin, les étudiants devaient préparer une demande d'observation évaluée par un comité constitué par les professeurs de l'école et des membres de l'ESO.

63 participants était inscrits aux cours et aux TPs. A cela il faut ajouter 59 auditeurs libres enregistrés pour suivre les cours seulement. Les cours ont réuni environ 60 auditeurs en moyenne avec des pics au-delà de 80. Grâce à la nature virtuelle de l'école, l'origine des étudiants a été plus diversifié que pour les éditions précédentes avec 23 nationalités représentées dont une dizaine hors de l'UE.

Figure2: Répartition des étudiants enregistrés pour les cours et TPs par nationalité de leur institut d'origine.



Nous espérons que cette 10ème école VLTI, organisée dans des conditions exceptionnelles, aura permis aux participants d'acquérir toutes les compétences et connaissances nécessaires pour utiliser l'interférométrie optique dans leurs travaux de recherche, et publier, dans un avenir proche, des résultats scientifiques fascinants.



En haut : Photos de l'école sur Zoom (avec 67 des participants). En bas : les lieux de l'école sur Gather Town : à gauche, l'espace de travail avec la salle de classe, les salles de TPs avec des tableaux blancs partagés, la bibliothèque (nombreux liens vers des ressources utiles) et la salle de posters ; à droite, la zone de détente avec de nombreuses salles pour des discussions informelles ou en groupe.

**Note sur l'impact environnemental de l'école :**

Pour comparer l'impact d'une école VLTI en ligne et d'une autre en présentiel, nous avons utilisés les chiffres de Burtscher et al. (2020) comparant les émissions des conférences EWASS 2019 (en présentiel) et EAS 2020 (en ligne). Rapporté aux nombres de participants pour les écoles VLTI 2018 et 2021, l'on déduit que l'école de Lisbonne a produit environ 75 t de CO2, essentiellement dus aux déplacements, contre seulement 1t environ pour l'école virtuelle de 2021, principalement due à l'envoi des *goodies* (fabriqués en France) aux participants à l'école, et à l'utilisation des serveurs pour les machines virtuelles et gather.town. Cela confirme donc que la conduite d'une telle école dans un format 100% en ligne, même avec des *goodies* envoyés aux élèves chez eux, réduit considérablement l'impact environnemental par rapport à une école en présentiel.

## Prix et distinctions

- Le Prix André Lallemand de l'Académie des Sciences décerné à **Frantz Martinache** pour ses travaux sur la détection et de la caractérisation des planètes extrasolaires par imagerie optique directe et interférométrie.



<https://www.academie-sciences.fr/fr/Laureats/laureats-2021-des-prix-thematiques.html>

- Le prix de thèse de l'EDSFA attribué à **Vincent Hocdé** sur le sujet « Enveloppes circumstellaire des Céphéides et leurs effets sur la relation période Luminosité à l'ère du JWST et de l'E-ELT » encadré par Nicolas Nardetto et Eric Lagadec.



- L'académie des sciences a eu l'honneur et le plaisir de les informer que les membres du jury du prix « Tremplin » franco-africain ont voulu souligner l'intérêt qu'ils portent à leurs travaux de collaborations en astronomie entre Nice et Ouagadougou en leur décernant le Prix "Tremplin" de coopération bilatérale en recherche - Afrique 2021.

*Depuis 2019, Mamadou N'Diaye et Eric Lagadec (Laboratoire Lagrange, OCA) s'impliquent de manière active dans des projets de collaboration avec des instituts de recherche en Afrique en astrophysique. Le but de cette initiative est de fédérer les actions de coopération entre les chercheurs français et européens et leurs homologues africains, afin de développer, renforcer, et pérenniser des travaux collaboratifs.*



*L'initiative Lagrange/OCA-Afrique portée par Mamadou N'Diaye et Eric Lagadec (Lagrange/OCA) a débuté suite à une prise de contact début 2019 avec Sié Zacharie Kam, responsable de la recherche en astrophysique du LPCE à Ouagadougou, qui a émis le souhait de développer des collaborations pérennes avec Lagrange/OCA pour renforcer la formation, la recherche et innovation de l'astronomie au Burkina Faso pour le développement.*

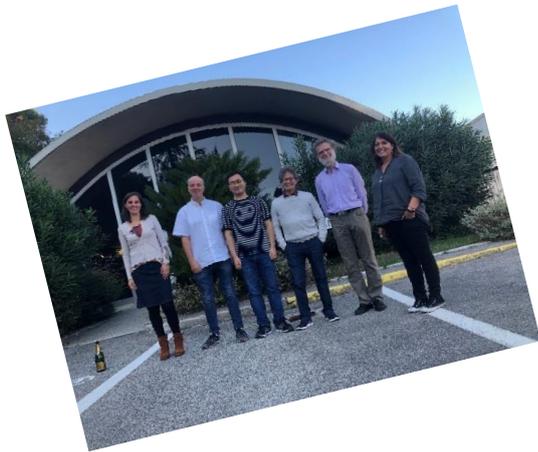


*Cette action a commencé en 2019, avec la venue à Nice de Nekolgne Aymard Badolo (novembre 2019), puis de Weizmann R. Kiendrebeogo (août 2020), étudiants en astrophysique à Ouagadougou et lauréats d'une bourse Poincaré junior OCA en 2019 et 2020 au sein des laboratoires Lagrange et Artémis. Elle s'est poursuivie avec le démarrage du doctorat de Fabrice Bado (septembre 2020), sous la direction de Sié Zacharie Kam (LPCE) et de Patrick de Laverny (Lagrange).*

Toutes nos félicitations à nos collègues qui participent au rayonnement de notre Laboratoire !

## Thèses de Doctorat soutenues en 2021

NOM	PRÉNOM	Sujet de thèse
<b>BORSOI</b>	Ricardo Augusto	Analyse de données multi-dimensionnelles
<b>KOKOULINA</b>	Elena	Investigating YSOs properties with optical high'angular resolution imaging
<b>MICHEL</b>	Alisson	Formation and evolution of galaxy clusters in cosmological simulations
<b>SALSI</b>	Anthony	L'étalonnage de la relation brillance de surface couleur : distance des binaires à éclipses dans le groupe local et préparation de la mission PLATO
<b>SANTOS DEL PERAL</b>	Pablo	"Galactic Archaeology of the Milky Way disc with the GAIA space mission"
<b>ZHAO</b>	He	Extinction interstellaire dans l'ère des grands relevés spectroscopiques.



## Séminaires Lagrange 2021

Organisés par **Nicole Nesvadba et Claire Michaut** jusqu'en septembre 2021.



Et depuis par **Morgan Schmitz et Silvio Cerri**

2021-12-07	<b>Simone Mastrogiovanni</b>	OCA	<b>Studying the Universe with populations of Gravitational waves sources</b>
2021-11-30	Marisa Brienza	University of Bologna	Insights into the AGN life-cycle and feedback from low frequency radio observations
2021-11-25	Giuseppina Battaglia	Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), La Laguna	A Gaia-aided view of the properties of Local Group dwarf galaxies
2021-11-16	Leonardo Testi	ESO	Protoplanetary (?) disks and the dawn of planets
2021-11-09	Christophe Morisset	UNAM, Mexico	Using Machine learning in interstellar medium studies
2021-10-19	Guillaume Drouart	ICRAR, Curtin University, Perth	Toward the first sample of radio powerful AGN in the Epoch of Reionization with the Murchison Widefield Array, a SKA-precursor
2021-10-12	Konstantin Batygin	Caltech	Planet Nine from Outer Space: A Status Update
2021-10-05	Michael Koenig, Bruno Albertazzi	Ecole Polytechnique	L'Astrophysique de Laboratoire à Haute Densité d'énergie
2021-09-28	Jana Bockova	Institut de Chimie, UCA	Astrophysical origins of biological homochirality
2021-09-14	Mike Rich	UCLA	The Blanco DECam Bulge Survey: A Panchromatic Survey and LSST Pathfinder
2021-09-07	Jacques Kluska	University of Leuven	Disks around evolved binaries: do they form second-generation planets?
2021-06-29	Philippe Salomé	LERMA, Observatoire de Paris	e-Tools for Radio-Astronomy
2021-06-22	Zeinab Khorami	Cardiff University	Near-infrared Photometry and Astrometry of the core of R136
2021-05-25	Guillaume Thomas	IAC Tenerife, Spain	Reconstructing the history of the Milky Way and probing the dark matter nature in WEAVE and LSST era

<b>2021-05-18</b>	<i>Sarrvesh Sridhar</i>	<i>MPIfR, Bonn</i>	<i>Magnetic fields in nearby galaxies: a low-frequency radio continuum perspective</i>
<b>2021-05-11</b>	<i>Carlos Martin</i>	<i>Centro de Astrofísica da Universidade do Porto, Portugal</i>	<i>Varying fundamental constants, from alpha to omega</i>
<b>2021-05-04</b>	<i>Thomas Masseron</i>	<i>IAC Tenerife, Spain</i>	<i>Discovery of phosphorus-rich stars</i>
<b>2021-04-20</b>	<i>Kenda Knowles</i>	<i>University of Kwazulu-Natal</i>	<i>A MeerKAT view of galaxy clusters</i>
<b>2021-04-13</b>	<i>Marta Volonteri</i>	<i>IAP Paris</i>	<i>Massive black hole binaries in the cosmos</i>
<b>2021-04-06</b>	<i>Paul Mollière</i>	<i>MPIA Heidelberg</i>	<i>From atmospheric to formation retrievals</i>
<b>2021-03-23</b>	<i>Lorenzo Posti</i>	<i>Université de Strasbourg</i>	<i>Where feedback fails: clues from the dynamics of massive galaxies</i>
<b>2021-03-16</b>	<i>Olivier Minazzoli</i>	<i>Artémis, OCA</i>	<i>Entangled relativity</i>
<b>2021-03-09</b>	<i>Jean-Baptiste Lebouquin</i>	<i>Université de Grenoble</i>	<i>A new era of interferometry with GRAVITY+</i>
<b>2021-03-02</b>	<i>Raoul Canameras</i>	<i>MPA Garching</i>	<i>Star formation and feedback in the brightest lensed starburst galaxies at <math>z \sim 2-4</math></i>
<b>2021-02-23</b>	<i>Vincent Reverdy</i>	<i>ENS, Paris</i>	<i>The Structural Complexity of Numerical Astrophysics Codes</i>
<b>2021-02-16</b>	<i>Gianluca Castignani</i>	<i>University of Bologna</i>	<i>High-redshift galaxy clusters and their galaxy population</i>
<b>2021-02-09</b>	<i>Christopher Kyba</i>	<i>Deutsches GeoForschungsZentrum Potsdam</i>	<i>An introduction to light pollution for astronomers and citizen scientists</i>
<b>2021-02-02</b>	<i>Nicolas Martinet</i>	<i>Argelander Institut fuer Astronomie</i>	<i>Weak Lensing with Euclid: from shape measurement to cosmology</i>
<b>2021-01-26</b>	<i>James Leftley</i>	<i>Laboratoire Lagrange, OCA</i>	<i>AGN at High Angular Resolution</i>
<b>2021-01-19</b>	<i>Stefano Andreon</i>	<i>Osservatorio de Brera</i>	<i>Gas-poor clusters: What kind of beasts are they?</i>

## Le MASTER MAUCA

Et une année de plus pour MAUCA!

Quatre de nos étudiants diplômés en juin sont maintenant en thèse dont une au sein de Lagrange. Bienvenue Philippine! À la suite de son stage MAUCA de M2 à la frontière astronomie-atmosphère, un autre étudiant refait un M2 dans le domaine de l'atmosphère terrestre pour démarrer un doctorat l'an prochain. Les quatre autres étudiants sont encore à la recherche d'un doctorat.

Nous saluons cette année les premiers "Docteurs MAUCA": les premiers étudiants de MAUCA, diplômés en 2018 qui soutiennent donc cette année leur thèse de doctorat. Bravo à Alisson, Anthony, Christian, Jean-Christophe, et Hamza!

En cette rentrée 2021, la promotion de M1 est au complet, avec 12 étudiants, une première depuis la création du Master. Plus de 80 dossiers de candidature avaient été déposés! Le Master attire des étudiants de tous horizons et nous accueillons des étudiants de Toulouse, Nantes, Limoges, Paris, Nice, Madagascar, Venezuela! Cette année le nombre d'étrangers postulant était néanmoins moindre, sans doute lié à la crise sanitaire.



*Promotion 2021 -2022*

## Les nouveaux contrats

**Astronomie : l'Europe reconnaît l'excellence de la recherche azurienne**

Publication : 22 avril 2021

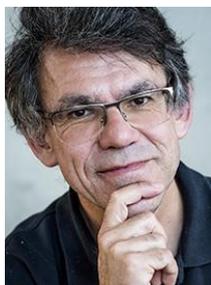


L'European Research Council (ERC) a pour mission d'encourager la recherche de la plus haute qualité en Europe grâce à un financement concurrentiel. Cette instance européenne soutient les recherches exploratoires lancées par les chercheurs dans toutes les disciplines sur la base de l'excellence scientifique. Dans ce cadre, deux scientifiques du laboratoire Joseph-Louis Lagrange (CNRS-UCA-OCA), Denis Mourard, astronome de l'Observatoire de la Côte d'Azur, et Alessandro Morbidelli, directeur de recherche CNRS, ont obtenu une bourse Advanced Grant de l'ERC pour leur projet de recherche respectif. Ce soutien d'un montant de plus de 2,5 millions d'euros chacun va permettre la constitution d'équipes, sur cinq ans, autour de ces deux lauréats et de leurs collaborateurs actuels. Il représente un financement essentiel au développement de la recherche azurienne en astronomie et une reconnaissance de la qualité des travaux menés par l'Observatoire de la Côte d'Azur, le CNRS et l'Université Côte d'Azur, au sein de leur laboratoire commun, l'UMR Lagrange.

**Interferometric Survey of Stellar Parameters**

Le projet présenté par Denis Mourard, ISSP pour Interferometric Survey of Stellar Parameters, est fondé sur un grand relevé de paramètres stellaires fondamentaux grâce au nouvel instrument CHARA/SPICA en cours d'intégration sur les télescopes du Mont-Wilson aux Etats-Unis. Comprendre les planètes ou construire les échelles de distance dans l'Univers sont deux enjeux majeurs qui reposent entre autres sur l'étude détaillée des étoiles. Les objectifs astrophysiques poursuivis concernent la caractérisation fine des étoiles hôtes d'exoplanètes pour mieux comprendre les planètes, les

mesures directes par interférométrie longue base des étoiles présentant des fréquences de pulsation afin de mieux comprendre leurs intérieurs, et enfin l'établissement de nouvelles relations empiriques qui permettront d'étendre ces nouveaux savoirs à des étoiles plus lointaines, abritant notamment de nouveaux systèmes planétaires. Ces études fourniront de nouveaux outils d'exploitation des futures grandes missions spatiales ainsi que de nouveaux ingrédients incontournables des modèles d'atmosphère ou des modèles d'évolution. (© photo : B. Eyman)

**Contact** : Denis Mourard**HolyEarth, une approche holistique pour comprendre la formation de la Terre.**

Comment la Terre s'est-elle formée avec les propriétés qui en ont fait la seule planète habitée du système solaire ? Répondre à cette question est le Saint Graal de la science planétaire et est essentiel pour comprendre les processus de formation d'une planète capable d'abriter la vie et évaluer la probabilité que des processus similaires se soient produits dans d'autres systèmes extrasolaires. L'objectif primordial du projet est d'identifier un scénario unique qui, pour la première fois, satisfera simultanément toutes les contraintes observationnelles de manière cohérente. Ce projet placera la formation de la Terre dans le contexte de l'évolution cosmique qui conduit aux étoiles et aux planètes. Son impact atteindra d'autres domaines scientifiques, comme la biologie et l'exobiologie, et résonnera avec le vif intérêt du public pour la question de nos origines.

**Contact** : Alessandro Morbidelli

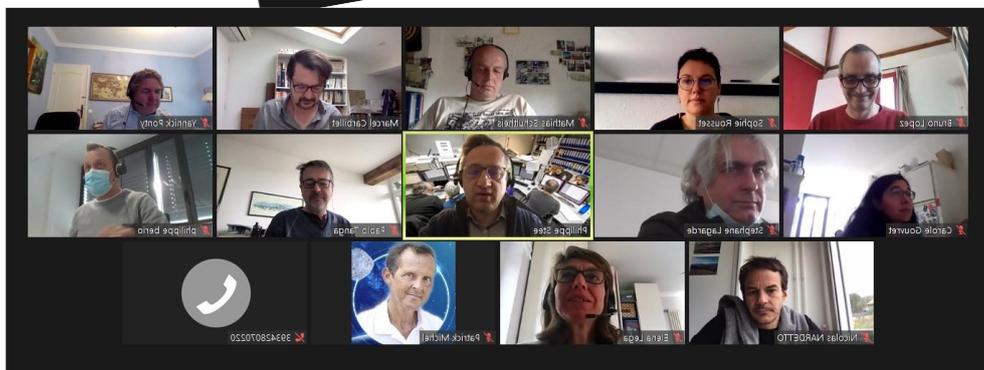
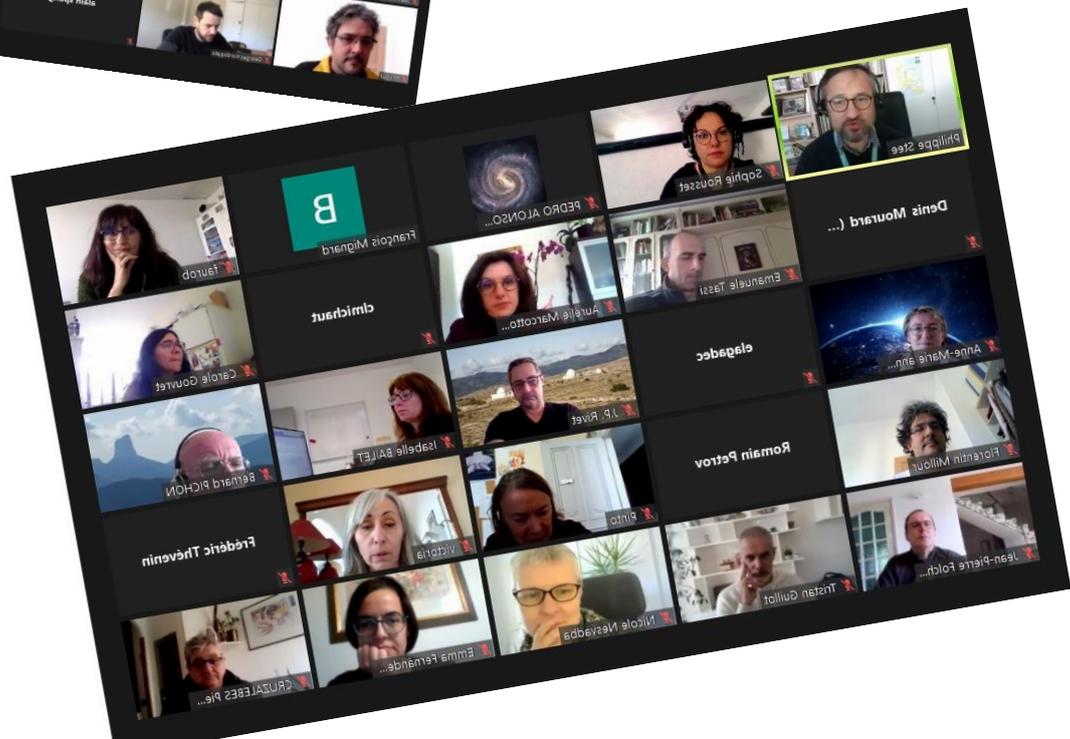
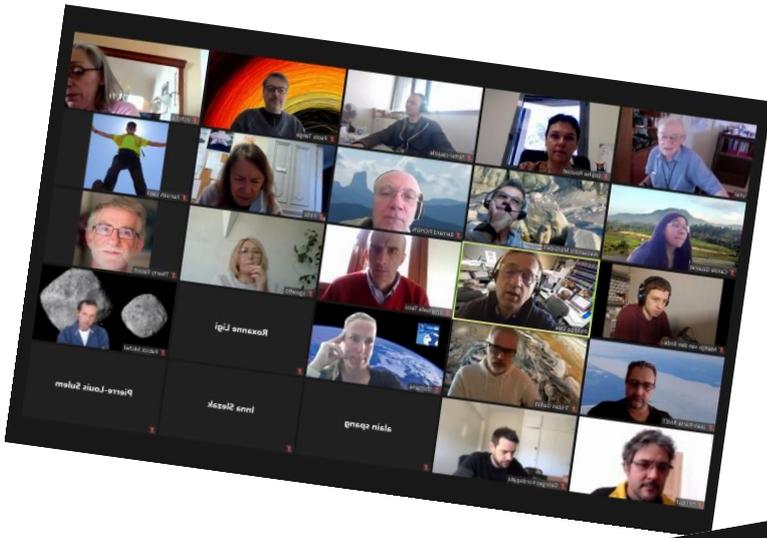
## 4 nouvelles ANR obtenues en 2021:

Acronyme	Projet	Responsable	Durée	Montant demandé	Partenaire(s)
AGN_MELBa	AAG ANR 2021 : Etude multi échelle à large bande de Noyaux Actifs de Galaxies (AGN_MELBa)	PETROV Romain	48	299 712 €	OBSERVATOIRE DE PARIS (LESIA) / IPAG
EXOVLTI	L'interferometrie optique révèle la formation exoplanétaire (EXOVLTI)	MILLOUR Florentin	48	144 704 €	OBSERVATOIRE DE PARIS (LESIA) / UGA (IPAG)
MASSIF	MAssive Stars Study in InterFerometry (MASSIF)	MEILLAND Anthony	48	240 352 €	OBSERVATOIRE DE PARIS (LESIA) / INSTITUT DE RECHERCHE EN ASTROPHYSIQUE ET PLANETOLOGIE (IRAP)
O-Return	En préparation de la 1ère étude des échantillons d'astéroïde ramenés par OSIRIS-REx (O- Return)	LIBOUREL Guy	48	182 112 €	CNRS (CRHEA)

## Parmi les autres contrats démarrés en 2021 :

- Aziz ZIAD                      ESA – ANATOLIA (voir news AVRIL)
- Alexis MATTER                H2020 ORP, suite de OPTICON, durée 36 mois.
- Paolo TANGA                    ESA OSIP "Open Space Innovation Platform"

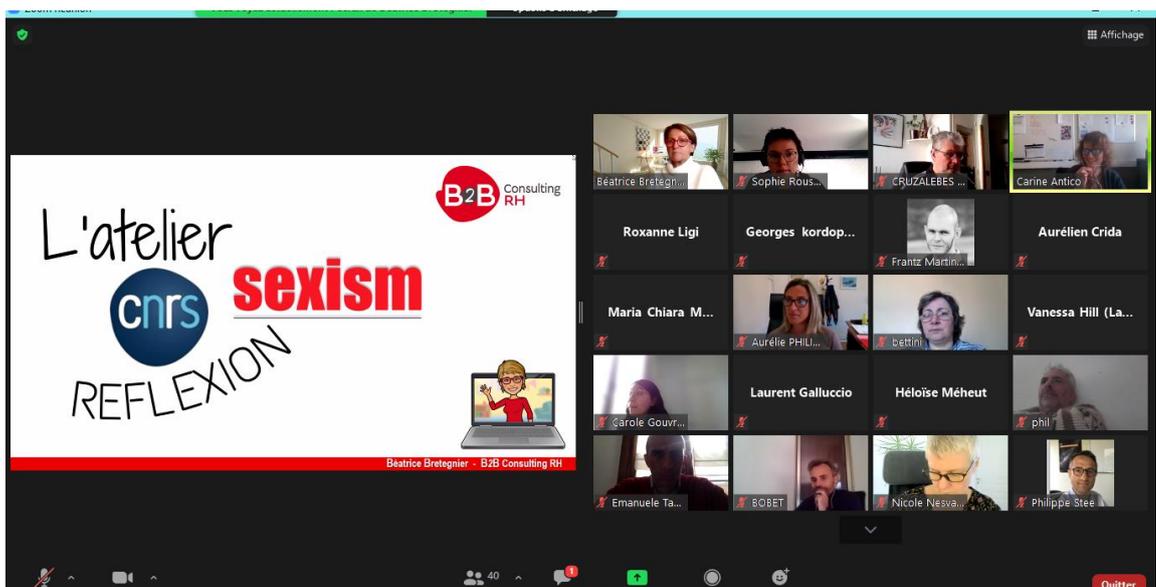
Les moments de convivialités et autres rendez-vous





Rendez-vous avec les doctorants ....

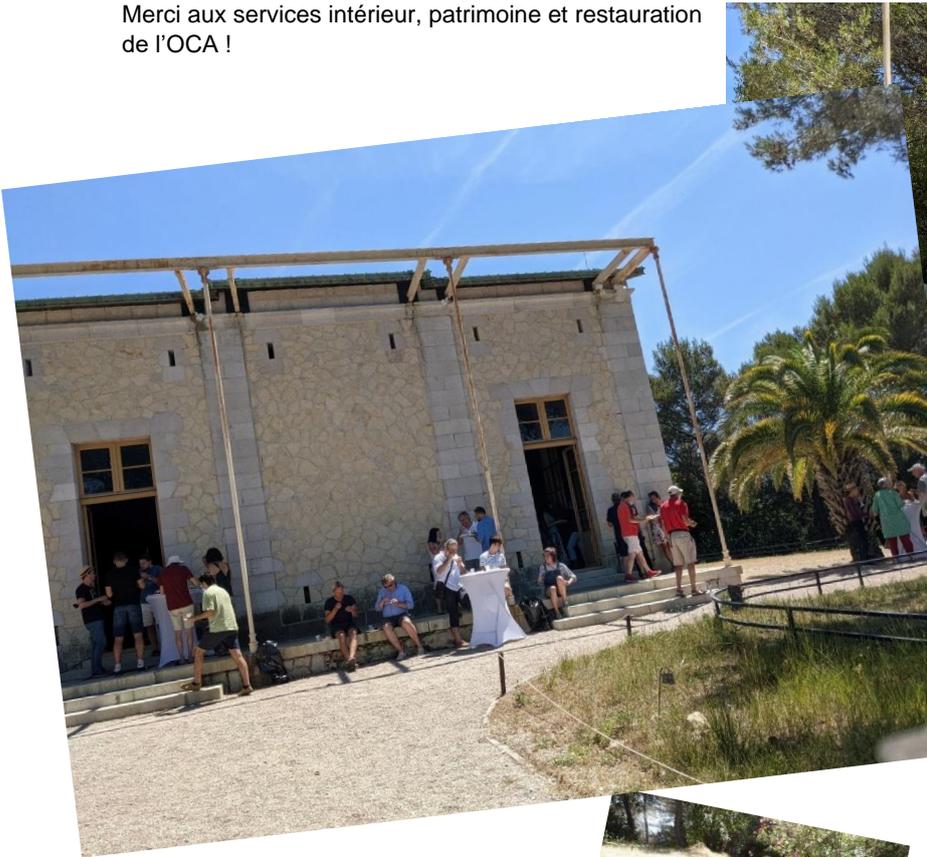
.... Et les post doctorants



L'AG de juillet



Merci aux services intérieur, patrimoine et restauration de l'OCA !

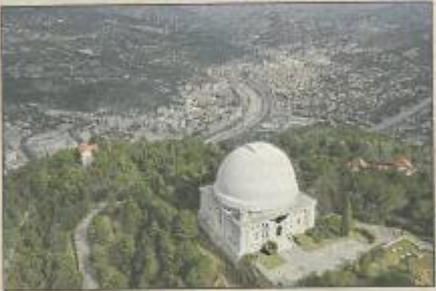


Le départ à la retraite de Yves Bresson



Les honneurs de la presse locale :

**PREMIÈRE MONDIALE À NICE**  
**Une chercheuse azurienne observe un trou noir avalant un pulsar**



(Photo DR)

On les appelle des « pulsars », car ces étoiles à neutrons ont la particularité de « clignoter » tels des phares. En revanche, les trous noirs sont des amas de matière si denses qu'ils ne laissent échapper aucune matière ni aucune lumière. Ces objets stellaires sont connus des astronomes. Mais c'est la première fois que l'on détecte un trou noir en train d'engloutir une étoile à neutrons. Et cette découverte, on la doit à une chercheuse de l'observatoire de Nice, Astrid Lamberts, qui a réussi à capter les ondes gravitationnelles émises par ce phénomène... Survenu en fait il y a un milliard d'années. Les ondes émises ont mis tout ce temps à parcourir l'univers pour atteindre la Terre.

**E. G.**





Laboratoire J.-L. LAGRANGE

*Boulevard de l'Observatoire*

CS 34229

06304 NICE Cedex 4

*Edité en Janvier 2022.*