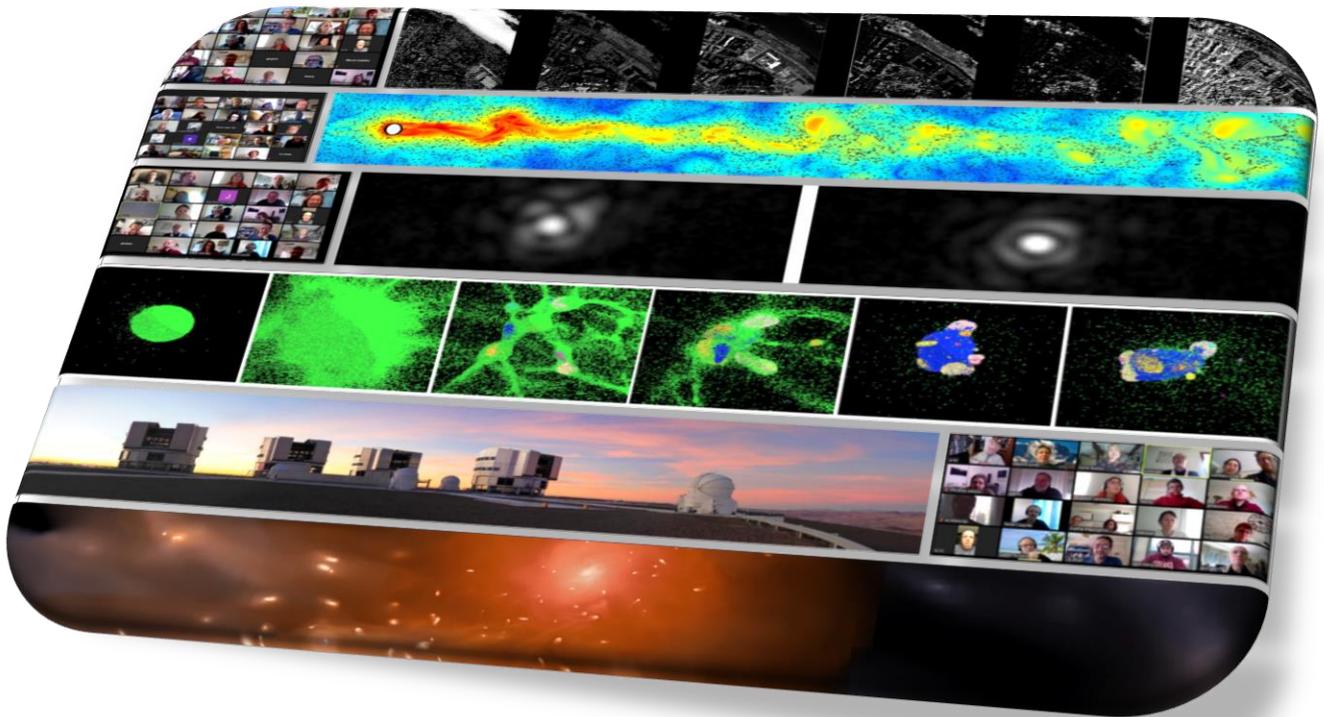




**LABORATOIRE J.-L. LAGRANGE**  
**UMR 7293**

# **RETROSPECTIVE**

## **2020**



## Table des matières

Préface .....	3
Les grands chiffres (2020) .....	4
Les temps forts scientifiques de l'année.....	5
JANVIER .....	6
Premières expériences d'impact à haute vitesse sur des matériaux analogues des astéroïdes carbonés.....	6
FEVRIER .....	8
Un modèle bidimensionnel réaliste d'Altair .....	8
Les télescopes de l'ESO scrutent la baisse de luminosité de surface de l'étoile Bételgeuse.....	9
MARS .....	11
Premiers résultats de l'exploration géophysique de Mars avec InSight.....	11
Nomination de la présidence de l'ESKAF (European SKA Forum).....	13
Impact artificiel sur l'astéroïde Ryugu : un cratère bien plus grand que prédit .....	14
Besoins futurs en tâches de service JMMC/MOIO/AMHRA .....	17
Lever le voile sur l'intérieur des planètes géantes .....	19
AVRIL .....	21
Le jeune thésard de 18 ans contribuera au troisième catalogue Gaia .....	21
Un nouveau concept de télescope pour imager les détails 'objets célestes distants'.....	22
Un scénario pour expliquer l'étrange astéroïde interstellaire Oumuamua.....	24
Projet ERC KERNEL : le noyau fait des germes !.....	27
MAI .....	29
Mission spatiale Euclid : la France livre le spectromètre infra-rouge NISP et le Segment Sol démarre son ultime challenge scientifique avant le lancement.....	29
Les astéroïdes Ryugu et Bennu sont des agrégats nés de la destruction d'un gros astéroïde .....	31
JUIN .....	34
First live observation of a meteoroid impact on the Moon !.....	34
NON, les petits corps du système solaire n'ont pas une origine interstellaire .....	35
JUIN .....	36
Les conséquences des passages proches d'astéroïdes avec la Terre revisités .....	36
JUILLET .....	38
Prix Gemini SAF/SF2A 2020 du projet de collaboration astronomes professionnels/amateurs .....	38
AOUT .....	39
Coup de tonnerre sur la météorologie de Jupiter.....	39
Un nouveau modèle pour les plasmas non-collisionnels.....	41
SEPTEMBRE .....	42

Des astronomes observent le vent d'étoiles évoluées avec des détails sans précédents.....	42
Les fibres optiques télécom et l'intelligence artificielle au service des villes et des territoires intelligents.....	45
OCTOBRE .....	46
APOGEE dévoile les étoiles les plus froides du centre galactique .....	46
La dynamique irréversible des reconnections de vortex dans les fluides quantiques.....	47
NOVEMBRE .....	48
HIRES, le spectrographe à haute-résolution qui sera monté sur l'ELT, rentre en pré-phase B en 2021 .....	48
Observation d'une occultation stellaire par l'astéroïde Polymèle depuis le Sénégal.....	49
DECEMBRE .....	50
Le troisième catalogue Gaia, une étape importante pour les chercheur.e.s de l'Observatoire de la Côte d'Azur.....	50
Endommagement thermomécanique des surfaces des astéroïdes.....	52
Jupiter et Saturne se rapprochent le 21 décembre 2020 .....	53
La mission Hera de l'ESA passe en Phase C.....	55
100 ans après : MATISSE, déconfiné, revisite Bételgeuse .....	56
LES EVENEMENTS.....	57
Prix et distinctions.....	57
Thèses de Doctorat soutenues en 2020.....	57
Thèses d'Habilitation à Diriger des Recherches en 2020 .....	58
Le MASTER MAUCA.....	58
Séminaires Lagrange 2020 .....	59
Les colloques .....	61
Les nouveaux contrats .....	62
Et pendant le confinement ?.....	63
Les actions solidaires :.....	63
Clins d'œil.....	64
JSOCA 2020 .....	67

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

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

## Préface

Voilà une nouvelle année qui se termine et que, de l'avis de toutes et tous, nous ne regretterons pas vraiment. Elle a été particulièrement difficile pour le maintien des projets en cours et des activités de recherche mais plus encore au niveau humain et social avec ces deux périodes de confinement qui se sont succédé. Difficile pour nos étudiants et postdocs isolés parfois dans 10 m<sup>2</sup> pendant 2 mois, difficile par le manque de relations sociales et professionnelles, difficile car nous sommes en face d'un Virus qui, en plus d'avoir mis à l'arrêt tout un pays, a aussi causé de nombreuses disparitions, y compris parmi les proches des membres du Laboratoire. J'en garderai néanmoins plusieurs leçons très positives. Cette période difficile a démontré que notre résilience n'était pas un vain mot, que vous étions capables d'empathie et de solidarité, envers nos collègues, nos proches mais également la population en général comme a pu le démontrer la fabrication de masques en impression 3D (au domicile de Christophe et Isabelle Baillet !) distribués gratuitement aux soignants pendant toute la période de confinement. Je tiens également à remercier Anthony Salsi, représentant des doctorants au conseil de Laboratoire, qui a réussi à maintenir le lien entre les doctorants et la direction du laboratoire malgré ces difficiles conditions.

La science elle-même a continué à progresser et nous avons obtenu pas moins de 6 nouvelles ANR dont 3 en tant que porteur principal. Nous venons d'en déposer 23 (!) en phase 1 pour 2021. Cette fin d'année a également vu le redémarrage de MATISSE à Paranal grâce au dévouement de toute l'équipe qui a su opérer depuis Valrose la remise en route de l'instrument en télé-observation (une première pour un instrument ESO). Le pointage de la première étoile et les franges obtenues dans la foulée ont démontré la stabilité de l'optique chaude de MATISSE. Comme vous pourrez le découvrir à la lecture de cette rétrospective, d'impressionnants résultats scientifiques ont été obtenus, malgré ces conditions difficiles, dans toutes les équipes scientifiques et techniques du Laboratoire. A nouveau, la Planétologie a fait dans le spectaculaire avec le retour sur Terre des échantillons rapportés par la sonde Hayabusa 2 dont le Laboratoire est partenaire pour l'analyse des fragments de l'astéroïde Ryugu. Entre septembre et décembre, pas moins de 15 thèses et HDR ont été soutenues. Nos chercheurs et ingénieurs ont aussi été à l'honneur avec 6 promotions, Bernard Pichon a été fait Chevalier dans l'ordre National du mérite et Marianne Faurobert nommée Chevalier dans l'ordre des Palmes Académiques. Si je ne dois qu'en citer deux, je tiens à féliciter chaleureusement Sophie Rousset, notre responsable administrative pour sa promotion dans le corps des Ingénieurs de Recherche et Stéphane Lagarde pour sa promotion au grade des Ingénieurs de Recherche Hors-Classe. Nous souhaitons une bonne continuation à Catherine Renaud qui a pris une retraite bien méritée et qui ne manquera pas de passer voir l'achèvement des projets sur lesquels elle a travaillé au Plateau de Calern. Nous souhaitons la bienvenue à Simon Prunet qui a quitté un endroit bien sympathique (le sommet du Mauna Kea à Hawaï) pour rejoindre l'équipe Signal du Laboratoire à Valrose et à Fatmé Allouche pour sa titularisation comme Ingénieur d'Etudes UCA au sein du Groupe Ingénierie & Recherche. Je souhaite également remercier Julien Dejonghe qui a assuré la fonction d'Assistant de Prévention du Laboratoire depuis notre installation, il y a 4 ans, dans le bâtiment Fizeau sur le site du Campus Valrose et remercier Sylvain Rousseau qui a accepté de prendre la suite.

Bien que nous n'ayons plus de webmaster actuellement, nous avons ajouté au Web du Laboratoire 3 rubriques que je trouve essentielles à la vie du Labo et que je vous invite à consulter: une rubrique Qualité de Vie au Travail (QVT), une rubrique Eco Responsable et une rubrique Egalité Professionnelle. Il convient à chacune et chacun de s'en saisir et de les faire vivre car ce sont, il me semble, 3 piliers nécessaires au développement serein et équilibré du Laboratoire. Comme chaque année j'en profite pour remercier nos tutelles: l'INSU, le CNRS, l'université Côte d'Azur et bien sur l'Observatoire de la Côte d'azur pour leur accompagnement au quotidien et le soutien sans faille aux projets du Laboratoire. 2021 sera l'année de notre nouvelle évaluation par l'HCERES et je ne manquerai pas de revenir vers vous car il s'agit bien d'un travail collaboratif qui concerne l'ensemble du Laboratoire: chercheur, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, administratifs, doctorants et post-doctorants autour d'un nouveau projet commun qu'il conviendra de co-construire. 2021 sera aussi l'occasion de travailler avec un.e nouvelle directrice ou nouveau directeur à l'OCA et je suis certains que vous lui accorderez le meilleur accueil possible. Chaque année je termine en espérant faire encore mieux que l'année passée et je pense qu'il n'y aura pas de mal à faire mieux que cette année, surtout au niveau humain et social.

Je vous souhaite à toutes et tous de passer une excellente année 2021 remplie de succès professionnels et personnels !

Philippe Stee, directeur du laboratoire Lagrange



## Les grands chiffres (2020)

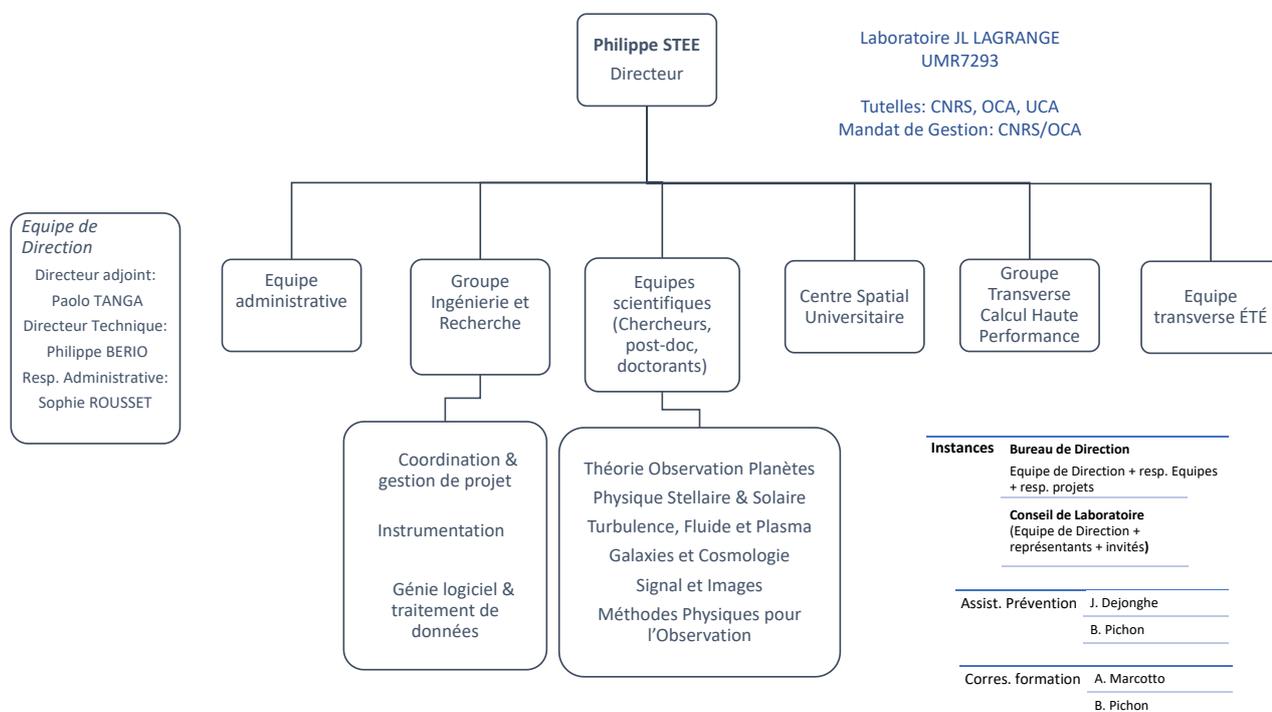
En 2020, nous avons accueilli :

**7** nouveaux doctorants et **7** nouveaux post-doctorants

**23** : c'est le nombre de dossiers ANRs déposés sur l'appel 2021 !

**92** Articles répertoriés dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture

**11** Cafés du D.U. en virtuel afin de maintenir le lien malgré la distance.



### Organisation 2020

## Les temps forts scientifiques de l'année

## JANVIER

### Premières expériences d'impact à haute vitesse sur des matériaux analogues des astéroïdes carbonés

Publication : 28 janvier 2020

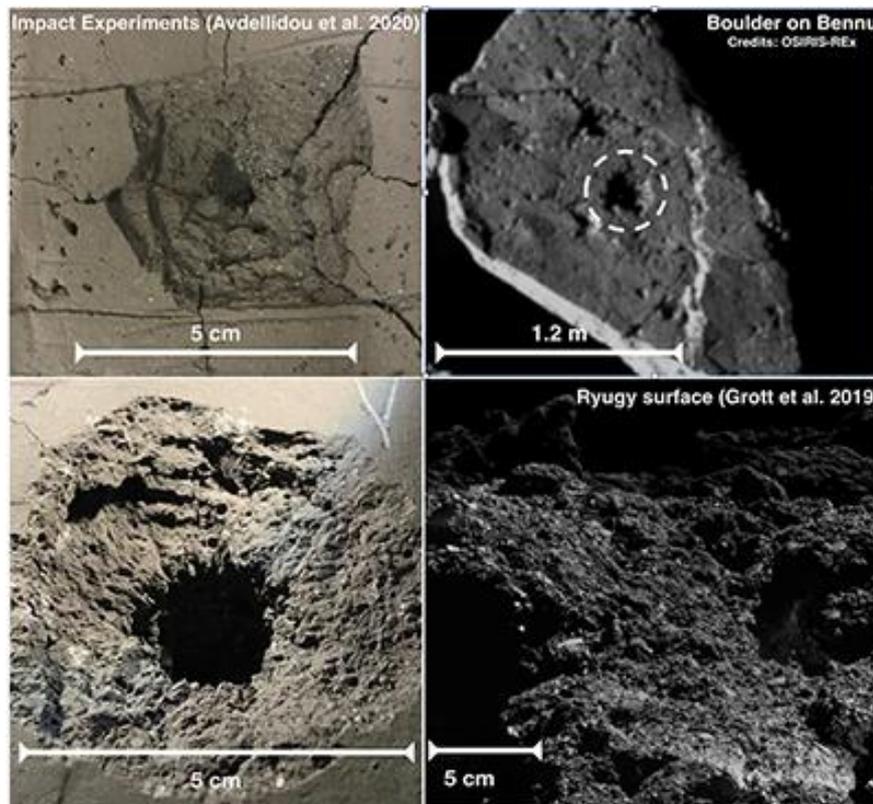


Le retour d'échantillons des deux missions spatiales en cours, Hayabusa2 et OSIRIS-Rex, ont fourni des informations précieuses sur la nature des surfaces des astéroïdes proches de notre planète (ou autrement dit géocroiseurs), Ryugu et Bennu. Ces astéroïdes primitifs, sombres et carbonés semblent être recouverts d'un matériau extrêmement fragile.

Normalement les astéroïdes avec une composition non-primitive peuvent envoyer leur matériaux surfacique sur Terre sous forme de météorites. Cependant, les scientifiques pensent que les matériaux de Ryugu et Bennu sont trop fragiles et ne peuvent résister lors du passage dans l'atmosphère terrestre. À la lumière des nouvelles données de ces missions spatiales, il semble que nous manquions de documentation dans notre collection de météorites. Quelles sont les propriétés de ces matériaux? De plus, il existe deux processus principaux qui agissent sur les surfaces des astéroïdes conduisant à la fracturation de leurs matériaux de surface: les impacts du bombardement de météorites et la fissuration thermique due aux cycles de températures diurnes et nocturnes. Comment ces processus agissent-ils sur les surfaces des matériaux fragiles des astéroïdes carbonés?

La nouveauté de ce travail, mené par les chercheurs de l'Observatoire de la Côte d'Azur, C. Avdellidou et M. Delbo, est que pour la première fois les surfaces des astéroïdes carbonés sont reproduites de près, alors que jusqu'à maintenant les scientifiques utilisaient des approximations matérielles qui étaient pour la plupart simplifiées par rapport à la vraie nature des astéroïdes primitifs. L'équipe internationale qui comprend des chercheurs de l'Université de Grenoble, de l'Université Centrale de Floride et de l'Université de Kent, a fabriqué en laboratoire un matériau de composition analogue aux météorites carbonées CM (jusqu'ici la composition minéralogique la plus proche de Bennu et Ryugu) mais avec des propriétés mécaniques et thermiques intermédiaires entre celles des météorites CM, que nous recevons sur Terre, et celles mesurées sur les roches de Ryugu et Bennu.

L'équipe, à l'aide du canon à gaz léger à deux étages de l'Université de Kent, a réalisé une série d'expériences d'impact d'hyper vitesse pour étudier comment ces matériaux se fragmentent, simulant la réaction des surfaces d'astéroïdes aux collisions de micrométéorites dans la ceinture principale d'astéroïdes. Morphologiquement, la surface résultant des impacts sur les simulants présente un degré de rugosité qui ressemble qualitativement et quantitativement à ceux observés par MASCOT, l'atterrisseur de Hayabusa2 — construit par le CNES et le DLR — sur les rochers de Ryugu. De plus les cratères résultants sont extrêmement similaires à ceux - de même échelle - qui sont observés sur l'astéroïde Bennu.



The produced craters after hypervelocity impact experiments in comparison to the surfaces of asteroids Bennu and Ryugu. The image of the crater on Bennu's boulder is taken from @OSIRISREx.

Ces travaux ont été financés le par « Bonus Qualité Recherche » de l'Observatoire de la Côte d'Azur, les « Crédits Scientifiques Incitatifs » de l'Université Côte d'Azur, le Programme national de planétologie et l'Institut virtuel de recherche sur le système solaire de la NASA ont conclu un accord de coopération avec le Center for Lunar and Asteroid Surface Science (CLASS). C. Avdellidou a été soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du projet « Investissements d'Avenir » UCAJEDI. M. Delbo a été appuyé par l'Agence Nationale de la Recherche « ORIGINS ».

#### Référence

Avdellidou et al., [Very weak carbonaceous asteroid simulants I: Mechanical properties and response to hypervelocity impacts](#), Icarus, Volume 341, article id. 113648. (2020)

#### Contacts

**Chrysa Avdellidou** : [Chrysa.avdellidou@oca.eu](mailto:Chrysa.avdellidou@oca.eu), Post-doctoral Researcher, Laboratoire Lagrange (CNRS-Université Côte d'Azur-Observatoire de la Côte d'Azur).

**Marco Delbo** : [delbo@oca.eu](mailto:delbo@oca.eu) — Directeur de Recherche au CNRS, Laboratoire Lagrange (CNRS-Université Côte d'Azur-Observatoire de la Côte d'Azur).

## FEVRIER

## Un modèle bidimensionnel réaliste d'Altaïr

Publication : 4 février 2020

Une équipe\* de chercheurs du Laboratoire Lagrange, du Laboratoire d'études spatiales et d'instrumentation en astrophysique et de l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie a publié un article, dans la revue *Astronomy & Astrophysics*, décrivant une modélisation bidimensionnelle réaliste d'Altaïr.

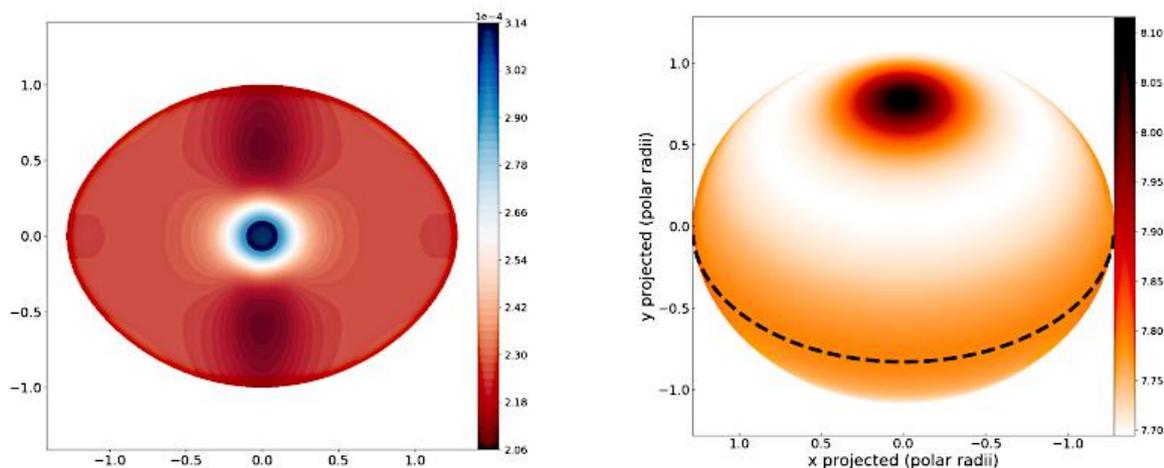
Visible dans la constellation de l'Aigle, à seulement 17 années lumières de la terre, Altaïr a une vitesse de rotation rapide, cent fois supérieure à celle du soleil. L'effet centrifuge ainsi produit est tel que son rayon polaire est 20 % inférieur à son rayon équatorial. Cet aplatissement centrifuge rend plus difficile sa modélisation, car les modèles utilisés pour décrire les étoiles sont à symétrie sphérique.

Pour calculer ce modèle les scientifiques ont utilisé le code ESTER développé à l'IRAP, qui incorpore tous les effets d'une rotation rapide. " Les données des instruments interférométriques Pionier et Gravity du VLTI-ESO associées à des données spectroscopiques et sismologiques plus anciennes ont alors permis d'aboutir à un modèle de concordance qui satisfait toutes les contraintes observationnelles connues."

D'après ce modèle, Altaïr n'aurait que 100 millions d'années et sa masse est évaluée à 1,86 fois celle du soleil.

Ces résultats vont avoir des conséquences sur la connaissance de la formation des étoiles proches du soleil, ainsi qu'une meilleure compréhension des étoiles massives "réputées être les fabricantes des métaux de l'Univers."

Cette étude montre que l'utilisation d'une modélisation astrophysique réaliste pour interpréter des données interférométriques permet de contraindre plusieurs paramètres fondamentaux qui définissent la structure physique (par exemple la rotation interne et en surface montrés dans la figure) et l'évolution des étoiles en rotation rapide.



Meridional cut of our best ESTER model . The colours represent the angular rotation rate. A&A

Surface map of the rotation rate of our best ESTER model. The colour represents the rotation period (in hours). A&A

Des résultats semblables sur un grand nombre d'étoiles sont attendus d'ici 1-2 ans à partir des données de l'instrument interférométrique CHARA/SPICA, en développement au Laboratoire Lagrange.

Kévin Bouchaud a soutenu sa thèse (dirigée par A. Domiciano de Souza et D.R. Reese) le 5 mars 2020. Travail financé par l'ANR ESRR.

\* K. Bouchaud (1,2), A. Domiciano de Souza (1), M. Rieutord (3,4), D. R. Reese (2) and P. Kervella (2) 1 Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS, Laboratoire Lagrange, [kevin.bouchaud@oca.eu](mailto:kevin.bouchaud@oca.eu) 2 LESIA, Observatoire de Paris, Université PSL, CNRS, Sorbonne Université, Univ. Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, 5 Place Jules Janssen, 92195 Meudon, France 3 Université de Toulouse, UPS-OMP, IRAP, 31028 Toulouse, France 4 CNRS, IRAP, 14 Avenue Édouard Belin, 31400 Toulouse, France.

## Références

L'article d'*Astronomy & Astrophysics* « A realistic two-dimensional model of Altair » <https://www.aanda.org/component/article?access=doi&doi=10.1051/0004-6361/201936830>.

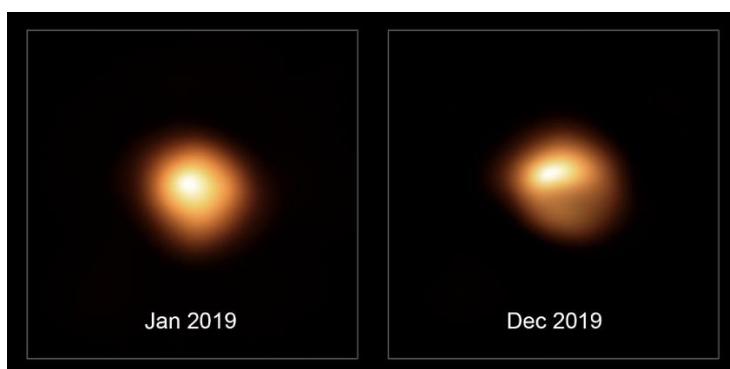
## Les télescopes de l'ESO scrutent la baisse de luminosité de surface de l'étoile Bételgeuse

Publication : 14 février 2020

[\[Communiqué de presse de l'ESO\]](#) Grâce au Very Large Telescope (VLT) de [l'ESO](#), les astronomes, dont deux chercheurs de l'Observatoire de la Côte d'Azur, ont capturé une image figurant l'affadissement sans précédent de Bételgeuse, une supergéante rouge de la constellation d'Orion. Les récents clichés témoignent, non seulement de la baisse de luminosité de la supergéante rouge, mais également des modifications de sa forme apparente.

Bételgeuse a longtemps constitué, pour les observateurs stellaires, un phare dans le ciel nocturne. L'année passée toutefois, sa luminosité a commencé à diminuer. Sa luminosité actuelle représente seulement 36% de sa luminosité normale, un changement nettement visible à l'œil nu. Les passionnés d'astronomie et les scientifiques espéraient mieux comprendre cette baisse de luminosité sans précédent.

Une équipe dirigée par Miguel Montargès, astronome à la KU Leuven de Belgique, observe l'étoile au moyen du Very Large Telescope de [l'ESO](#) depuis décembre dernier, dans le but de comprendre la raison de sa soudaine baisse de luminosité. Au tout début de leur campagne d'observations, ils ont acquis une surprenante nouvelle image de la surface de Bételgeuse avec l'instrument [SPHERE](#).



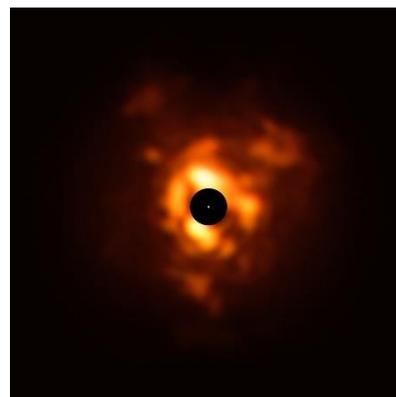
Images de Bételgeuse acquises avant et après sa baisse de luminosité. © ESO/M. Montargès et al.

L'équipe avait déjà observé l'étoile au moyen de [SPHERE](#) en janvier 2019, avant que sa luminosité ne décroisse. Nous disposons ainsi de deux clichés de Bételgeuse témoignant de l'avant et de l'après baisse de luminosité. Acquisées en lumière visible, ces images figurent les changements intervenus, tant dans la brillance que dans la forme apparente de l'étoile.

De nombreux astronomes amateurs se sont demandé si la baisse de luminosité de Bételgeuse signifiait qu'elle était sur le point d'exploser. A l'image des autres supergéantes rouges, Bételgeuse se changera un jour en supernova. Toutefois, les astronomes ne pensent pas que ce soit actuellement le cas. D'autres hypothèses sont susceptibles de rendre compte de ces changements de forme et de brillance apparente dont témoignent les images de [SPHERE](#). «*Nous travaillons actuellement sur deux scénari : l'un repose sur un refroidissement de la surface généré par une activité stellaire exceptionnelle, l'autre sur l'éjection de poussière le long de la ligne de visée*», précise Miguel Montargès [1]. «*Bien sûr, notre connaissance des supergéantes rouges demeure aujourd'hui encore incomplète. Des études sont en cours, une surprise est donc toujours susceptible de se présenter.*»

Miguel Montargès et son équipe ont eu recours au VLT implanté au sommet du Cerro Paranal au Chili pour étudier l'étoile située à plus de 700 années-lumière de la Terre, et recueillir des indices relatifs à sa baisse de luminosité. «*L'Observatoire Paranal de l'ESO est l'une des rares installations capables d'imager la surface de Bételgeuse*», précise-t-il. Les instruments qui équipent le VLT de [l'ESO](#) permettent d'effectuer des observations sur une large gamme de longueurs d'onde s'étendant du visible à l'infrarouge moyen, offrant aux astronomes la possibilité d'observer tant la surface de Bételgeuse que la matière située en périphérie. «*C'est le seul moyen dont nous disposons pour comprendre ce qui arrive à cette étoile.*»

Les panaches de poussière de Bételgeuse observés grâce à l'instrument VISIR - © ESO/P. Kervella/M. Montargès et al., Acknowledgement: Eric Pantin



Une autre image, acquise au moyen de l'instrument [VISIR](#) qui équipe le VLT, montre la lumière infrarouge émise par la poussière qui entoure l'étoile Bételgeuse au mois de décembre 2019. Ces observations ont été menées par une équipe emmenée par Pierre Kervella de l'Observatoire de Paris, France. La longueur d'onde de l'image est semblable à celle qu'utilisent les caméras thermiques. Les nuages de poussière, qui jaillissent telles des flammes sur l'image de VISIR, se forment lorsque l'étoile expulse sa matière constituante dans l'espace.

«L'expression "nous sommes tous composés de poussière d'étoiles" est fréquente en astronomie populaire. Mais quelle est l'origine précise de cette poussière», soulève Emily Cannon, doctorante à la KU Leuven qui travaille sur les images de supergéantes rouges acquises par [SPHERE](#). «Au cours de leur existence, les supergéantes rouges telle Bételgeuse produisent et expulsent de vastes quantités de matière avant même d'exploser en supernova. La technologie moderne nous a permis d'étudier ces objets situés à des centaines d'années-lumière de la Terre dans des détails sans précédent, nous offrant l'opportunité de comprendre la raison de leur perte de masse.»

#### Note

[1] La surface irrégulière de Bételgeuse est parsemée de vastes cellules convectives qui se déplacent, rétrécissent et gonflent alternativement. En outre, l'étoile pulse. Ces battements de cœur rendent compte de ses variations périodiques de luminosité. Les changements de convection et de pulsation observés à la surface de Bételgeuse témoignent simplement de son activité stellaire.

#### Plus d'information

L'équipe est composée de Miguel Montargès (Institut d'Astronomie, KU Leuven, Belgique), Emily Cannon (Institut d'Astronomie, KU Leuven, Belgique), Pierre Kervella (LESIA, Observatoire de Paris - PSL, Sorbonne Université, Université de Paris, CNRS, France), Eric Lagadec (Laboratoire Lagrange, Observatoire de la Côte d'Azur, Université Côte d'Azur, CNRS, France), Faustine Cantalloube (Institut Max Planck dédié à l'Astronomie, Heidelberg, Allemagne), Joel Sánchez Bermúdez (Institut d'Astronomie, Université Nationale Autonome de Mexico, Mexico, Mexique et Institut Max Planck dédié à l'Astronomie, Heidelberg, Allemagne), Andrea Dupree (Centre d'Astrophysique | Harvard & Smithsonian, Etats-Unis), Elsa Huby (LESIA, Observatoire de Paris - PSL, Sorbonne Université, Université de Paris, CNRS, France), Ryan Norris (Université d'État de Georgie, Etats-Unis), Benjamin Tessore (IPAG, Université Grenoble Alpes, CNRS, France), Andrea Chiavassa (Laboratoire Lagrange, Observatoire de la Côte d'Azur, Université Côte d'Azur, CNRS, France), Claudia Paladini (ESO, Chili), Agnès Lèbre (LUPM, Université de Montpellier, CNRS, France), Leen Decin (Institut d'Astronomie, KU Leuven, Belgique), Markus Wittkowski (ESO, Allemagne), Gioia Rau (NASA/GSFC, Etats-Unis), Arturo López Ariste (IRAP, Université de Toulouse III, CNRS, CNES, France), Stephen Ridgway (Laboratoire National de Recherche en Astronomie Optique et Infrarouge de la NSF, Etats-Unis), Guy Perrin (LESIA, Observatoire de Paris - PSL, Sorbonne Université, Université de Paris, CNRS, France), Alex de Koter (Institut d'Astronomie Anton Pannekoek, Université d'Amsterdam, Pays-Bas & Institut d'Astronomie, KU Leuven, Belgique), Xavier Haubois (ESO, Chili).

#### Contacts

**Miguel Montargès**, FWO [PEGASUS]<sup>2</sup> Marie Skłodowska-Curie Fellow / Institute of Astronomy, KU Leuven, , Belgium, [miguel.montarges@kuleuven.be](mailto:miguel.montarges@kuleuven.be).

**Eric Lagadec**, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur, laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA), [eric.lagadec@oca.eu](mailto:eric.lagadec@oca.eu).

## MARS

### Premiers résultats de l'exploration géophysique de Mars avec InSight

Publication : 10 mars 2020

Les premiers résultats de la mission InSight sont sortis fin février 2020, relayés par [un communiqué de la NASA](#) et [un communiqué de l'INSU](#). Une année auparavant, InSight est devenu l'unique station géophysique permanente extraterrestre en fonctionnement. Elle s'inscrit ainsi dans les traces de ALSEP, le réseau de stations géophysiques en opération sur la Lune de 1969 à 1977. La toute jeune station martienne a pour objectif d'enregistrer l'activité sismique de la planète Mars pour en étudier la structure et la composition interne et ce grâce à un sismomètre très large bande : SEIS, accompagné d'un capteur de flux thermique, d'antennes géodésiques et de capteurs environnementaux.



Quelques faits remarquables après les 10 premiers mois de la mission (du 28 Novembre 2018 au 30 Septembre 2019):

- le capteur sismique SEIS et son bouclier protecteur ont été déployés avec succès sur le sol martien à quelques mètres de l'atterrisseur InSight. Il enregistre un niveau de bruit inférieur à celui enregistré dans l'environnement le plus calme de notre planète.
- sur les quelques centaines d'anomalies sismiques enregistrées, 174 séismes martiens ont été confirmés par l'équipe scientifique. 20 de ces "marsquakes" ont une magnitude entre 3 et 4. Sans surprise, ces détections placent la sismicité de la planète Mars entre celles de la Lune et de la Terre.
- un fait inexplicable: un effet saisonnier sur l'activité sismique martienne.
- de grands absents (pour l'instant): aucun séisme de magnitude supérieure à 4 et aucun impact de météorite détecté, pas d'ondes de surface dans les signatures sismiques. Ces signatures martiennes ressembleraient davantage aux sismogrammes enregistrés sur la Lune par les sismomètres des missions Apollo. De longues coda suggèrent ainsi de multiples réverbérations des ondes sismiques et donc une croûte très hétérogène.

Des informations inédites sur la structure interne de Mars ont néanmoins déjà été obtenues sur cette couche superficielle: les premiers séismes enregistrés indiqueraient une croûte stratifiée. La base de la croûte quant à elle reste encore à explorer.

L'enjeu pour la mission est maintenant sa reconduction pour deux années supplémentaires (soit une année martienne) et d'attendre le «big one» qui illuminera toute la planète pour enfin révéler les détails de sa structure et composition interne profonde.

#### Les activités InSight dans les laboratoires de l'OCA

Le laboratoire Lagrange coordonne plusieurs activités scientifiques liées à l'épaisseur de la croûte martienne, l'épaisseur de la lithosphère et l'évolution thermique de la planète. Ces travaux permettront de mieux comprendre les conditions de formation et l'évolution interne des planètes telluriques.

**Image prise depuis la station géophysique martienne InSight le 8 mars 2020 avec la caméra ICC (Instrument Context Camera). Au centre le sismomètre SEIS protégé par le bouclier thermique et éolien WTS et relié à l'atterrisseur par un câble. A gauche le support du capteur de flux thermique HP3.**



Au laboratoire Géoazur, l'activité phare est sur le volet Education (une part importante dans les missions NASA). Deux jours d'échanges et d'ateliers ont été organisés au Centre International de Valbonne et au laboratoire Géoazur pour les professeurs du second degré des établissements scolaires européens par l'équipe du projet [ERASMUS+ STIM](#) et la cellule Education de Géoazur. Cette cellule très active est devenue une référence pour la pédagogie de la sismologie martienne. Aujourd'hui une centaine de classes dans douze pays suivent l'aventure InSight à travers les données de la mission mises à disposition par [la cellule Education de Géoazur](#) sur le site de l'OCA. Côté science, les activités à Géoazur se poursuivent sur l'étude des sons dans l'atmosphère martienne et démarrent avec un nouveau regard sur les données du capteur sismique.

Les données enregistrées par les différents instruments sont en accès libre [ici](#).

#### Références

*(publications avec participation de chercheurs de l'OCA)*

- [Initial results from the InSight mission on Mars](#), Bruce Banerdt et al. (California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory). L'article complet est disponible en accès libre [ici](#).
- [Constraints on the shallow elastic and anelastic structure of Mars from InSight seismic data](#), Philippe Lognonné et al. (Université de Paris, Institut de Physique du Globe de Paris, CNRS). L'article complet est disponible en accès libre [ici](#).
- [Crustal and time-varying magnetic fields at the InSight landing site on Mars](#), Catherine L. Johnson et al. (Planetary Science Institute)
- [The atmosphere of Mars as observed by InSight](#), Don Banfield, Aymeric Spiga et al. (Cornell University, Cornell Center for Astrophysics and Planetary Science; Laboratoire de Météorologie Dynamique, Paris).
- [The seismicity of Mars](#), Domenico Giardini et al. (Institute of Geophysics, Department of Earth Sciences, ETH Zurich).

Plusieurs laboratoires du CNRS dont le LMD (CNRS/ENS Paris/Ecole polytechnique/Sorbonne Université), le LPG (CNRS/Université de Nantes/Université d'Angers), l'IRAP (CNRS/Université de Toulouse/CNES), le LGL-TPE (CNRS/Ecole normale supérieure de Lyon/Université Claude Bernard Lyon 1), l'IMPIC (Sorbonne Université/Museum national d'Histoire naturelle/CNRS) et LAGRANGE (CNRS/Université Côte d'Azur/Observatoire de la Côte d'Azur) participent avec l'IPGP et l'ISAE-SUPAERO aux analyses des données de la mission InSight. Ces analyses sont soutenues par le CNES et l'Agence nationale de la recherche (projet MAGIS).

#### Source

«[SEIS sur Mars: un état des lieux suite à la publication des premiers résultats](#)», publié le 18 février 2020 sur le site [seis-insight.eu](#).

#### Contacts

Mark Wieczorek, co-I InSight, laboratoire Lagrange (CNRS - UCA - OCA) - [mark.wieczorek@oca.eu](mailto:mark.wieczorek@oca.eu).  
Lucie Rolland, laboratoire Géoazur (CNRS - UCA - OCA - IRD) - [lrolland@geoazur.unice.fr](mailto:lrolland@geoazur.unice.fr).

## Nomination de la présidence de l'ESKAF (European SKA Forum)

Publication : 11 mars 2020



Les pays européens membres de l'Organisation [SKA](#) et/ou signataires de la convention de l'Observatoire [SKA](#) (France, Allemagne, Italie, Portugal, Espagne, Suède, Suisse, Pays-Bas, Royaume-Uni) ont décidé à l'unanimité de lancer une nouvelle coordination européenne appelée European SKA Forum (ESKAF). Faisant suite au consortium européen SKA (ESKAC) ayant favorisé la collaboration européenne dans les phases initiales de l'Organisation [SKA](#), ESKAF vise aujourd'hui à fournir une plateforme afin de promouvoir des initiatives européennes communes en vue du début de la construction de l'Observatoire SKA.

Une première étape fut franchie le 24 Février 2020, avec l'annonce de la nomination d'un président et d'un vice-président, élus par les représentants des neuf pays actuellement membres de l'ESKAF. Chiara Ferrari (Observatoire de la Côte d'Azur/CNRS, FR) et M. Van Haarlem (ASTRON, NL) respectivement président et vice-président seront donc à la tête de l'ESKAF pour les prochaines étapes de la construction de l'Observatoire SKA.



### Pour compléter :

- Signature d'un Accord de Collaboration entre CERN, SKAO, GÉANT et PRACE :

Le 22 juillet 2020, quatre organisations de recherche de pointe - le CERN, l'Organisation SKA, GÉANT et PRACE - ont signé un accord de collaboration. L'objectif est de relever ensemble les défis liés au calcul intensif, ainsi qu'au transfert et à l'analyse des grandes masses de données, pour assurer le succès des grands projets scientifiques qui seront mis en place au cours de cette décennie, tels que le Square Kilometre Array (SKA) et le Grand collisionneur de hadrons à haute luminosité (HL-LHC) du CERN.

- Présentation de SKA dans un meeting autour de l'Assemblée de Nation Unies: <https://ska-france.oca.eu/fr/news/596-une-session-ska-en-marge-de-la-75eme-assemblee-generale-des-nations-unies>
- session SKA organisée par Chiara Ferrari dans un meeting entre Europe et Afrique "Une nouvelle ère pour les partenariats Afrique-UE en matière de science et d'innovation ": <https://ska-france.oca.eu/fr/news/597-session-speciale-de-radioastronomie-a-la-conference-virtuelle-aerap>
- La revue de la Société de Physique Française, n°67. « Le Square Kilometre Array (SKA) : un radiotélescope géant pour étudier l'aube et l'évolution du cosmos » <https://www.refletsdelaphysique.fr/articles/refdp/abs/2020/04/refdp202067p10/refdp202067p10.html>.

## Impact artificiel sur l'astéroïde Ryugu : un cratère bien plus grand que prédit

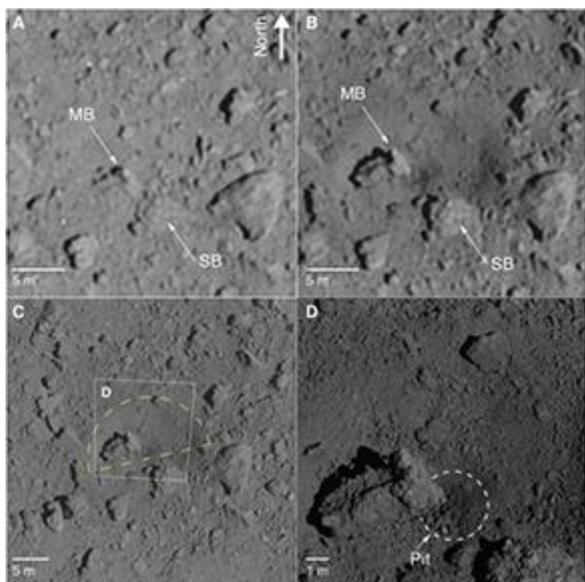
Publication : 17 mars 2020



Quelle est la dimension d'un cratère produit par un impact sur un astéroïde avec une énergie donnée ? Pour la première fois, la mission japonaise [Hayabusa2](#) a effectué à plus de 300 millions de km de la Terre un impact artificiel à haute vitesse sur un astéroïde en avril 2019. [Un article publié dans Science<sup>1</sup>](#) co-écrit par Patrick Michel, directeur de recherche [CNRS](#), laboratoire Lagrange (CNRS - [Université Côte d'Azur](#), Observatoire de la Côte d'Azur), membre de cette mission et de cette expérience, décrit son succès et le résultat obtenu. Le cratère a une dimension bien plus grande que celle prédite, indiquant que la gravité de l'astéroïde pourtant très faible et non sa résistance mécanique a été le paramètre influençant la production de ce cratère et qu'il y a encore des recherches passionnantes à mener pour comprendre la physique des cratères sur ces petits corps.

La sonde japonaise Hayabusa2 de la [JAXA](#) a rendu visite à l'astéroïde Ryugu de juin 2018 à novembre 2019 et a enchaîné les succès en déposant pour la première fois des mini-rovers et un atterrisseur CNES-DLR (Mascot) sur la surface d'un astéroïde, en effectuant avec succès deux récoltes d'échantillon et une expérience d'impact à haute vitesse. Elle est actuellement sur son trajet de retour vers la Terre. En décembre 2020, la capsule contenant les échantillons précieux qu'elle a récoltés se déploiera dans l'atmosphère terrestre afin qu'ils arrivent sur Terre et soient analysés dans nos laboratoires. Potentiellement riches en matière organique et en matière primitive, Ils nous fourniront des données essentielles sur la composition initiale du Système Solaire, sur la formation des planètes et sur la contribution des petits corps dans l'émergence de la vie sur Terre.

Les données d'[Hayabusa2](#) nous permettent d'explorer un nouveau territoire, dans un environnement bien différent de celui de la Terre du fait de la petite taille de l'astéroïde de 1 km de diamètre. Elles indiquent notamment que Ryugu, très peu dense (à peine plus que l'eau !), est un agglomérat de roches liées entre elles par leur propre attraction. Par ailleurs, la surface est couverte de gros rochers, de tailles allant jusqu'à 160 m et d'une couche de régolithe composée de roches et de grains plus petits soumis à un régime de très faible gravité, étant donnée la petite dimension de l'astéroïde (accélération gravitationnelle  $\sim 10^{-5}$  gravité terrestre). Cette surface devrait avoir une résistance mécanique non négligeable (1 kPa) causée par les forces de cohésion entre les grains du régolithe. Les cratères d'impact formés dans ces conditions sont en principe limités en taille par cette résistance de surface, qui réduit le diamètre attendu du cratère comparé à celui produit sur une surface sans résistance. Les modélisations numériques d'impact et des lois d'échelles reposant sur l'extrapolation des données d'expériences d'explosions sur Terre sont utilisées pour prédire la taille d'un cratère produit par un impact à haute vitesse. Cette prédiction est fondamentale car le nombre et la taille des cratères sur un astéroïde (dont Ryugu) sont couramment utilisés pour dater les surfaces et donc estimer l'âge de l'objet. Cependant, différentes lois d'échelles donnent des âges très différents, par plus d'un ordre de grandeur. Il est donc essentiel de pouvoir calibrer la relation entre taille d'un projectile (ou énergie d'impact) et taille du cratère résultant. Cette relation est cruciale pour l'estimation des âges de surface. Malheureusement, il est impossible d'effectuer cette calibration sur Terre, tant les conditions d'attraction de surface sur un astéroïde sont différentes et impossibles à reproduire, à moins de faire l'expérience sur le corps lui-même.

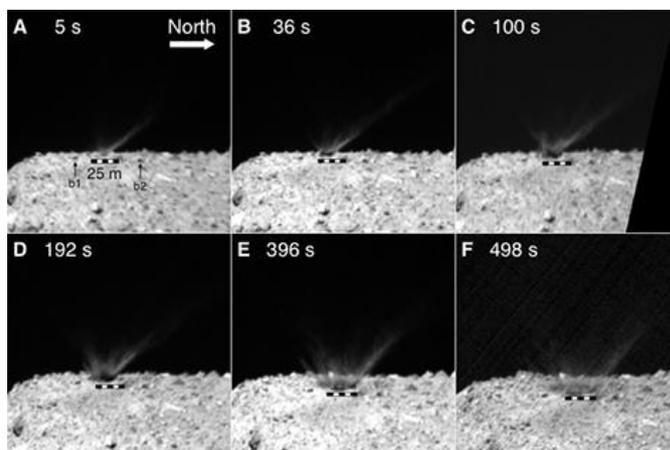


*Figure 1 : Images du cratère artificiel. (A) Surface aux environs du point d'impact avant impact prise depuis une altitude de 1.72 km. Les blocs rocheux mobile (MB) et stable (SB) sont indiqués avec des flèches. (B) Même région après l'impact observée depuis la même altitude. (C) Image améliorée de la localisation de l'impact avec le cratère indiqué par le demi-cercle en pointillés jaunes. Le rectangle blanc D indique la région de la Figure 1D. (D) Image du cratère prise depuis une altitude de 115 m. Un petit fossé est indiqué par le cercle en pointillé.*

La sonde [Hayabusa2](#) est équipée d'un instrument appelé le Small Carry-on Impactor (SCI) conçu pour lancer un projectile en cuivre de 2 kg à une vitesse de 2 km/s sur la surface de Ryugu pour former un cratère artificiel. L'objectif est de révéler la sous-surface de l'astéroïde pour l'observer avec les autres instruments équipant la sonde, et pour y récolter un échantillon. Il est aussi de vérifier notre compréhension de la physique de la cratérisation à l'échelle réelle d'un astéroïde, en effectuant une comparaison avec les modélisations numériques d'impact et les lois d'échelles, et ainsi d'effectuer une estimation bien plus robuste de l'âge de l'astéroïde.

Une telle opération effectuée pour la première fois est extrêmement délicate mais en même temps extraordinaire à vivre, comme le raconte Patrick Michel qui a pu y assister en direct depuis la salle d'opération de la [JAXA](#), et fut accompli avec succès le 5 avril 2019. L'impact et l'évolution de la matière éjectée ont été simultanément observés pendant plus de 8 minutes (Fig. 2) par une petite caméra appelée DCAM3 déployée par la sonde avant que l'impact ne soit effectué et avant que celle-ci aille se cacher derrière l'astéroïde pour se protéger. Trois semaines environ après l'impact, la sonde [Hayabusa2](#) est revenue sur le site afin d'identifier le cratère à l'aide de sa caméra de navigation optique télescopique depuis une altitude de 1.7 km (Fig. 1) avec une résolution de  $\sim 17$  cm/pixel.

Le cratère se situe dans la partie nord de la boursouffure équatoriale caractéristique de l'astéroïde Ryugu et l'angle d'impact du projectile est estimée à  $60^\circ$  de l'horizontal de la surface locale. En comparant les images prises avant et après l'impact depuis une altitude similaire de la sonde, la formation du cratère est évidente et il est possible de comprendre comment celle-ci s'est produite (voir Fig. 1). En particulier, une douzaine de rochers d'au moins quelques dizaines de centimètres de taille ont été déplacés sur la surface, et un gros bloc de 5 mètres (appelé MB sur la Fig. 1) a été excavé et s'est déplacé de 3 mètres vers le Nord-Ouest et à plus d'1 mètre au-dessus de la surface initiale par l'impact. Un autre gros bloc (appelé SB sur la Fig. 1) n'a en revanche pas bougé et il est possible qu'il ait arrêté la croissance du cratère vers la partie Sud-Est.



*Figure 2 : Images prises par la camera DCAM3 de l'impact artificiel. Les images sont prises 5 secondes (A), 36 secondes (B), 100 secondes (C) 192 secondes (D), 396 secondes (E) et 498 secondes (F) après l'impact. L'échelle (barre sur les images) de 25 mètres a été calibrées en utilisant la distance entre les roches labélisées b1 et B2 sur la Fig. 2A.*

Au final, le cratère a la forme d'un demi-cercle, à cause de la roche SB qui a empêché une partie de sa croissance. Son diamètre est de l'ordre de 15 mètres (Fig. 1). De plus, les images spectaculaires prises 5 secondes après l'impact jusqu'à 500 secondes par DCAM3 (Fig. 2) montrent un rideau asymétrique de matière éjectée qui évolue vers le Nord de la surface, dont une partie à très faible vitesse.

La taille du cratère et la matière éjectée (Fig. 2), en particulier ses faibles vitesses, sont caractéristiques d'un cratère formé dans un matériau sans cohésion, contrôlé uniquement par la gravité locale, même si elle est extrêmement faible. Les lois d'échelles développées pour extrapoler les résultats d'impacts en laboratoire dans lesquelles on annule la cohésion aboutissent à une taille du cratère équivalente à celle mesurée. En revanche, aucune modélisation numérique n'est actuellement capable de calculer l'intégralité du processus, et donc de prédire correctement la taille du cratère dans ces conditions, ce qui démontre de la nécessité de poursuivre les recherches dans ce domaine.

Si cette interprétation est correcte et peut être extrapolée à l'ensemble de l'astéroïde, elle indique que la surface de Ryugu réagit comme du sable sans cohésion. Cette expérience fournit donc un unique moyen de mesurer les propriétés mécaniques de l'astéroïde. De plus, elle oblige à réviser les premières estimations de l'âge de la surface de Ryugu basées uniquement sur les images de surface et sur une loi d'échelle incluant la cohésion<sup>2</sup> qui donnaient un âge allant de 10 millions à 160 millions d'années selon les hypothèses. Cet âge de surface ne serait que de quelques centaines de milliers d'années, ce qui a de nombreuses implications sur la formation et l'histoire de Ryugu. Cela montre le grand intérêt de

pouvoir faire une expérience dans les bonnes conditions, et ces informations seront enrichies par l'analyse des échantillons rapportés.

1. Arakawa, M., et al. 2020. An artificial impact on the asteroid 162173 Ryugu formed a crater in the gravity-dominated regime. *Science*, First release, March 19th, 2020

2. S. Sugita et al., The geomorphology, color, and thermal properties of Ryugu: Implications for parent-body processes. *Science* 364, eaaw0422 (2019). doi: 10.1126/science.aaw0422

### **Référence**

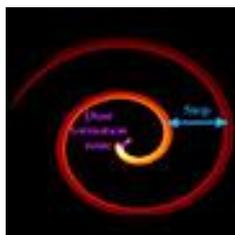
[An artificial impact on the asteroid 162173 Ryugu formed a crater in the gravity-dominated regime](#), M. Arakawa et al., *Science*, 19 mars 2020.

### **Contact**

Patrick Michel, directeur de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) : [michelp@oca.eu](mailto:michelp@oca.eu) ou 06 88 21 28 33.

## Besoins futurs en tâches de service JMMC/MOIO/AMHRA

Publication : 23 mars 2020



Dans le cadre des Services Nationaux d'Observation labellisés par l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers - CNRS), le JMMC a des besoins concernant le groupe de travail Analyse et Modélisation en Haute Résolution Angulaire (AMHRA). Cette offre d'emploi s'adresse aux candidats à Astronome-adjoint au concours CNAP.

Le SNO5 MOIO (Méthodes et Outils pour l'Interférométrie Optique; responsable G.Duvert), coordonné par le JMMC (Pôle National de traitement des données interférométriques IR/Visible; responsable G.Duvert), maintient le service AMHRA (Analyse et Modélisation pour la Haute Résolution Angulaire), dont le responsable est A.Domiciano de Souza.

L'exploitation scientifique optimale et élargie à toute la communauté des instruments interférométriques modernes (e.g., VLT/GRAVITY, VLT/MATISSE, et CHARA/SPICA à partir de début 2022) a demandé une évolution des outils de modélisation et d'analyse permettant (1) la préparation des observations et (2) l'interprétation de données, grâce à l'inclusion d'ingrédients physiques et des aspects polychromatiques (dépendance en longueur d'onde). AMHRA, qui a pour but de répondre à ces besoins, est entré dans sa phase de mise à disposition au public en 2019 (<https://amhra.oca.eu/AMHRA/index.htm>), avec l'ouverture du nouveau portail web du JMMC (<http://www.jmmc.fr/>).

AMHRA offre actuellement déjà différents types de modèles (e.g. étoiles massives, Be, supergéantes rouges ou bleues, profils d'intensité pour étoiles FGK naines) sous forme de codes numériques rapides ou encore de grilles de modèles pré-calculées avec des codes de transfert radiatif sophistiqués. Des outils d'analyse pour comparaison modèles-observations sont également offerts. AMHRA a vocation à se développer dans le long terme, s'adaptant aux nouveaux instruments en HRA et à leur précision et leur résolution (angulaire et spectrale) croissantes. Il est ainsi nécessaire d'accroître l'offre de modèles et outils dans AMHRA, avec en particulier les besoins futurs en tâche de service suivants identifiés comme prioritaires:

- Travail conséquent pour la création ou mise à disposition de profils d'intensité théoriques multi-longueur d'ondes (modèles d'assombriement centre-bord ACB) couvrant tout le diagramme H-R. Ces modèles peuvent provenir de codes 1D tels que MARCS/Turbospectrum, SATLAS, TLUSTY/SYNSEX, CMFGEN, ainsi que de codes permettant une modélisation en 3D. Ces profils sont indispensables pour l'obtention de paramètres fondamentaux précis, et notamment pour attendre une précision de diamètres angulaires meilleure que 1 % à partir de mesures interférométriques futures, en particulier celles de l'instrument CHARA/SPICA. En même temps, ces mesures précises permettront d'optimiser l'exploitation scientifique d'instruments tels que PLATO, mais également TESS, CHEOPS et autres. CHARA/SPICA et PLATO sont classés comme indispensables dans la prospective 2019-2023 du PNPS. En offrant divers modèles d'ACB 1D et 3D, AMHRA permet de comparer ces modèles en fonction des différents paramètres (e.g. Teff, log g, overshooting, métallicité) et ainsi fournir des mesures de diamètres angulaires précises et non-biaisées. Les meilleurs modèles ainsi calibrés sur des étoiles suffisamment résolues pourront ensuite être utilisés pour l'étude d'un grand nombre (plusieurs milliers) d'étoiles moins résolues ainsi que pour l'exploitation scientifique optimale de projets demandant une connaissance précise de lois d'ACB et de diamètres angulaires.
- Travail visant à rendre disponible des modèles (grille ou modèles rapides) de disques protoplanétaires autour d'étoiles jeunes (massives et de faible masse). Ces modèles, non offerts actuellement par AMHRA, apporteront une importante plus-value aux données scientifiques de VLT/MATISSE. En effet, l'étude de disques protoplanétaires constitue une des priorités scientifiques de MATISSE et ce thème scientifique a également été identifié par le PNPS comme étant prioritaire pour la prospective 2019-2023.
- Rendre les modèles (existants et futurs) offerts par AMHRA compatibles (couverture et résolution spectrale, échantillonnage spatial) avec le plus grand nombre d'interféromètres opérant dans le visible, proche et moyen infrarouge, et éventuellement dans le mm.
- Assistance continue aux utilisateurs et création de guides d'utilisation. Également travailler sur l'amélioration permanente des interfaces web pour faciliter l'utilisation de modèles, maintenir et développer l'interopérabilité avec les autres outils MOIO (e.g. ASPRO2, LITPro), tout en respectant les standards Observatoire Virtuel. Si besoin, participer à l'ajustement de ces standards aux formats d'images (cartes d'intensité polychromatique) utilisées dans la modélisation pour l'interférométrie. Un renforcement avec les activités du SUV (Service aux Utilisateurs du VLT) est également nécessaire visant une grande synergie entre les services JMMC. En effet, en profitant de l'expertise scientifique dans AMHRA et de son interopérabilité avec les autres outils MOIO, le

SUV peut aller encore plus loin dans son objectif d'apporter un vrai plus en termes d'interprétation de données à ses utilisateurs.

- Développement de différents outils d'analyse adaptés à des modèles physiques (image polychromatiques) avec différentes résolutions spatiales et spectrales et aux divers interféromètres (passés, présents et futurs). Ces outils doivent permettre par exemple de contraindre l'espace de paramètres physiques (e.g. recherche de minima de  $\chi^2$ , estimation d'incertitudes et de corrélations) sous la contrainte des données interférométriques, avec la possibilité de rajouter d'autres types de données telles que spectroscopiques et photométriques. Les outils doivent être adaptés à l'utilisation de grilles de modèles pré-calculées ou de modèles physiques « rapides » (calcul temps-réel).
- Animation scientifique autour d'AMHRA : actions de communication (e.g. conférences), écoles d'interférométrie (e.g. VLTI School).
- 

**Contacts:** A. Domiciano de Souza (OCA), G. Duvert (IPAG)

## Lever le voile sur l'intérieur des planètes géantes

Publication : 25 mars 2020



Quelques-unes des clés de la compréhension de l'origine du système solaire se trouvent à l'intérieur des planètes géantes. Si la sonde spatiale Juno a récemment permis de détecter pour la première fois de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Jupiter (Li et al. 2020), une mission vers Uranus et Neptune (Guillot & Fletcher 2020) sera nécessaire pour mieux comprendre la complexité de l'atmosphère de ces planètes géantes et réellement sonder leur intérieur.

D'après la légende, Zeus (Jupiter) cachait ses méfaits sous un voile nuageux mais sa femme Héra (Juno) dissipa les nuages pour le confronter. La sonde Juno, en orbite autour de Jupiter depuis 2016 a réussi à lever une partie du voile que constitue la couche nuageuse de Jupiter pour nous permettre de mesurer l'abondance d'un élément capital pour notre compréhension de cette planète : l'eau. Juno a ainsi mesuré que l'eau dans Jupiter est au moins aussi abondante que l'oxygène dans le soleil, et au maximum 5 fois plus abondant.

Ce résultat a été possible grâce aux mesures de l'instrument MWR (MicroWave Radiometer) de Juno, une série d'antennes permettant de mesurer la brillance de Jupiter provenant des couches profondes de son atmosphère, plusieurs centaines de kilomètres en dessous de la couche visible des nuages (Fig. 1). Mais la mesure était difficile : contrairement à ce qui était attendu, l'atmosphère profonde de Jupiter voit son abondance en ammoniac varier très significativement. Or l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), masque l'absorption du signal dû à la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O) présente en profondeur. L'équipe Juno s'est concentrée sur la mesure du signal provenant d'une zone équatoriale, où l'abondance d'ammoniac est relativement uniforme verticalement pour pouvoir en déduire cette abondance d'eau.

La contrainte sur l'abondance d'eau est importante, mais elle reste imprécise. En effet, nous ne comprenons pas comment la température change dans l'intérieur de la planète, pourquoi l'ammoniac est si variable, quel est le rôle des tempêtes dans le transfert de chaleur depuis l'intérieur planétaire. Les planètes géantes, de par leur atmosphère faite d'hydrogène et d'hélium et de par l'absence d'une surface, ont une météorologie très différente de celle de la Terre.



Figure 1 : Vue rapprochée de l'équateur de Jupiter (crédit : NASA / JUNO)

Pour comprendre ce qui se passe non seulement à l'intérieur de Jupiter, mais aussi dans les atmosphères des exoplanètes (dont de nombreuses semblent composées d'hydrogène et d'hélium), il paraît indispensable d'explorer les 2 dernières planètes du système solaire, Uranus et Neptune. En effet, ces planètes possèdent des atmosphères actives (Fig. 2) dont les orages et tempêtes peuvent être étudiés précisément car ils ne proviennent pas des couches profondes de l'atmosphère. Contrairement à toutes les autres planètes du système solaire, Uranus et Neptune n'ont jamais été visitées par un orbiteur (un satellite en orbite autour de la planète). Une mission internationale vers l'une de ces planètes incluant un orbiteur et une sonde atmosphérique permettrait de comprendre ce qui se passe dans les entrailles de ces planètes.

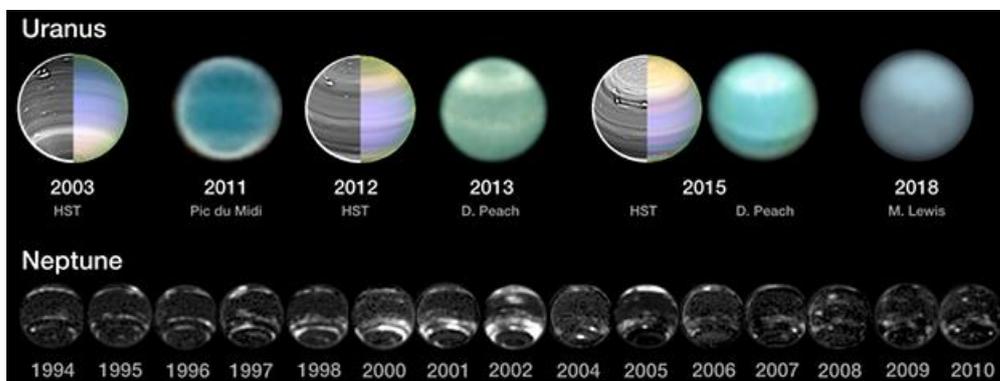


Figure 2 : Vues des nuages de méthane sur Uranus et Neptune (Uranus : HST, crédits : NASA/Sromovsky ; Pic du Midi et images amateur d'après la base PVOL (<http://pvol2.ehu.eus/>); Neptune : HST, crédits : NASA/Karkoshka).

### Articles

Li, C., A. Ingersoll, S. Bolton, S. Levin, M. Janssen, S. Atreya, J. Lunine, P. Steffes, S. Brown, T. Guillot, M. Allison, J. Arballo, A. Bellotti, V. Adumitroaie, S. Gulkis, A. Hodges, L. Li, S. Misra, G. Orton, F. Oyafuso, D. Santos-Costa, H. Waite, and Z. Zhang, [The water abundance in Jupiter's equatorial zone](#). *Nature Astronomy* (Advanced Online Publication, 2020).

Guillot T., Fletcher N. L., [Revealing giant planet interiors beneath the cloudy veil](#). *Nature Communications*, 2020.

### Contact

Tristan Guillot, directeur de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (CNRS - Université Côte d'Azur - Observatoire de la Côte d'Azur) - [tristan.guillot@oca.eu](mailto:tristan.guillot@oca.eu)

## AVRIL

## Le jeune thésard de 18 ans contribuera au troisième catalogue Gaia

Publication : 1 avril 2020

**Gabriele Contursi** n'a pas vingt ans et promet déjà un bel avenir dans la recherche scientifique. Diplômé du [Master MAUCA](#) en Astrophysique de l'Université Côte d'Azur obtenu avec mention Bien, il s'est engagé en septembre 2019 dans une thèse au sein du [laboratoire Lagrange](#) de l'Observatoire de la Côte d'Azur, sous la direction de Patrick De Laverny, astronome au laboratoire Lagrange ([CNRS-UCA-OCA](#)).



Né à San Remo, Gabriele habite Menton depuis son plus jeune âge et parle aussi bien le français que l'italien, l'anglais et tout récemment, le polonais. Passionné par l'histoire et la géographie, il s'intéresse au-delà de l'histoire des nations et des frontières, à la racine des langues. Il aime décrypter la musique, de son essence à sa lecture. Il pratique le piano à ses heures perdues. Mais tout jeune déjà, les documentaires d'astronomie à la télévision éveillent son esprit scientifique. Les mystères liés à l'Univers le fascinent « *j'ai l'impression que l'astrophysique m'a toujours plu* » nous explique-t-il.

À 13 ans, son baccalauréat scientifique en poche, Gabriele intègre l'université de Nice Sophia Antipolis, aujourd'hui [Université Côte d'Azur](#). Il avoue qu'entre 13 et 15 ans, un certain décalage s'est fait ressentir. « *Mais l'écart n'était pas énorme non plus, et avec l'âge cela s'est complètement estompé. Ce n'était pas : « je suis ici, et les autres, là-bas. » Il y a toujours eu des interactions, de l'entraide, je n'ai pas non plus été complètement isolé.* »

À la fin de son master, il participe à des expériences astrophysiques plus concrètes comme déterminer le gradient de température en fonction de la profondeur de l'atmosphère du soleil à l'aide d'une nouvelle méthode en ajoutant les effets des champs magnétiques. « *Si je devais en retenir un, je choisirai ce stage, c'était la première vraie expérience. La première fois où j'ai « touché » à la recherche* »

À son entrée en doctorat, Gabriele choisit de travailler sur les données de [Gaia](#). Ce célèbre satellite, lancé en 2013, effectue le recensement de plus d'un milliards d'étoiles de la Voie Lactée et mesure leur position, leur distance, leurs mouvements et leurs propriétés physiques avec une précision inégalée. « *En travaillant avec les données de Gaia, des données cinématiques, physiques vont émerger, des distances, des vitesses, des mouvements, des compositions chimiques, des températures.* »

Ses recherches porteront sur la caractérisation de l'accrétion de la matière pour le disque de la Voie Lactée. Le domaine de l'archéologie galactique concerne la compréhension des événements principaux qui se sont déroulés dans l'histoire de la Voie Lactée. Par exemple, comprendre les interactions entre les galaxies naines et les autres galaxies. Le travail du jeune thésard représente la compréhension globale de notre galaxie et à quoi elle ressemblait par le passé. « *Avoir toute ces données permet de compléter d'autres paramètres et d'essayer de comprendre l'évolution et la formation de notre galaxie.* »



Illustration : © ESA

*Mais avant ça je vais travailler sur la contribution du troisième catalogue Gaia qui devrait être publié en 2021 et plus particulièrement sur les abondances chimiques des étoiles.* »

Le jeune étudiant imagine tout à fait son avenir dans la recherche et aimerait y mêler l'enseignement, une passion découverte récemment. « *Faire une remise à niveau aux premières années de licence Maths en septembre 2019, c'était génial, transmettre m'a vraiment beaucoup plu ! C'était une super expérience.* » Vulgariser son travail et le transmettre est un exercice complexe que Gabriele aimerait approfondir au sein du programme « [Ma thèse en 180 secondes](#) » dès l'année prochaine.

## Un nouveau concept de télescope pour imager les détails 'objets célestes distants'

Publication : 2 avril 2020

Des chercheurs de l'observatoire de Shanghai, de l'institut d'optique et de l'Observatoire de la Côte d'Azur ont conçu une nouvelle optique focale qui pourrait permettre aux hypertélescopes d'imager plusieurs étoiles en même temps. Ce concept amélioré permettra d'obtenir des images à très haute résolution angulaire d'objets en dehors de notre système solaire, comme des planètes, des pulsars, des amas globulaires et des galaxies lointaines.



« Un hypertélescope multi-champs pourrait, en principe, capturer une image très détaillée d'une étoile, montrant éventuellement aussi ses planètes et même les détails des surfaces des planètes », a déclaré Antoine Labeyrie, professeur émérite au Collège de France et à l'Observatoire de la Côte d'Azur, qui a été le pionnier de la conception de l'hypertélescope. « Cela pourrait permettre de voir des planètes à l'extérieur de notre système solaire avec suffisamment de détails pour que la spectroscopie puisse être utilisée pour rechercher des preuves de vie photosynthétique. »

Dans la revue *Optics Letters* de la Société d'optique (OSA), ce groupe de chercheurs fait état des résultats de modélisation optique qui vérifient que leur conception multi-champs peut étendre considérablement la couverture étroite du champ de vision des hypertélescopes comme développés jusqu'à ce jour.

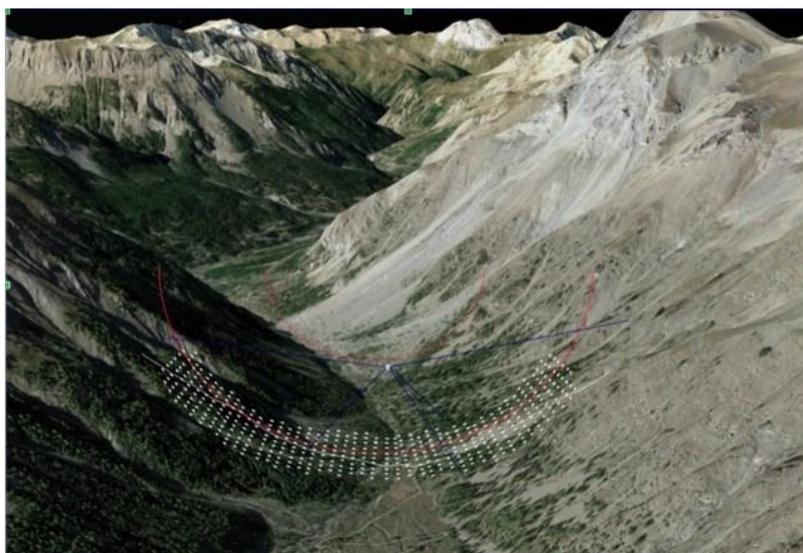
### Augmenter la taille des miroirs des télescopes

Les grands télescopes optiques utilisent un miroir concave pour focaliser la lumière des sources célestes. Bien que les grands miroirs puissent produire des images plus détaillées en raison de leur pouvoir diffractif, il y a une limite à la taille de ces miroirs. Les hypertélescopes sont conçus pour dépasser cette limitation en utilisant de grands réseaux de miroirs, qui peuvent être largement espacés.

L'équipe a déjà mis au point des prototypes d'hypertélescopes relativement petits, et une version grandeur nature est actuellement en construction dans les Alpes françaises. Lors de ces nouveaux travaux, les scientifiques ont utilisé une modélisation numérique pour démontrer les possibilités d'extension du champ de vue des hypertélescopes. Ces concepts pourraient être mis en œuvre sur Terre, dans un cratère de la lune ou même à très grande échelle dans l'espace.

La construction d'un hypertélescope par exemple dans l'espace, nécessiterait une flottille de petits miroirs espacés pour former un très grand miroir concave. Ce dernier concentre alors la lumière d'une étoile ou d'un autre objet céleste sur un vaisseau spatial transportant un détecteur et l'ensemble des autres composants optiques nécessaires.

« La conception multi-champs est un ajout plutôt modeste au système optique d'un hypertélescope, mais devrait grandement améliorer ses capacités », a déclaré A. Labeyrie. « Une version finale déployée dans l'espace pourrait avoir un diamètre des dizaines de fois plus grand que la Terre et pourrait être utilisée pour révéler des détails d'objets extrêmement petits tel le pulsar du crabe, une étoile à neutrons dont la taille n'est que de 20 kilomètres. »



Les hypertélescopes utilisent de larges réseaux de miroirs avec de l'espace entre eux. La conception multi-champs pourrait être incorporée dans le prototype d'hypertélescope testé dans les Alpes (photo). Crédit : Antoine Labeyrie, Collège de France et Observatoire de la Côte d'Azur

### **Agrandir le champ de vue**

Les hypertélescopes utilisent ce qu'on appelle la densification des pupilles pour concentrer la lumière collectée afin de former des images à haute résolution. Comme dans tout interféromètre, ce processus limite leur champ de vision, empêchant la formation d'images d'objets diffus ou de grande taille tels qu'un amas d'étoiles globulaires, un système exoplanétaire ou une galaxie.

Les scientifiques ont développé un nouveau système optique qui peut être utilisé avec l'optique focale de l'hypertélescope pour générer simultanément des images distinctes de chaque champ d'intérêt. Pour les amas d'étoiles, cela permet d'obtenir simultanément des images distinctes de chacune des milliers d'étoiles.

La conception multi-champs proposée peut être considérée comme un instrument composé de plusieurs hypertélescopes indépendants, chacun avec un axe optique différemment incliné qui lui donne un champ d'imagerie unique. Ces télescopes indépendants peuvent former les images adjacentes sur un seul détecteur.

Les chercheurs ont utilisé un logiciel de simulation optique pour modéliser différentes mise en œuvre d'un hypertélescope à champs multiples. Tous ces résultats ont fourni des résultats précis qui ont confirmé la faisabilité des observations sur plusieurs champs.

L'intégration de l'ajout de plusieurs champs dans les prototypes d'hypertélescope nécessiterait le développement de nouveaux composants, y compris des composants optiques adaptatifs pour corriger les imperfections optiques résiduelles. Les chercheurs continuent également le développement de techniques d'alignement et des logiciels de contrôle afin que la nouvelle optique focale puisse être utilisée avec le prototype en cours de développement dans les Alpes. Ils ont également développé une proposition similaire pour une version basée sur la lune.

**Publications :** Z. Xie, T. Lepine, T. Houllier, H. Ma, D. Mourard, A. Labeyrie, "A hypertelelescope with multiplexed fields of view," *Opt. Lett.*, 45, 7, 1878-1811 (2020).DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.385953>.

### **À propos de la société d'optique OSA**

*Fondée en 1916, l'Optical Society (OSA) est la principale organisation professionnelle de scientifiques, d'ingénieurs, d'étudiants et de chefs d'entreprise qui alimentent les découvertes, façonnent des applications réelles et accélèrent les progrès de la science de la lumière. Grâce à des publications, des réunions et des initiatives d'adhésion de renommée mondiale, OSA fournit des recherches de qualité, des interactions inspirées et des ressources dédiées à son vaste réseau mondial d'experts en optique et photonique. Pour plus d'informations, visitez [osa.org](https://www.osa.org) . Voir aussi le site LISE <https://projets.oca.eu/fr/hypertelescope-lise>*

## Un scénario pour expliquer l'étrange astéroïde interstellaire Oumuamua

Publication : 13 avril 2020

Quelle est l'origine du fameux astéroïde interstellaire Oumuamua ? Comment s'est-il formé et d'où vient-il ? Un article publié dans *Nature Astronomy* par Yun Zhang du laboratoire Lagrange ([Université Côte d'Azur](#) - Observatoire de la Côte d'Azur - [CNRS](#)) et [Doug Lin](#), Department of Astronomy and Astrophysics, [University of California Santa Cruz](#), propose enfin une réponse à ce mystère, grâce à un scénario qui permet d'expliquer l'ensemble des caractéristiques très étranges observées durant la découverte de ce premier corps venu d'ailleurs.

La découverte du premier astéroïde interstellaire (qui ne gravite pas autour du Soleil mais ne fait que traverser le Système Solaire) a créé une grande surprise, notamment du fait de ses caractéristiques très étranges. Il n'a pas la signature caractéristique d'une comète, ce qui laisse supposer que sa surface est rocheuse et pauvre en eau ; sa forme est extrêmement allongée comme un cigare ; il voyage à une vitesse qui nécessite un effet supplémentaire à celui produit par la pure attraction gravitationnelle du Soleil et des planètes pour l'expliquer, et il tourne sur lui-même avec une période de l'ordre de quelques heures.

Quelques scénarios ont déjà été proposés pour expliquer son existence, mais aucun n'a permis de rendre compte de l'ensemble des caractéristiques très surprenantes de cet objet jusqu'à cette étude.



L'idée de base est qu'un tel corps doit avoir été formé dans un autre système planétaire et en avoir été expulsé pour se retrouver dans le milieu interstellaire puis traverser le Système Solaire. Une telle expulsion peut se produire si le corps passe très près de l'étoile du système dans lequel il évolue et/ou d'une grosse planète. Mais sa forme reste un mystère car dans notre Système Solaire, aucun corps de la taille d'Oumuamua n'a une forme aussi allongée. De plus, pour des raisons liées à leurs trajectoires très allongées, il est bien plus facile d'expulser des corps de type cométaire, donc riches en eau et en éléments volatiles, car formés loin du Soleil. Or, Oumuamua ne présente aucune activité cométaire !

Pour résoudre ce paradoxe et expliquer la forme d'Oumuamua, Yun Zhang a développé des simulations numériques de passage très proche de son étoile, de corps de 100 mètres de diamètre. Ces corps seraient représentés comme des agrégats de roches solides qui représentent la structure la plus typique des petits corps du Système Solaire de la taille considérée. Cette simulation s'est faite sur la base d'une étoile de masse égale à la moitié de celle du Soleil, afin de vérifier si les effets de marée produits lors d'un tel passage peuvent détruire le corps et former des fragments dont la forme est identique à celle d'Oumuamua et dont la trajectoire les expulserait du système. Ce choix d'étoile vient du fait que la région où les destructions par effets de marée se produisent est bien plus grande autour des étoiles de faible masse car elles sont plus denses. Dans ces simulations, les composants de l'agrégat peuvent être liés entre eux simplement par leur propre attraction ou par de la cohésion mécanique, ce qui définira le comportement global de l'agrégat (déformation, destruction) lors de son passage près de l'étoile. Plus il est résistant, plus la distance à l'étoile doit être faible pour qu'il subisse les forces de marée.

Les simulations ont été effectuées en considérant un agrégat qui s'approche de l'étoile le long d'une trajectoire très allongée (excentrique) et dont la distance moyenne à l'étoile est de plusieurs milliers de fois la distance de la Terre au Soleil (1 Unité Astronomique), ce qui est nécessaire pour que les fragments produits par la destruction de l'agrégat au passage proche de l'étoile s'échappent du système dans le milieu interstellaire. Durant un passage suffisamment proche, les simulations montrent que la fréquence de rotation sur lui-même de l'agrégat s'accélère, et le corps se déforme de façon significative avant de se détruire pour produire de nombreux fragments. La force de marée est une fonction décroissante avec la distance minimale à l'étoile. Pour une plus petite distance minimale, le corps se détruit en un nombre plus grand de petits fragments de forme très allongée dont certains peuvent s'échapper du potentiel gravitationnel de leur étoile hôte et de planètes de type Jupiter si elles sont présentes. Ils deviennent alors des objets interstellaires (Fig. 1).



Figure 1 : A gauche, vue d'artiste d'Oumuamua ; crédit : ESO/M. KORNMESSER ; A droite : objet interstellaire résultant d'une simulation numérique de destruction d'un agrégat lors d'un passage proche avec une étoile de faible masse. Lors d'une telle destruction, des fragments (eux-mêmes des agrégats) sont produits et certains peuvent être éjectés dans le milieu interstellaire. Les couleurs (du bleu au rouge, des plus faibles aux plus élevées) représentent les vitesses relatives des composants de l'agrégat ainsi formé. Elles restent toutes inférieures à celles permettant aux particules de s'échapper du corps. L'objet ainsi formé a une forme similaire à celle d'Oumuamua et une trajectoire qui lui permet de traverser un autre système planétaire, tel que le nôtre. © Y. Zhang/UCA/OCA/CNRS.

Du fait que les objets qui passent proche d'une étoile et dont les fragments peuvent s'échapper dans le milieu interstellaire proviennent nécessairement de grandes distances de l'étoile, ils doivent initialement être riches en roches mais aussi en glace. Néanmoins leur surface subit un échauffement intense lors d'un passage près de leur étoile hôte. Le modèle thermique des auteurs montre que la fusion et le re-condensation (3 heures après le passage à la distance minimale à l'étoile) des éléments silicatés de surface conduisent à la formation d'une croûte desséchée sur les fragments résultants et à la transformation de la partie exposée de ces corps d'un type cométaire à celui astéroïdal (sans activité de surface car sec). De plus, la cohésion se trouve augmentée du fait du frittage des silicates dans la croûte ce qui permet à la forme de l'objet de s'allonger lorsque le matériau est encore fondu puis de se rigidifier lors de la formation de la croûte avant qu'il ne puisse casser. Ces résultats offrent un scénario cohérent de formation d'Oumuamua qui reproduit sa forme, sa taille, et ses caractéristiques de surface. «La cohésion rend vraiment compte de la forme allongée», explique Yun Zhang, «et selon les conditions sa longueur pourrait même être plus de 10 fois plus grande que sa largeur ».

Mais cela n'explique pas tout, et notamment le fait qu'Oumuamua semble accélérer lors de sa traversée dans le Système Solaire d'une façon qui nécessite une force non-gravitationnelle en plus de la force gravitationnelle exercée par le Soleil et les planètes. En fait, même si la surface d'Oumuamua est desséchée lors de sa formation, ce qui explique l'absence observée d'activité, les volatiles tels que CO, H<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub>, peuvent encore exister à l'état condensé à une faible profondeur (moins d'un mètre). Ainsi lors de son passage près de notre Soleil durant sa traversée, la température de sublimation de l'eau est atteinte à des profondeurs plus grandes sous la croûte de l'objet, du fait que le Soleil est plus brillant et plus chaud que l'étoile de faible masse à l'origine de son expulsion dans le milieu interstellaire. La vaporisation de cet inventaire additionnel de volatiles peut amener la matière organique vers la surface, expliquant les caractéristiques photométriques observées à partir de l'analyse des couleurs. En dépit de l'absence de coma, ce léger dégazage peut produire l'accélération non-gravitationnelle détectée, et donc élimine l'hypothèse mentionnée parfois d'un vaisseau extra-terrestre...

Sur la base de ce scénario, les comètes à longue période sont des candidats prometteurs comme corps parents d'objets du type d'Oumuamua. Sous l'effet des marées galactiques, du passage d'étoiles, et des perturbations planétaires, quelques comètes kilométriques font une intrusion chaque année depuis la partie interne du réservoir d'Oort (situé à moins de 20,000 Unités Astronomiques du Soleil) à la proximité du Soleil. Du fait que les tailles des comètes visibles typiques sont bien plus grandes qu'Oumuamua, elles peuvent fournir une source adéquate d'astéroïdes interstellaires

par l'éjection accumulée de fragments de taille réduite formés lors de passages produisant des effets de marée conséquents. Les disques de débris qui sont aussi commun autour d'autres étoiles sont aussi des réservoirs potentiels de tels objets. Finalement, les auteurs montrent aussi que les planètes de type super-Terre ou mini-Neptune, qui évoluent autour d'autres étoiles le long de trajectoires très allongées et qui peuvent ainsi se détruire sont aussi une source potentielle d'objets de type Oumuamua.

Il y a donc de multiples possibilités de produire des objets du type d'Oumuamua dans le cadre du scénario élaboré par Yun Zhang et Doug Lin, reposant sur les effets de marée produit lors d'un passage proche à une étoile. Cela pourrait expliquer la fréquence prédite de traversée de tels objets dans notre Système Solaire (un par an, en moyenne). En ajoutant le fait que leur séjour dans les systèmes planétaires passe par les zones habitables (voisinage de la Terre), l'idée qu'ils soient à l'origine d'une [panspermie](#) ne peut pas être écartée !

### Référence

Zhang, Y., Lin, D. 2020. [Tidal Fragmentation as the origin of 1I/2017 U1](#) (Oumuamua), *Nature Astronomy*,

### Contacts

Yun Zhang, laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) - Courriel : [yun.zhang@oca.eu](mailto:yun.zhang@oca.eu)

Patrick Michel, directeur de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) - Courriel : [michelp@oca.eu](mailto:michelp@oca.eu)  
- Mobile : 06 88 21 28 33.



## Projet ERC KERNEL : le noyau fait des germes !

Publication : 22 avril 2020

Au sommaire du numéro d'avril de la revue *Astronomy & Astrophysics* figurent deux articles en provenance de l'équipe ERC KERNEL hébergée au Laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) par l'Observatoire de la Côte d'Azur. Le projet ERC KERNEL met au point et utilise des techniques d'interprétation des données croisant les approches de l'interférométrie optique et de l'imagerie haut contraste.



Le projet tire son nom du concept de noyau (kernel) de phase, mis au point par son PI, qui généralise le concept de clôture de phase utilisé pour la reconstruction d'image en interférométrie longue base. Pour permettre la détection d'objets à des contrastes de plus en plus ambitieux, et faire des observations les plus justes possibles, il est essentiel de contrôler et de minimiser la contribution des biais de mesure. Les deux articles publiés dans A&A ce mois-ci présentent deux approches complémentaires allant dans ce sens.

### Article #1: approche différentielle angulaire

Le premier article présente les résultats d'une étude menée par Romain Laugier, étudiant en troisième année de thèse au Laboratoire Lagrange. Romain a réussi à adapter une technique d'imagerie différentielle angulaire (ADI) utilisée pour la production d'images de planètes extrasolaires et l'a adaptée au scénario des noyaux de phase.

Pour maîtriser les biais d'observation, l'interférométrie requiert traditionnellement d'alterner les observations des sources d'intérêt astrophysique avec des objets de calibration, ce qui nuit à l'efficacité de ce mode d'observation. Il est de plus difficile en pratique de trouver une étoile de calibration qui n'introduise pas elle-même de nouvelles sources de biais. La méthode ADK (angular differential kernel-phase) proposée par Romain utilise la rotation de champ se produisant naturellement lors du transit d'une étoile pour un instrument au foyer d'un télescope moderne. La diversité introduite par la rotation permet en effet de séparer la contribution des biais instrumentaux des signaux astrophysiques en passant 100% du temps d'observation sur la cible d'intérêt.

Un premier cas d'utilisation de la méthode sur des données acquises avec l'instrument SCEXAO du télescope Japonais Subaru montre que la technique est valide et permet effectivement d'étalonner les observations, malgré des conditions d'observation difficiles. Le formalisme proposé est cependant très général et également applicable à l'interférométrie longue base où il pourrait mener à de nouvelles applications.

L'article sur le site *Astronomy & Astrophysics*: [https://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2020/04/aa37121-19/aa37121-19.html](https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2020/04/aa37121-19/aa37121-19.html)

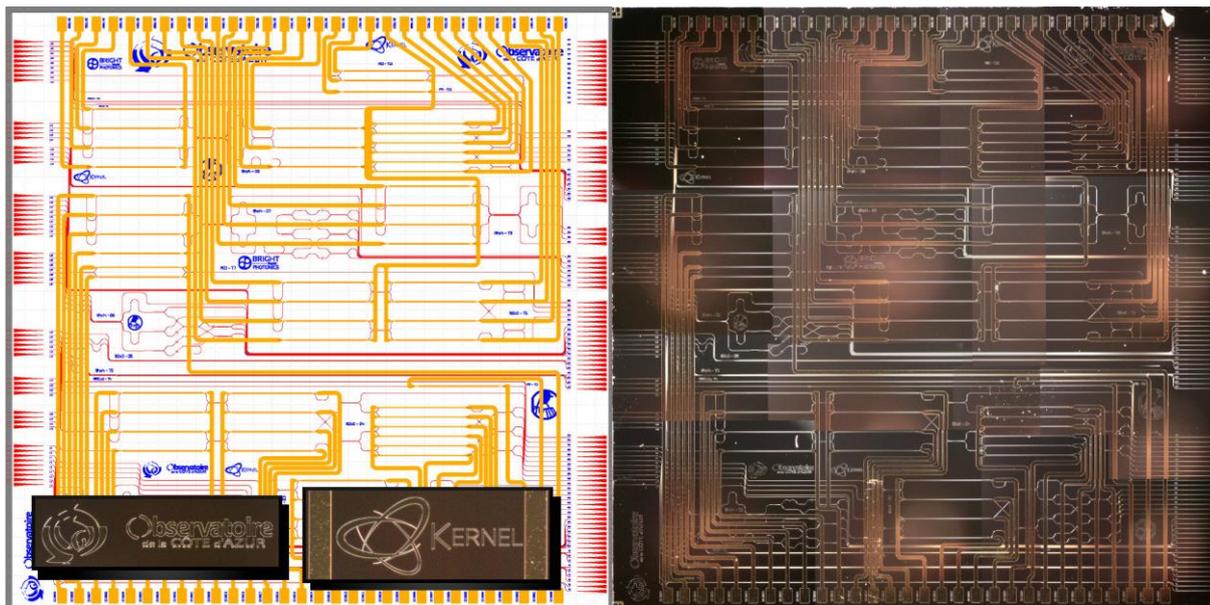
### Article #2: Kernel-phase V 2.0

Le second article présente les résultats d'une étude menée par Frantz Martinache, Maître de conférences à l'Observatoire de la Côte d'Azur, PI du projet KERNEL. Cette étude revient sur la définition de kernel-phase, publiée il y a maintenant 10 ans. Ce retour aux sources est rendu possible par un des produits du projet ERC KERNEL: le pipeline d'analyse de données appelé XARA (Résolution Angulaire eXtrême en Astronomie) qui a, depuis le début du projet entamé en octobre 2016, connu beaucoup d'améliorations. Il était donc temps de revisiter les premiers résultats astrophysiques obtenus par les noyaux de phase. L'étude met en évidence que l'approche initiale, bien que puissante, était assez grossière. En prenant mieux en compte la description de l'ouverture diffractante des instruments, l'analyse kernel est rendue beaucoup plus fidèle et réduit l'impact de ses biais intrinsèques.

Utilisant ces modélisations plus fines, l'article propose une nouvelle analyse des données de HST/NICMOS, utilisées dans la publication qui avait introduit l'idée de kernel-phase ainsi que celle de données en provenance de l'instrument PHARO au foyer du télescope de Hale au Mont Palomar. Dans les deux cas, la nouvelle analyse met en évidence des améliorations spectaculaires.

Dans la même veine que l'idée de ADK de Romain Laugier, cette étude montre qu'une approche différentielle spectrale des kernels de phase (SDK) offre, sur des cibles astrophysiques adaptées, une autre façon d'éliminer les biais de mesure et d'augmenter les limites de détection de ce mode d'observation, en passant encore une fois 100% du temps d'observation sur la cible d'intérêt.

L'article sur le site *Astronomy & Astrophysics* : [https://www.aanda.org/articles/aa/full\\_html/2020/04/aa36981-19/aa36981-19.html](https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2020/04/aa36981-19/aa36981-19.html)



Premier prototype de kernel-nuller fabriqué en optique intégrée: l'image de gauche montre le design mis au point par l'équipe KERNEL en collaboration avec l'entreprise Bright Photonics qui a assuré le suivi de la fabrication. L'image de droite est une photographie mosaïque de la surface du composant réel, reçu à la fin de l'année 2020. Le composant photonique intègre en réalité une demi-douzaine de versions différentes de kernel-nullers dont certaines offrent des versions actives, pouvant être contrôlées par des électrodes (apparaissant en jaune sur le design de gauche). Le composant réel ne mesure que 16 millimètres de côté : les images constituant la photographie mosaïque ont été prises avec un microscope !

### Vers du très haut contraste

Un des grands objectifs du projet ERC KERNEL est de réussir à combiner de façon efficace un vrai mode d'observation haut contraste comme un coronographe qui supprime un objet trop brillant d'une image à une méthode de type kernel-phase qui atténue l'effet des erreurs de front d'onde. Combiner les deux effets supprime les deux sources de bruit majoritaires (photon et phase) qui nous empêchent encore aujourd'hui de faire de la détection directe de planètes extrasolaires sur un grand nombre d'objets.

En collaboration avec Michael Ireland, professeur à l'Université Nationale Australienne, Frantz Martinache a mis au point en 2018 un concept d'instrument pensé pour un interféromètre à quatre télescopes qui réunit ces deux qualités appelé kernel-nuller. Un premier prototype de kernel-nuller est en cours de fabrication et va être intégré par l'équipe ERC KERNEL en 2021 pour une première validation en laboratoire. En attendant, la vidéo suivante, produite par Frantz Martinache, explique en détails comment le concept fonctionne.

Voir la vidéo ici : <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=vn6280hGTL8>

Le projet KERNEL bénéficie du support financier du conseil européen de la recherche (ERC) dans le cadre du programme recherche et innovation H2020 de l'union européenne (contrat CoG - 683029). KERNEL has received funding from the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation program (grant agreement CoG - 683029).



## MAI

## Mission spatiale Euclid : la France livre le spectromètre infra-rouge NISP et le Segment Sol démarre son ultime challenge scientifique avant le lancement

Publication : 25 mai 2020



Euclid est une mission de l'ESA, dont le lancement est prévu mi-2022 pour une durée nominale de 6 ans et a pour objectifs l'étude de l'histoire de l'expansion cosmique, de la formation des structures de l'Univers, de la matière noire et de l'énergie sombre. Elle sera constituée d'un satellite équipé d'un miroir de 1,20m de diamètre, et de deux instruments: après plus de 10 ans de conception, de fabrication et de tests, le spectrophotomètre proche infrarouge NISP (Near InfraRed SpectroPhotometer) a été livré mardi 19 mai 2020 à l'ESA. Cet instrument, dont le Laboratoire d'Astrophysique de Marseille (LAM) est investigateur principal et maître d'œuvre de l'instrument, permettra de mesurer les spectres de plusieurs millions de galaxies. L'instrument VIS, quand à lui, mesurera les positions et la photométrie de plusieurs milliards de galaxies. En compléments du survey de 15000 degrés<sup>2</sup> observé par le satellite, un réseau de télescopes au sol et dans l'espace fournira également des observations dans différentes longueurs d'onde. La somme des données d'Euclid (170 Peta-Octets) et leur complexité sera considérable, et représente un défi pour le Segment Sol d'Euclid, auquel le laboratoire Lagrange est associé. L'ultime Science Challenge avant le lancement a démarré le 13 mai 2020, pour une durée d'environ un an. Celui-ci met en œuvre pour la première fois toute la chaîne de traitement sur les simulations end-to-end du relevé Euclid et représente une étape cruciale du Segment Sol.

L'équipe du laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) participe activement à la mission spatiale Euclid, et s'est fortement impliquée à la fois dans le "Segment Sol" et dans la préparation de l'analyse scientifique. Les thématiques principales sont : i) la réalisation du catalogue d'amas et son utilisation en tant que sonde cosmologique pour contraindre l'énergie noire, ii) les simulations numériques (stellaires et cosmologiques) et iii) l'étude des petits corps du système solaire. Le laboratoire participe activement en 2020 au Science Challenge du Segment Sol, assurant entre autres la coordination du pipeline de détection et de caractérisation des amas de galaxies et la réalisation du catalogue simulé d'étoiles.



### Amas de galaxies :

Les amas de galaxies constitueront l'une des sondes cosmologiques de la mission. Le groupe "amas" de l'OU Level3 du Segment Sol a pour mission de développer et tester les algorithmes puis livrer les prototypes qui permettront la détection des amas à partir des relevés et la réalisation du catalogue d'amas d'Euclid, ainsi que leur caractérisation et l'analyse de leur distribution spatiale. Le laboratoire Lagrange est responsable scientifique et/ou technique de plusieurs de ces codes.

**Sophie Maurogordato**, Directrice de Recherche au CNRS, est depuis 2012 co-chair du groupe de travail du Segment Sol d'Euclid dédié aux amas de galaxies et a coordonné de 2013 à 2019 le groupe de travail scientifique dédié à la Relation Masse-Observable des amas. Responsable scientifique Euclid à Lagrange.

**Martin Vannier, Ingénieur de Recherches**, chef de Projet Euclid à Lagrange pour les activités Segment Sol, est coordinateur des développements algorithmiques et du pipeline de traitement "amas de galaxies".

**Christophe Benoist**, Astronome Adjoint, est impliqué dans le groupe de travail scientifique amas et coordonne au niveau du Segment Sol l'estimation de la richesse des amas, et son utilisation scientifique en tant qu'estimateur de masse.

**Alberto Cappi**, Astronome associé, est impliqué dans le groupe de travail scientifique "amas" et au niveau du Segment Sol dans les algorithmes de fonction de sélection associés ainsi que dans l'analyse du regroupement des amas.

*Sophie Mourre*, IR (CDD), assure le développement et l'intégration informatique des codes "amas" dans l'environnement du Segment Sol, en particulier en ce qui concerne la détection et la réalisation du catalogue d'amas.

*Laurent Galluccio*, Ingénieur de Recherches CNRS, est responsable "assurance qualité" (PA/QA) pour les activités Lagrange sur Euclid

*Chiara Ferrari*, Astronome, est impliquée dans la prospective de synergie SKA/Euclid.

*Eric Slezak*, Astronome, est impliqué dans le groupe de travail scientifique « amas » en ce qui concerne la détection de la lumière diffuse au sein des amas et l'application de méthodologies de type Deep Learning à la détection des amas lointains.

#### **Simulations numériques:**

*Mathias Schultheis*, Astronome, coordonne la génération des catalogues stellaires injectés dans les simulations Euclid end-to-end, à partir de modèles de populations stellaires testés avec les données Gaia DR2.

*Sébastien Peirani*, Chercheur CNRS, participe au groupe scientifique dédié aux Simulations Numériques Cosmologiques

#### **Objets du Système Solaire :**

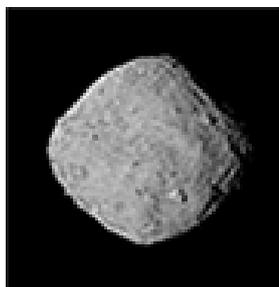
*Benoît Carry*, Astronome-adjoint, est co-chair du SWG Système Solaire d'Euclid depuis 2017. Il pilote le développement des outils permettant la simulation du signal des petits corps du système solaire dans les images VIS et NISP ainsi que la chaîne de traitement des données : de la détection aux mesures astrométriques et photométriques.

#### **Annexe :**

Les chercheurs du laboratoire ont participé en 2020 à 4 articles dans revues à comité de lecture dédiés à la préparation de la mission Euclid (3 extragalactique, 1 système solaire)

## Les astéroïdes Ryugu et Bennu sont des agrégats nés de la destruction d'un gros astéroïde

Publication : 26 mai 2020



Quelle est l'origine des astéroïdes Bennu et Ryugu, de leur forme en toupie et de leur différent degré d'hydratation ? [Un article publié dans Nature Communications](#) par Patrick Michel, directeur de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA), Ronald-Louis Ballouz, Post-doctorant OSIRIS-REx à l'Université d'Arizona (USA) et leurs collaborateurs, dont Brian May, astrophysicien et célèbre guitariste du groupe de rock Queen, présente des simulations numériques de destruction de gros astéroïdes, telles qu'elles se produisent dans la ceinture des astéroïdes, entre Mars et Jupiter, qui fournissent une réponse à ces mystères. Elles montrent que lors de telles destructions, les fragments produits s'échappent puis se ré-agglomèrent pour former des agrégats dont certains ont une forme de toupie avec des degrés d'hydratation variés, expliquant la diversité observée et la

faible densité de ces objets. Les propriétés globales de Ryugu et Bennu seraient donc le produit direct de la destruction de leur corps parent dans la ceinture des astéroïdes.

« Les images des astéroïdes Ryugu et Bennu (de 1 km et 500 mètres de diamètre, respectivement) prises par les sondes japonaise Hayabusa2 (JAXA) et américaine OSIRIS-REx (NASA) nous ont permis de découvrir deux nouveaux petits mondes fascinants qui présentent pourtant des similarités très surprenantes », explique Patrick Michel (Fig. 1). En particulier, ces deux astéroïdes de type carboné ont une même forme de toupie et une même densité (1,19 g/cc ; à pleine plus que l'eau). Cependant, leurs surfaces présentent un degré d'hydratation différent. Ryugu semble ainsi plus faiblement hydraté que Bennu, ce qui suggère que ces deux astéroïdes ont « vu » l'eau, mais que le matériau de Ryugu a subi un plus grand échauffement que celui de Bennu. « La forme des astéroïdes et leur degré d'hydratation nous servent de véritables traceurs de leur histoire et de leur origine », explique Brian May, co-auteur de l'article. « Ces propriétés (forme, densité, degré d'hydratation plus ou moins élevé) sont-elles la conséquence des évolutions de ces objets, une fois formés, ou le produit immédiat de leur formation ? » se demande Ron Ballouz, deuxième auteur principal de cette étude. Pour des raisons expliquées ci-dessous, c'est ce dernier scénario que les auteurs privilégient et qu'ils démontrent au moyen de simulations numériques de destructions de gros astéroïdes.

La plupart des astéroïdes de taille inférieure à quelques dizaines de kilomètres sont des fragments de plus gros corps détruits par collision dans la ceinture des astéroïdes. Une fois formés, certains subissent des perturbations qui peuvent les transporter sur des trajectoires qui croisent celles de la Terre, telles que celles de Ryugu et Bennu, les rendant notamment plus aisément accessibles aux missions spatiales. Dans les années 2000, Patrick Michel et ses collaborateurs avaient été les premiers à démontrer au moyen de simulations numériques de collisions entre astéroïdes, que lorsqu'une telle collision se produit, la fragmentation des corps aboutit à de tous petits fragments, d'une centaine de mètres de diamètre au plus. Lors de leurs éjections de leur corps initial, les simulations montrent que ces petits fragments peuvent ensuite se ré-agglomérer du fait de leurs attractions mutuelles pour former des agrégats plus gros <sup>[1]</sup>. Ces simulations reproduisent les caractéristiques de la vingtaine de familles d'astéroïdes dans la Ceinture, qui correspondent chacune à un groupe d'astéroïdes issus de la destruction d'un plus gros corps initial, et sont cohérentes avec les faibles densités mesurées des astéroïdes en général, qui indiquent qu'ils sont remplis d'une fraction de vide s'expliquant très bien par une structure en agrégat. « Cependant, les simulations n'étaient pas encore assez sophistiquées et les ordinateurs pas assez puissants pour pouvoir calculer la forme de ces agrégats », explique Patrick Michel. De même, le calcul de l'échauffement produit par les collisions, permettant de déterminer si du matériau initialement hydraté pouvait subir une déshydratation lors de la collision, restait très incertain.



Figure 1 : à gauche : Image de Ryugu (1 kilomètre de diamètre) par la sonde Hayabusa2 (JAXA) ; à droite : Image de Bennu (500 mètres de diamètre) par la sonde Hayabusa2 (JAXA). La forme similaire de toupie est remarquable. De gros cratères bien préservés sont aussi présents sur leur boursoufflure équatoriale, et sont bien identifiables sur l'image de Ryugu (à gauche). Crédits : NASA, Univ. Arizona/JAXA, Univ. Tokyo et al.

La première énigme est donc de savoir si la forme en toupie de Ryugu et Bennu est le résultat immédiat de leur formation lors de la destruction de leur corps parent. Des études précédentes ont montré que ce type de forme peut être expliqué par un effet thermique, appelé **YORP**, qui peut accélérer la vitesse à laquelle un astéroïde tourne sur lui-même. Lors de cette accélération, si l'astéroïde a une forme proche d'une sphère et qu'il a une structure en agrégat, le matériau situé vers les pôles peut descendre vers l'équateur et s'y accumuler pour former un bourrelet équatorial donnant la forme de toupie à l'astéroïde. Cet effet nécessite plusieurs millions d'années pour produire une telle forme, en supposant qu'il ne cesse d'être actif. Or, de gros cratères d'impact sont présents sur les bourrelets équatoriaux de Ryugu et Bennu (Fig. 1), ce qui nécessite que ces bourrelets aient été créés avant que des impacts produisent ces cratères, donc très tôt dans l'histoire des deux objets. Les auteurs ont donc poussé leur modélisation de destruction/ré-agglomération pour calculer la forme des agrégats finalement produits par la destruction d'un gros astéroïde et vérifier si cette forme pouvait être le produit immédiat de la ré-agglomération à leur origine. « Nous avons alors trouvé qu'effectivement, de telles formes de toupie peuvent être créées », indique Patrick Michel (Fig. 2). « Nous avons aussi identifié les conditions d'impact et les paramètres mécaniques des agrégats les plus favorables à l'aboutissement à une telle forme », précise Ron Ballouz. Ces résultats permettent ainsi de résoudre le paradoxe initial, reposant sur l'effet YORP, qui nécessite un temps long pour produire cette forme, une fois les objets créés, et la présence des gros cratères qui nécessitent que cette forme soit acquise très tôt dans l'histoire des deux objets.

La deuxième énigme est la présence de minéraux hydratés sur les deux astéroïdes, avec un degré plus élevé d'hydratation sur Bennu que sur Ryugu. Leur corps parent devait donc contenir des minéraux hydratés, mais se pose la question suivante : aux énergies d'impact dans la Ceinture des astéroïdes, l'échauffement produit par l'impact ne devrait-il pas déshydrater complètement le matériau et les agrégats résultant de cette destruction ? Et sinon, peut-on former des agrégats qui auront chacun un niveau d'hydratation différent, même s'ils sont issus d'un même corps hydraté de façon homogène ? C'est ce que les simulations de Ron Ballouz ont montré. « Selon d'où vient à l'intérieur du corps parent le matériau qui se ré-agglomère », explique Ron Ballouz, « le niveau d'échauffement subi peut-être très différent ». Les paires d'images stéréos effectuées par Brian May et Claudia Manzoni, London Stereoscopic Company, qui montrent en 3D le résultat immédiat de la destruction d'un gros astéroïde montrent bien cette grande diversité dans ce degré d'échauffement subi par le matériau (Fig. 2). « Lors d'une même collision, il est donc possible de former un agrégat avec du matériau qui aura subi très peu d'échauffement, et donc aura conservé un degré plus élevé d'hydratation comme Bennu, et un autre agrégat avec du matériau plus chauffé et donc plus faiblement hydraté comme Ryugu », s'enthousiasme Brian May ! Ainsi, Bennu et Ryugu pourraient avoir pris leur forme et leurs différents niveaux d'hydratations lors de la destruction d'un même corps parent ! Ils pourraient donc avoir une origine commune et provenir de la même famille d'astéroïdes, ce que les analyses des échantillons permettront de vérifier en mesurant précisément leur composition et datant l'âge de leur formation.

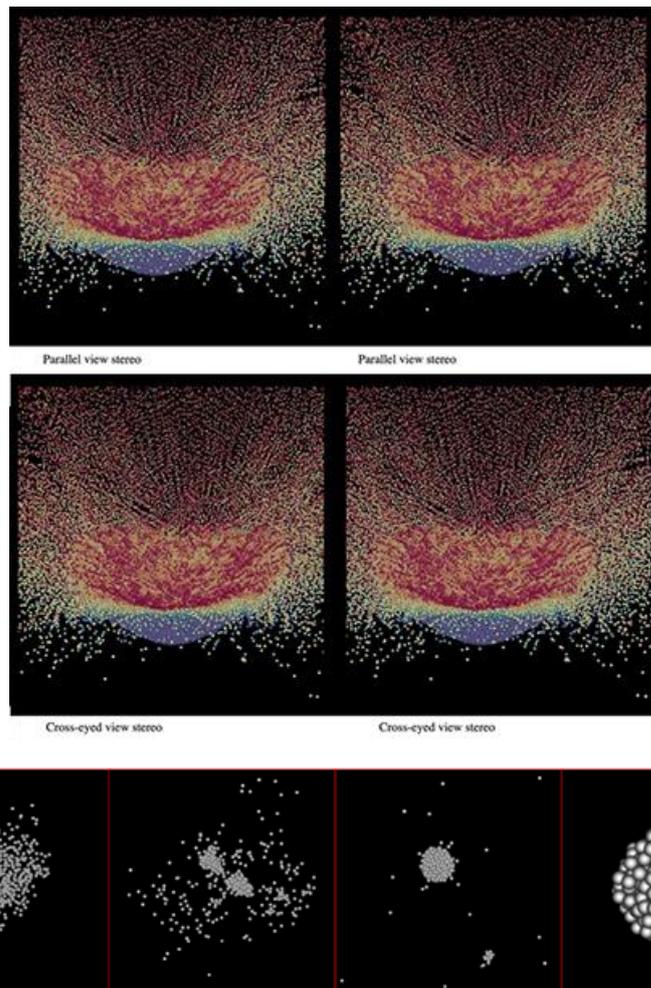


Figure 2 : en haut : paires d'images stéréos effectuées par Brian May et Claudia Manzoni à partir des modélisations numériques d'impact montrant les premiers instants après la destruction d'un astéroïde avant que les fragments ne s'échappent et se ré-agglomèrent pour former des agrégats ; les couleurs indiquent l'échauffement produit par l'impact (du rouge au bleu, du plus au moins élevé), montrant que certains matériaux subissent de l'échauffement (rouge) et d'autres pas (bleu). Pour être vue en 3D, la paire appelée « parallel view » doit être regardée en vision parallèle, celle appelée « cross-eye view » doit être visualisée en vision croisée [2]. En bas : séquence d'images montrant la formation d'un agrégat par ré-agglomération de fragments produits lors de la destruction d'un astéroïde, dont la forme finale, 5 heures après le début du processus, sera similaire à celle de Bennu et Ryugu.

### Références

[Collisional formation of top-shaped asteroids and implications for the origins of Ryugu and Bennu](#), 27 mai 2020, Nature Communications, Patrick Michel, Ronald-Louis Ballouz, Brian May, Claudia Manzoni, et al.

[1] Michel, P. et al., 2001. Collisions and gravitational reaccumulation: forming asteroid families and satellites. Science 294, 1696-1700 (+ couverture du Journal)[2] Pour une explication, voir : <https://www.image-en-relief.org/stereo/comment-faire/voir-en-relief/172-vision-croisee-vision-parallele>. Une autre paire et des vidéos sont fournies dans l'article, avec un autre mode de visualisation.

### Contact

Patrick Michel : [michelp@oca.eu](mailto:michelp@oca.eu) - 06 88 21 28 33

## JUIN

**First live observation of a meteoroid impact on the Moon !**

Publication : 2 juin 2020



On the evening of 27th of May 2020, a team of the Planetology group of Observatoire de la Côte d'Azur, detected a transient light on the night side of the lunar surface. The light phenomenon that had the extremely short duration of 0.2 seconds was caused by the impact of a meteoroid on the Moon. This is not only the first detection for the *Flash!* team but also is the first for France ! The telescopic observations took place at the site of Mont-Gros with a moderate telescope and a fast camera. Preliminary analysis has shown that the meteoroid did not originate from a known meteor stream but belonged to the so-called sporadic population and therefore its impact speed is estimated to be 19-24 km/s.

The project *Flash!* started in 2019 when the PI Dr. Avdellidou, a [UCA-JEDI](#) Research Fellow, formed a team of international students with scientific objective to detect lunar impact events and subsequently locate the fresh impact craters on the lunar surface. The team consists of Edhah Munaibari, a UCA [MAUCA master](#) student, Raven Larson master student and Prof. P. Hayne of the University of Colorado (USA) and Daniel Sheward PhD student and Dr. A. Cook of the University of Aberystwyth (UK). Important support to the team was offered by Dr. M. Delbo, directeur de recherche [CNRS](#), laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA) and Dr. J. Vaubaillon (IMCCE).

The team has developed all the necessary computational tools to detect these rapid events inside a huge amount of data, to calculate the lunar coordinates of the impact event, to identify the source of the meteoroid (impactor), to measure the mass and size of the meteoroid and finally to discover the impact crater. The later is achieved in coordination with the international members of the team and the involvement of the [NASA's Lunar Reconnaissance Orbiter](#) (LRO). The ultimate goal of *Flash!* is to create a global network for lunar impact monitoring !

While in the community lunar impact flashes are observed per se to count impactors in near-Earth space as a function of their sizes, the team's lunar observational studies are devoted to answer questions regarding the relationship between the size of impactors and the craters they form on planetary surfaces. Another crucial outcome is to understand the material influence, either from the impactor (meteoroids) or the target (the different lunar areas) on the observed temperatures of the ejecta plumes. The importance of project *Flash!* is that it started from the very beginning and is mainly based on the hard work of master and PhD students! *Flash!* is financially supported by the Programme National de Planetologie of INSU and by the Crédits Scientifiques Incitatifs (CSI) of Université Nice Sophia Antipolis.

**Contact**

Chrysa Avdellidou - [Chrysa.avdellidou@oca.eu](mailto:Chrysa.avdellidou@oca.eu).

## NON, les petits corps du système solaire n'ont pas une origine interstellaire

Publication : 9 juin 2020

**Un groupe d'experts en dynamique planétaire, dont Alessandro Morbidelli, directeur de recherche CNRS, laboratoire Lagrange (Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, CNRS)<sup>1</sup>, montre la présence d'erreurs dans deux articles récents, qui invalident les conclusions des auteurs qui annonçaient l'origine interstellaire de deux populations de petits corps évoluant actuellement dans le Système Solaire.**

Deux articles récents<sup>2</sup> ont annoncé la preuve de l'origine interstellaire de quelques petits corps du système solaire, notamment : les objets sur des orbites partageant la même trajectoire que les planètes géantes, mais de façon rétrograde (évoluant en sens inverse de celles-ci autour du Soleil) ; et les petits corps de la population des Centaures (objets glacés situés entre Jupiter et Neptune) qui évoluent sur des trajectoires très inclinées par rapport à celles des planètes.

Alessandro Morbidelli et ses co-auteurs montrent que les simulations numériques faites en remontant le temps par les auteurs des articles précédents ne sont pas représentatives de l'évolution passée des corps considérés. En fait, ces simulations ne sont utiles que pour quantifier le temps de vie très court des corps considérés, et la décroissance rapide de leur population. A la lumière de cette décroissance rapide, les corps observés ne peuvent pas être les survivants de populations d'objets capturés du milieu interstellaire pendant la jeunesse de notre Système Solaire. Sinon, la taille de ces populations serait irréaliste (de l'ordre de 10 fois la taille de la population entière des astéroïdes de la Ceinture Principale entre Mars et Jupiter, pour des objets partageant la trajectoire de Jupiter mais orbitant en sens inverse de la planète). Plus vraisemblablement, les objets observés sont simplement des membres transitoires d'une population maintenue en nombre approximativement constant par un flux continu d'objets provenant de réservoirs situés dans le système solaire distant, et n'ont donc pas d'origine interstellaire. Les comètes de type Halley (qui orbitent autour du Soleil en 20 à 200 ans) et le nuage d'Oort (situé à plusieurs dizaines de milliers de fois la distance de la Terre au Soleil) sont les sources les plus probables des deux populations étudiées.

### Contact

Alessandro Morbidelli, [Alessandro.Morbidelli@oca.eu](mailto:Alessandro.Morbidelli@oca.eu)

1. Morbidelli et al. 2020, MNRAS sous presse
2. Namouni et Morais 2018, MNRAS 477L et 2020, MNRAS 494.

## JUN

## Les conséquences des passages proches d'astéroïdes avec la Terre revisités

Publication : 25 juin 2020

L'astéroïde Apophis subira-t-il des effets de marée substantiels lors de son passage à moins de 36,000 km de la Terre, le permettant de le voir à l'œil nu, le 13 Avril 2029 ? Yun Zhang et Patrick Michel (UCA, OCA, CNRS, Lagrange) ont effectué une nouvelle campagne de simulations numériques de rencontres proches avec des planètes d'astéroïdes représentés comme des agglomérats de roches liées par leur gravité<sup>1</sup>. Par rapport aux études précédentes, ils ont poussé le réalisme des simulations, notamment concernant l'arrangement des roches constituant l'astéroïde et les forces de contacts entre ces dernières lors du passage près de la planète. Appliquées au passage de la comète Shoemaker-Levy 9 près de Jupiter avant que ses fragments produits lors de ce passage n'entrent en collision avec la planète en Juillet 1994, leurs simulations prédisent une densité de la comète deux fois plus faible que les estimations précédentes.



Lors des rencontres proches avec les planètes ou les étoiles, les astéroïdes et les comètes peuvent subir des modifications substantielles de leurs trajectoires et de leurs propriétés physiques. Les effets de marée produits par ces rencontres peuvent même provoquer leur destruction, comme ce fut le cas de la comète Shoemaker-Levy 9, qui fut cassée en 21 morceaux lors d'un premier passage proche de Jupiter avant qu'ils entrent en collision avec la planète lors d'un deuxième passage en Juillet 1994. Cette collision fut d'ailleurs la première collision majeure d'un corps avec une planète observée en direct par l'être humain avec les télescopes terrestres.

L'étude des effets de marée produits lors de passage proches de petits corps avec une planète est très importante pour comprendre l'évolution et les caractéristiques des populations des petits corps, et pour prédire le résultat de rencontres futures, telles que celle de l'astéroïde Apophis avec la Terre le 13 Avril 2029 à moins de 36,000 km de la Terre (à l'intérieur de la trajectoire des satellites géostationnaires). En fait, le résultat de telles rencontres et les paramètres qui jouent un rôle majeur nécessitent d'être clarifiés.

Sur la base d'avancées récentes dans la modélisation des petits corps représentés comme des agglomérats de roches liées par leur gravité, les auteurs ont étudié les processus mis en œuvre lors de rencontres proches avec les planètes. Cette représentation en agglomérat est cohérente avec les données fournies par les observations au sol et par les sondes spatiales, qui indiquent que les petits astéroïdes ont une densité relativement faible, qui nécessite qu'il n'ait pas une structure de monolithe mais plutôt d'agglomérat de roches contenant des zones de vides internes. « *Nous avons alors effectué une campagne de plusieurs milliers de simulations numériques de passage de tels agglomérats à proximité d'une planète, et avons établi l'influence des conditions précises du passage et des propriétés de l'agglomérat, en particulier, sa résistance, l'arrangement des roches, les propriétés frictionnelles des roches en contact, et le nombre de roches considérées* », précise Yun Zhang.

Les simulations effectuées par le code N-corps *pkdgrav* indiquent trois types de résultats de passages proches qui dépendent des conditions de la rencontre et de la structure et la résistance de l'astéroïdes. Ces résultats vont de modifications mineures des propriétés de l'astéroïdes à un endommagement sévère : une déformation de l'astéroïde, une perte de masse, ou une destruction.

Les auteurs ont aussi montré que la vitesse du passage et la distance à la planète nécessaires pour causer une destruction de l'astéroïde due aux effets de marée sont bien plus faibles que celles prédites par les études précédentes. « *Autrement dit, il faut passer plus près et à plus basse vitesse d'une planète pour que l'objet soit détruit, ce qui réduit le nombre de petits objets produits par ce type d'événement* », explique Patrick Michel.

De plus, des objets extrêmement allongés (longueur d'un facteur 6 plus grande que la largeur) peuvent se former lors de rencontre avec des effets de marée modérés (voir Fig. 1), ce qui confirme que la forme de certains astéroïdes peut provenir de tels passages.



Figure 1 : de gauche à droite : rencontre proche entre un astéroïde agglomérat sphérique avec la Terre pendant laquelle les effets de marées modifient sa forme et lui font perdre un peu de masse. Une forme allongée peut ainsi être produite lors d'un tel passage (ici à 1,6 rayon de la Terre).

Enfin, les simulations de destruction en 21 fragments de la Comète Shoemaker-Levy 9 lors de son premier passage vers Jupiter avant qu'ils n'entrent en collision avec la planète en Juillet 1994 indiquent que la densité de la comète devait être de l'ordre de 0.2-0.3 g/cc pour se détruire ainsi, ce qui est environ deux fois plus faible que les prédictions précédentes.

Yun Zhang bénéficie d'une bourse jeune chercheur du programme IDEX JEDI de l'Université Côte d'Azur. Cette étude bénéficie du soutien financier du CNES et du contrat No. 870377 du programme H2020 de l'Union Européenne (projet NEO-MAPP). Les simulations ont été effectuées avec les centres de calcul : LICALLO situé à l'Observatoire de la Côte d'Azur, YORP administré par le Département d'Astronomie et Deepthought2 administré par la Division de Technologie Informatique de l'Université de Maryland.

### Référence

1. Zhang, Y., & Michel, P. 2020. [Tidal distortion and disruption of rubble-pile bodies revisited - Soft-sphere discrete element analyses](#). A&A.

### Contact Presse

Yun Zhang : [yun.zhang@oca.eu](mailto:yun.zhang@oca.eu)

Patrick Michel : +33 6 88 21 28 33 - [michelp@oca.eu](mailto:michelp@oca.eu)

## JUILLET

## Prix Gemini SAF/SF2A 2020 du projet de collaboration astronomes professionnels/amateurs

Publication : 1 juillet 2020



[Le prix Gemini \(SAF/SF2A\) 2020 pour un projet de collaboration astronomes professionnels/amateurs](#) vient d'être décerné au projet « *Détection et Suivi d'Exoplanètes par des Astronomes Amateurs* » porté par Alexandre Santerne du [Laboratoire d'Astrophysique de Marseille](#) pour

une équipe d'astronomes amateurs et professionnels.

L'exploration des exoplanètes est un domaine de l'astrophysique très en vogue avec un fort intérêt du grand public. Malgré un domaine extrêmement compétitif au niveau international, les astronomes amateurs ont un rôle important à jouer dans le suivi à long terme des éphémérides en soutien aux grands observatoires au sol ou dans l'espace. Parfois, cela conduit même à la co-découverte d'exoplanètes. C'est le cas avec cette très belle collaboration qui dure depuis 2009, utilisant à la fois des télescopes professionnels et amateurs. Une partie des observations de ce projet a été faite à l'Observatoire de la Côte d'Azur, grâce à l'équipe [C2PU](#) de l'OCA (Lyu ABe, Philippe Bendjoya, Jean Pierre Rivet, David Vernet) et Mattieu Conjat, astronome amateur de l'association Aquila, utilisant le télescope Schaumasse, sur le site du Mont-Gros à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Félicitations à tous !



## AOUT

## Coup de tonnerre sur la météorologie de Jupiter

Publication : 5 août 2020



De nouveaux résultats de la sonde Juno suggèrent que de violents orages animent Jupiter et génèrent des grêlons d'ammoniac qui jouent un rôle clé dans la dynamique atmosphérique de cette planète. Cette théorie, développée par l'équipe Juno à partir de données du radiomètre microondes de la sonde, est décrite dans deux publications dirigées par un chercheur du laboratoire Lagrange (CNRS/Observatoire de la Côte d'Azur/Université Côte d'Azur), avec le soutien du CNES. Elle lève le voile sur certains mystères de la météorologie de Jupiter et a des implications quant au fonctionnement de l'atmosphère des planètes gazeuses en général. Une série de trois articles publiés dans les revues *Nature* et *JGR Planets* présente ces résultats.

L'eau est un élément essentiel à la météorologie des planètes et a un rôle prépondérant lors de leur formation. Les orages terrestres sont mus par la condensation de l'eau, et la présence de ses trois phases (solide, liquide et vapeur) est essentielle à la formation d'éclairs. Comme sur Terre, l'eau de Jupiter est déplacée par des orages. Ceux-ci doivent se former au sein de son atmosphère profonde, environ 50 km en dessous des nuages visibles, où la température avoisine 0°C. Lorsque ces orages sont suffisamment intenses, ils apportent des cristaux de glace dans la haute atmosphère.

Dans un premier article, des chercheurs américains et du laboratoire Lagrange suggèrent que lorsque ces cristaux interagissent avec de l'ammoniac gazeux, l'ammoniac agit comme un antigel et change la glace en liquide. Sur Jupiter comme sur Terre, de l'eau mélangée à un tiers d'ammoniac reste liquide jusqu'à -100°C. Les cristaux de glace qui ont été amenés haut dans l'atmosphère jovienne sont donc liquéfiés par l'ammoniac pour former des grêlons d'ammoniac-eau, ou grêlons d'ammoniac<sup>1</sup>. Plus lourds, ces derniers redescendent jusqu'au moment où, Jupiter ne possédant pas de surface, ils s'évaporent. Ce mécanisme entraîne l'ammoniac et l'eau profondément dans la planète.

Or les observations de Juno montrent que, si l'ammoniac est très présent dans la zone équatoriale de Jupiter, son abondance est très variable et généralement faible ailleurs, jusqu'à des grandes profondeurs. Avant Juno, les scientifiques avaient mis en évidence cet appauvrissement jusqu'à des zones peu profondes et ceci n'avait jamais été expliqué. Pour expliquer cet appauvrissement jusque dans l'atmosphère profonde, les chercheurs ont développé un modèle de mélange atmosphérique présenté dans un deuxième article. Ils montrent que la présence d'orages et la formation de grêlons d'ammoniac conduisent à assécher l'atmosphère profonde en ammoniac et rendent compte des variations observées par Juno en fonction de la latitude.

Dans un troisième article, les chercheurs analysent des observations d'éclairs joviens par une des caméras de Juno. Les éclairs apparaissent comme des taches brillantes au sommet des nuages, avec des tailles proportionnelles à leur profondeur dans l'atmosphère jovienne. Contrairement aux missions précédentes qui avaient seulement observé des éclairs provenant de zones profondes, la proximité de Juno a permis la détection d'éclairs moins intenses et peu profonds. Ils proviennent de zones où les températures sont inférieures à -66°C et où l'eau seule ne devrait pas se trouver à l'état liquide. Or on pense que la présence d'un liquide est cruciale pour la formation d'éclairs dans Jupiter. La présence de grêlons d'ammoniac partiellement liquides et les collisions entre particules engendrées par ces grêlons génèrent des différences de potentiel importantes entraînant la formation d'éclairs. La détection par Juno de ces éclairs peu profonds, à des altitudes où le mélange liquide ammoniac-eau peut se former, est ainsi une confirmation observationnelle que ce nouveau mécanisme serait à l'œuvre dans l'atmosphère de Jupiter.

Comprendre la météorologie de cette planète et des autres géantes gazeuses comme Uranus et Neptune, encore inexplorées, permettra de mieux appréhender le fonctionnement d'exoplanètes gazeuses au-delà de notre système solaire.

[1] L'ammoniac est le produit de la dissolution d'ammoniac gazeux dans l'eau liquide.



*Cyclone observé dans l'hémisphère nord de Jupiter par JunoCam en juillet 2018. La partie centrale s'étend sur 300 x 3 800 km. Des nuages blancs d'ammoniac sont visibles, en rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Des nuages s'élevant jusqu'à 15 km au-dessus du reste (d'après l'ombre qu'ils laissent) sont visibles à plusieurs endroits, et notamment dans la partie centrale supérieure du cyclone. On pense que ces orages incluent une forme de grêle d'ammoniaque particulière à l'atmosphère de Jupiter qui entraîne l'ammoniac en profondeur et permet d'expliquer la présence d'éclairs peu profonds. © NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS/Kevin M. Gill*

## Bibliographie

- **Storms and the Depletion of Ammonia in Jupiter: I. Microphysics of “Mushballs”.** T. Guillot, D. J. Stevenson, S. K. Atreya, S. J. Bolton, H. N. Becker. JGR Planets, le 6 août 2020. DOI:10.1029/2020JE006403. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JE006403>
- **Storms and the Depletion of Ammonia in Jupiter: II. Explaining the Juno observations.** T. Guillot, C. Li, S. J. Bolton, S. T. Brown, A. P. Ingersoll, M. A. Janssen, S. M. Levin, J. I. Lunine, G. S. Orton, P. G. Steffes, D. J. Stevenson. JGR Planets, le 6 août 2020. DOI:10.1029/2020JE006404. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JE006404>
- **Small lightning flashes from shallow electrical storms on Jupiter.** H. N. Becker, J. W. Alexander, S. K. Atreya, S. J. Bolton, M. J. Brennan, S. T. Brown, A. Guillaume, T. Guillot, A. P. Ingersoll, S. M. Levin1, J. I. Lunine, Y. S. Aglyamov, P. G. Steffes. Nature, le 6 août 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-2532-1. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2532-1>

## Contacts

Chercheur CNRS | Tristan Guillot | T +33 4 92 00 30 47 | [tristan.guillot@oca.eu](mailto:tristan.guillot@oca.eu) Presse CNRS | Veronique Etienne | T +33 1 44 96 51 37 | [veronique.etienne@cnrs-dir.fr](mailto:veronique.etienne@cnrs-dir.fr)

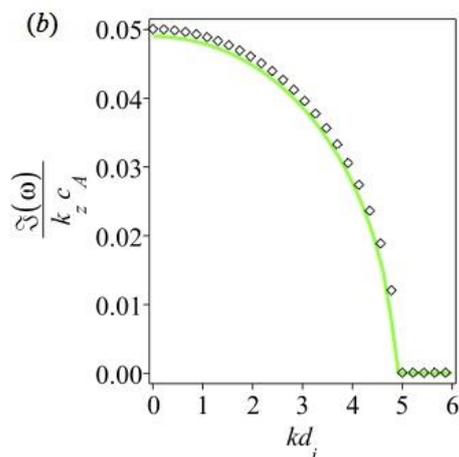


## Un nouveau modèle pour les plasmas non-collisionnels

Publication : 24 Août 2020

La plupart de la matière visible dans l'Univers se trouve à l'état de plasma, c'est à dire d'un gaz de particules chargées. La modélisation des plasmas représente un important défi du point de vue théorique. Il existe des modèles bien établis, appelés "cinétiques", qui décrivent comment évolue, en temps, la densité de probabilité de trouver une particule du plasma à une certaine position et avec une certaine vitesse. Néanmoins, dans la pratique, la complexité de tels modèles pose des limitations à leur utilisation. Il devient donc utile de développer des modèles alternatifs, moins complets que les modèles cinétiques, mais plus simples à traiter. Dans ce contexte, des modèles qui décrivent le plasma comme un ensemble de fluides, représentent un outil efficace et complémentaire aux modèles cinétiques.

Emanuele Tassi, Thierry Passot et Pierre-Louis Sulem, du Laboratoire Lagrange, ont développé un nouveau modèle fluide pour les plasmas non-collisionnels, c'est à dire des plasmas où les collisions entre les particules sont si rares qu'elles peuvent être négligées. Ce modèle pourra être utile afin de décrire la physique de base de certains phénomènes pertinents pour les plasmas spatiaux, tels que le vent solaire ou la magnétosphère terrestre. Le modèle appartient à la catégorie des modèles "gyrofluides". Ceux-ci sont obtenus à partir d'une classe de modèles cinétiques, appelés "gyrocinétiques", qui sont valables sur une échelle de temps longue par rapport à la période de gyration des particules du plasma autour du champ magnétique moyen. À noter que les modèles gyrocinétiques et gyrofluides ont été conçus, à l'origine, dans le cadre des recherches sur la fusion thermonucléaire par confinement magnétique, afin de décrire les plasmas dans les machines de type tokamak.



La figure montre une comparaison entre le taux de croissance normalisé d'une instabilité ("swelling-instability") prédit par le modèle gyrofluide de Tassi, Passot et Sulem (diamants) et celui prédit par le modèle gyrocinétique (courbe verte), en fonction du nombre d'onde normalisé. Les perturbations avec un nombre d'onde qui correspond à un taux de croissance positif donnent lieu à l'instabilité. Le modèle gyrofluide arrive à bien reproduire le taux de croissance prévu par la théorie gyrocinétique (figure extraite de l'article "A Hamiltonian gyrofluid model based on a quasi-static closure" E. Tassi, T. Passot, P.L. Sulem, J. Plasma Phys., 86, 835860402 (2020)).

Le nouveau modèle gyrofluide, dans sa version la plus simple, décrit l'évolution, suite à l'interaction des particules avec le champ électromagnétique, des fluctuations des densités et de vitesses fluides des électrons et des ions du plasma (ou plus précisément des « gyrocentres », autour desquels ces particules effectuent un mouvement de gyration). Les hypothèses conduisant au modèle gyrofluide permettent à ce dernier, malgré sa relative simplicité, de décrire avec une bonne précision certains phénomènes, tout en éliminant les processus avec lesquels ils ne sont que faiblement couplés. Contrairement aux approches cinétiques, il permet aussi d'analyser séparément les divers effets contribuant à la dynamique. Ce modèle reproduit en particulier les relations de dispersion des diverses ondes basses fréquence ainsi que certaines instabilités causées par les anisotropies de températures et observées dans le vent solaire. C'est par exemple le cas de la "swelling-instability" présentée dans la figure.

Par rapport au modèle gyrocinétique de départ, le modèle gyrofluide est valable dans le régime "quasi-statique", où la vitesse de propagation des fluctuations dans la direction du champ magnétique moyen est beaucoup plus petite que la vitesse thermique moyenne des particules. Il a aussi été montré que les équations du nouveau modèle gyrofluide possèdent une structure "hamiltonienne", qui est une structure commune à plusieurs modèles fondamentaux de la physique. La présence de cette structure implique l'existence de certaines lois de conservation, parmi lesquelles, celle de l'énergie totale du système.

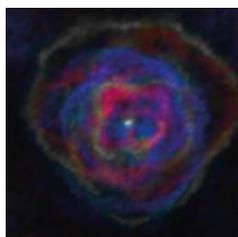
Dans l'avenir, ce modèle pourra être utilisé afin d'étudier la physique de phénomènes comme la reconnexion magnétique, qui est un processus considéré comme étant à l'origine des éruptions solaires et des orages magnétiques. Une autre application du modèle pourra concerner l'étude de la turbulence et de la formation des structures cohérentes dans le vent solaire.

**Contacts** : Emanuele Tassi, Laboratoire Lagrange [etassi@oca.eu](mailto:etassi@oca.eu)

## SEPTEMBRE

## Des astronomes observent le vent d'étoiles évoluées avec des détails sans précédents

Publication : 18 septembre 2020



Pour la première fois des astronomes, dont Eric Lagadec du laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA), ont trouvé une explication aux formes fascinantes des nébuleuses planétaires. Cette découverte est basée sur l'ensemble d'observations le plus important et le plus détaillé à ce jour des vents stellaires autour d'étoiles géantes froides évoluées. L'équipe internationale constituée d'astronomes de 20 instituts de recherche a observé les vents stellaires d'un échantillon d'étoiles géantes rouges avec l'observatoire ALMA au Chili, le plus grand radiotélescope du monde en onde mm et sub-mm. Cette équipe était composée de trois instituts Français (l'Observatoire de Paris, l'Université de Bordeaux et l'Observatoire de la Côte d'Azur) et de l'Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM), un institut international dont le siège est à Grenoble.

Le vent des étoiles correspond à un flux de matière s'échappant de leur surface dans l'espace environnant. L'équipe a mis en évidence que les vents stellaires ne sont pas sphériques, contrairement à ce qui est généralement admis. Leur forme présente cependant de grandes similitudes avec celle des nébuleuses planétaires. Cette découverte a conduit à la conclusion que le même processus physique façonne à la fois les vents des étoiles évoluées et les nébuleuses planétaires. Les résultats ont été publiés dans la revue *Science*.

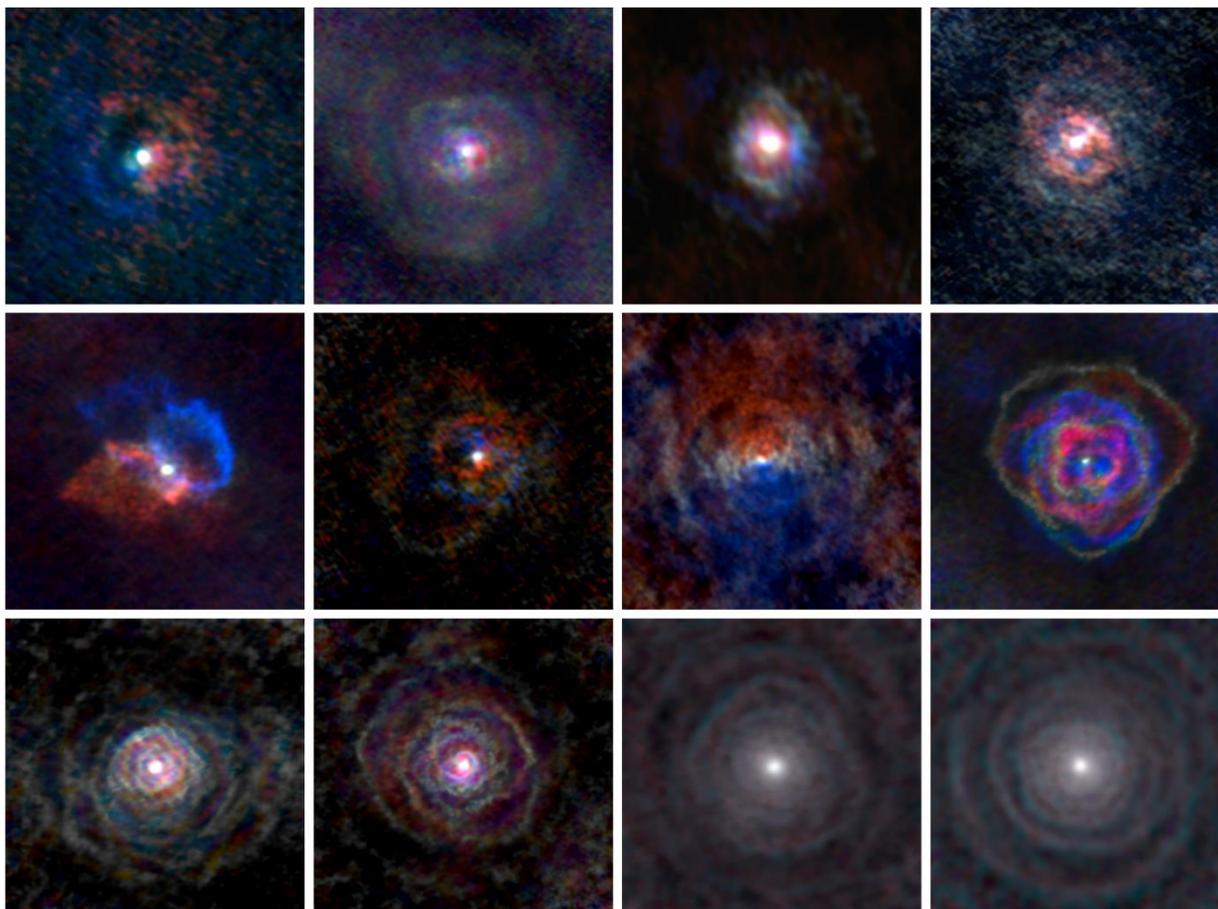
Lorsque leur carburant nucléaire s'épuise, les étoiles comme le Soleil grossissent considérablement et se refroidissent pour devenir des géantes rouges.

Elles produisent alors des flots de particules, le vent stellaire, qui leur fait perdre une partie importante de leur masse. En l'absence d'observations suffisamment détaillées, les astronomes considéraient que ce vent stellaire était sphérique, comme les étoiles elles-mêmes. Lorsque l'étoile a perdu la majorité de sa matière, son cœur encore brûlant est mis à nu, et la matière éjectée par l'étoile commence alors à briller formant une nébuleuse planétaire. L'extraordinaire variété de formes et de couleurs des nébuleuses planétaires a toujours intrigué les astronomes. Elles semblent toutes avoir une certaine symétrie, mais ne sont presque jamais rondes.

*"Le Soleil - qui deviendra une géante rouge - est aussi rond et lisse qu'une boule de billard, et nous nous sommes donc demandé comment de telles étoiles pouvaient produire toutes ces formes différentes",* explique la professeure Leen Decin de l'université KU Leuven (Belgique), auteure principale de l'article.

L'équipe internationale constituée d'astronomes de 20 instituts de recherche a observé les vents stellaires d'un échantillon d'étoiles géantes rouges avec l'observatoire ALMA au Chili, le plus grand radiotélescope du monde en onde mm et sub-mm. Cette équipe était composée de trois instituts Français (l'Observatoire de Paris, l'Université de Bordeaux et l'Observatoire de la Côte d'Azur) et de l'Institut de radioastronomie millimétrique (IRAM), un institut international dont le siège est à Grenoble. Pour la toute première fois, des astronomes ont pu rassembler une vaste collection d'observations détaillées, chacune d'entre elles ayant été réalisée en utilisant exactement la même méthode. Cela a été essentiel pour pouvoir comparer directement les données et exclure les biais. Et les résultats sont surprenants.

*"Nous avons remarqué que ces vents sont tout sauf symétriques ou ronds",* dit Leen Decin. *"Certains d'entre eux sont en fait assez similaires en forme aux nébuleuses planétaires".*



This image gallery of stellar winds around cool ageing stars shows a variety of morphologies, including disks, cones, and spirals. The blue colour represents material that is coming towards you; red is material that is moving away from you. | © L. Decin, ESO/ALMA

## Compagnons

Les astronomes ont même pu identifier différentes catégories de formes. *"Certains vents stellaires étaient en forme de disque, d'autres contenaient des spirales et dans un troisième groupe, nous avons identifié des cônes."* C'était une indication claire que les formes n'étaient pas créées au hasard. L'équipe a réalisé que d'autres étoiles de faible masse ou même des planètes massives orbitant à proximité de l'étoile en fin de vie étaient à l'origine des différentes formes. Ces compagnons sont trop petits et trop faibles pour être détectés directement. *"Tout comme une cuillère mélangeant du café avec un peu de lait dans une tasse peut créer un motif en spirale, le compagnon aspire la matière vers lui alors qu'elle tourne autour de l'étoile et façonne le vent stellaire"*, explique Leen Decin.

L'équipe a transposé cette théorie dans des modèles, et en effet : la forme des vents stellaires peut être expliquée par les compagnons qui les entourent. Leen Decin conclut :

***"Toutes nos observations s'expliquent par le fait que les étoiles ont un compagnon"***.

Jusqu'à présent, les calculs sur l'évolution des étoiles étaient basés sur l'hypothèse qu'en fin de vie, les étoiles semblables au Soleil, avaient des vents stellaires sphériques. "Nos conclusions changent ce paradigme. Comme la complexité des vents stellaires n'était pas prise en compte, toute estimation antérieure du taux de perte de masse des étoiles évoluées pouvait être fautive d'un facteur allant jusqu'à 10". L'équipe mène actuellement des recherches supplémentaires pour voir comment cela pourrait avoir un impact sur les calculs d'autres caractéristiques cruciales de l'évolution stellaire et galactique.

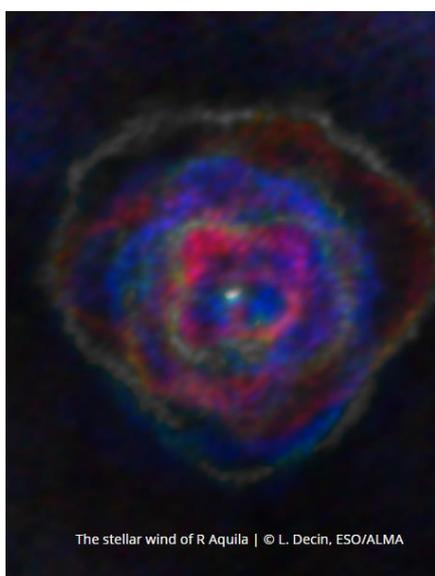
## L'avenir du Soleil

L'étude nous aide également à imaginer à quoi pourrait ressembler le Soleil lorsqu'il mourra dans 7000 millions d'années. *"Jupiter ou même Saturne - de par leurs grandes masses - vont influencer le fait que le Soleil passe ses derniers millénaires au cœur d'une spirale, d'un papillon ou de l'une des autres formes envoûtantes que nous observons pour les nébuleuses planétaires aujourd'hui"*, note Leen Decin. *"Nos calculs indiquent maintenant qu'une spirale peu brillante va se former dans le vent stellaire du soleil quand celui-ci mourra"*.

"Nous étions très enthousiastes lorsque nous avons analysé les premières images", déclare le co-auteur Miguel Montargès (KU Leuven). "Chaque étoile, qui n'était qu'un numéro auparavant, est devenue un individu à part entière. Maintenant, pour nous, elles ont leur propre identité. C'est la magie des observations à haute résolution angulaire : les étoiles ne sont plus seulement des points".

"On savait que la plupart des étoiles vivaient avec un ou plusieurs compagnons, stellaires ou planétaires. Nos observations ALMA montrent que la présence de compagnons va affecter l'éjection de matière par l'étoile en fin de vie de manière drastique. Le gaz ne sera pas éjecté de manière sphérique mais formera les formes complexes observées dans les nébuleuses planétaires.." précise Eric Lagadec (Laboratoire Lagrange, Observatoire de la Côte d'Azur).

Cette étude fait partie du projet **ATOMIUM** (ALMA tracing the origins of molecules forming dust in oxygen-rich M-type stars), qui vise à en apprendre davantage sur la physique et la chimie des étoiles en fin de vie. "Les étoiles évoluées sont considérées comme ennuyeuses, vieilles et simples, mais nous avons démontré qu'elles ne le sont pas : elles racontent le récit de notre futur. Il nous a fallu un certain temps pour réaliser que les vents stellaires peuvent avoir la forme de pétales de rose (voir, par exemple, le vent stellaire de R Aquilae), mais, comme l'a dit Antoine de Saint-Exupéry dans son livre *Le Petit Prince* : "C'est le temps que tu as perdu pour ta rose, qui fait ta rose si importante" conclut Decin.



### Plus d'informations

[La publication dans Science :](https://science.sciencemag.org/content/369/6510/1497)

<https://science.sciencemag.org/content/369/6510/1497>

[L'article de KU Leuven :](https://nieuws.kuleuven.be/en/content/2020/astronomers-capture-stellar-winds-in-unprecedented-detail)

<https://nieuws.kuleuven.be/en/content/2020/astronomers-capture-stellar-winds-in-unprecedented-detail>

### Contacts

Leen Decin, Astronomy Unit, Department of Physics and Astronomy, office: +32 16 32 70 41, mobile: +32 473 46 31 35, email:

[leen.decin@kuleuven.be](mailto:leen.decin@kuleuven.be)

Miguel Montargès, Astronomy Unit, Department of Physics and Astronomy, office: +32 16 32 74 67, email:

[miguel.montarges@kuleuven.be](mailto:miguel.montarges@kuleuven.be)

Pierre Kervella, LESIA, Observatoire de Paris, mobile: +33 6 28 07 65 50, email:

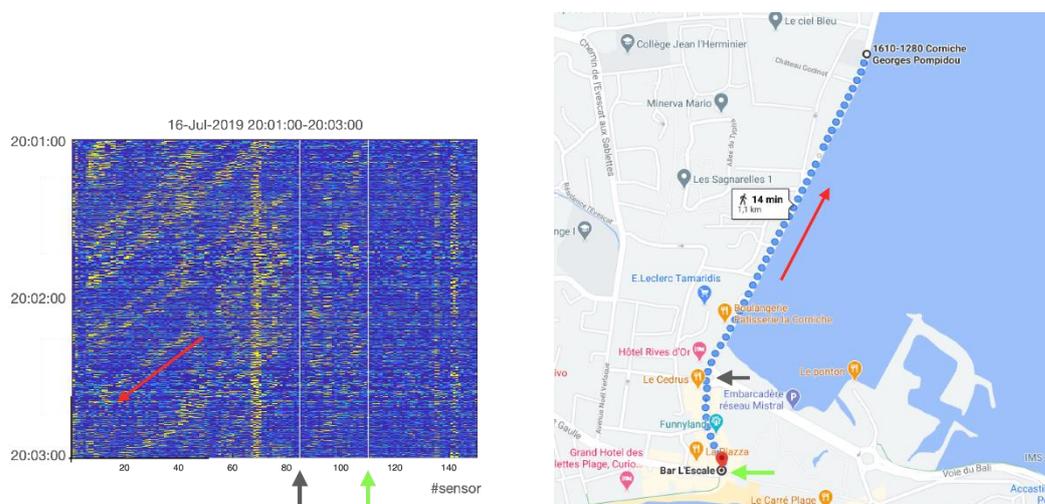
[pierre.kervella@observatoiredeparis.psl.eu](mailto:pierre.kervella@observatoiredeparis.psl.eu)

## Les fibres optiques télécom et l'intelligence artificielle au service des villes et des territoires intelligents

La fibre optique, en plus d'être un moyen de transmission d'informations, est aussi un matériau très sensible aux variations environnementales. Lorsqu'une impulsion de lumière laser traverse une fibre optique, elle interagit avec de minuscules impuretés dans le matériau et une rétrodiffusion optique se produit. Le temps de trajet aller-retour de la lumière fournit les emplacements des interactions et permet de déduire un profil de rétrodiffusion le long de la fibre. Le traitement de cette réponse permet d'estimer les variations locales de température, de déformation ou de pression acoustique sur toute la longueur de la fibre. Cette technique, appelée "Distributed Fiber Optic Sensing" (DFOS), connaît actuellement un intérêt croissant.

Le DFOS présente de nombreux avantages. Les fibres optiques sont peu coûteuses et omniprésentes dans l'environnement quotidien sous forme de fibres noires, c'est-à-dire de fibres redondantes sans lumière pour la communication puisqu'aucun équipement n'y est connecté. Les fibres optiques sont des capteurs passifs dans lesquels la lumière peut être pulsée et analysée à la même extrémité. Elles sont fiables et adaptées à la surveillance sur de longues périodes. Enfin, elles fournissent un profil spatial continu des grandeurs mesurées sur toute la longueur de la fibre, avec une résolution spatiale métrique sur des distances allant de 40 km à 140 km avec certains systèmes. Avec les systèmes DFOS, il est donc possible de surveiller rapidement de très grandes zones, à condition que les données collectées puissent être traitées efficacement. Par exemple, en mode acoustique, les DFOS produisent quotidiennement de l'ordre de 1 To de données par kilomètre. Cela nécessite l'utilisation de méthodes de traitement efficaces capables de reconnaître simultanément plusieurs signatures acoustiques, dans des conditions de faible rapport signal/bruit.

La Chaire 3IA\* portée par l'équipe Signal-Image du laboratoire Lagrange, en collaboration avec le laboratoire Géoazur, a pour objectif de développer une nouvelle technologie au service des villes et territoires intelligents, par DFOS sur les réseaux de fibres optiques de télécommunication existants et l'intelligence artificielle (IA). Les applications visées sont nombreuses. Elles couvrent l'analyse du trafic routier et des réseaux ferrés, la surveillance des infrastructures et la prévention contre les risques naturels tels que les séismes, les glissements de terrain et les crues.



Analyse du trafic routier sur une distance de 1.1 kilomètre avec une résolution de 10 mètres le long de la Corniche Pampidou à la Seyne-sur-Mer, matérialisé par les pointillés bleus sur la figure de droite. Chaque piste jaune sur la figure de gauche représente le déplacement continu d'un véhicule. Au-delà de la flèche verte, sur les 2 figures, la fibre plonge dans la mer et permet d'analyser des événements marins sur plus de 40 kilomètres.

\*La direction du 3IA Côte d'Azur a décidé d'attribuer une chaire sénior qui a débuté en septembre 2020 pour une durée de 4 ans. La chaire intitulée "AI for smart cities monitoring with distributed fiber optic sensing" s'inscrit dans l'axe 4 "AI for smart and secure territories" du 3IA Côte d'Azur.

Contact: Cédric Richard, [cedric.richard@unice.fr](mailto:cedric.richard@unice.fr)

## OCTOBRE

## APOGEE dévoile les étoiles les plus froides du centre galactique

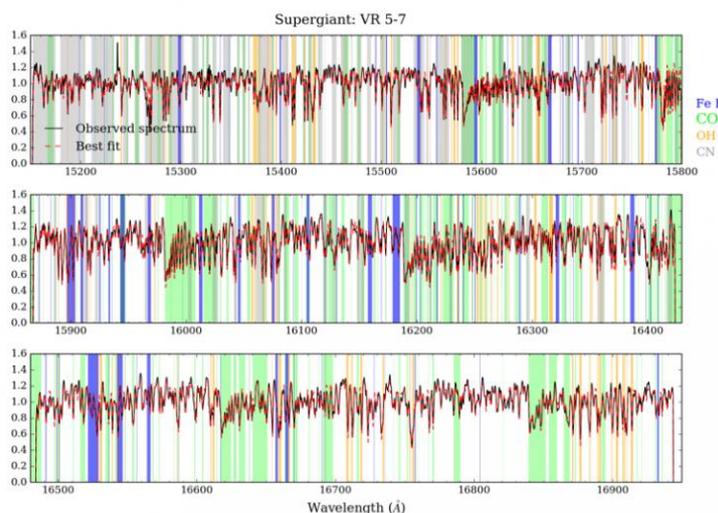
Publication : 08 octobre 2020

Le relevé de l'instrument APOGEE, réalisée dans le cadre du SDSS-IV, est un relevé spectroscopique à haute résolution dont le but est d'analyser environ un demi-million d'étoiles de la Voie lactée et de couvrir toutes les composantes galactiques. En utilisant les dernières observations réalisées dans l'hémisphère sud (Las Campanas, Chili), APOGEE est capable de pénétrer dans les régions les plus obscures de notre galaxie : le centre galactique entouré de son disque stellaire nucléaire (NSD). Le NSD est une structure stellaire dense au centre de la Voie lactée qui cohabite avec l'amas d'étoiles nucléaire et le trou noir central super massif.



Impression d'artiste de la Voie lactée vue de loin et où l'on voit son centre galactique © ESO/NASA/JPL-Caltech/M. Kornmesser/R. Hurt

Dans cette étude, APOGEE révèle pour la première fois des spectres à haute résolution de supergéantes rouges et d'étoiles de la branche asymptotique des géantes (AGB), traceurs d'une population jeune et d'âge intermédiaire du centre galactique. La figure ci-dessous montre le spectre APOGEE de la supergéante rouge VR5-7 (courbe noire), située au centre de notre galaxie, ainsi que le meilleur ajustement des spectres synthétiques du pipeline d'APOGEE (ASPCAP) (courbe rouge). Malgré sa température effective froide de 3200 K et la présence de bandes moléculaires de CN, CO et OH, il est possible de dériver les paramètres stellaires de ces objets extrêmement froids.



Spectre APOGEE de la supergéante rouge VR5-7

Grâce aux abondances chimiques précises de Mg, Si, Ca et O (éléments alpha), les étoiles du NSD ont une signature chimique distincte des autres étoiles de l'amas nucléaire. Alors que ces étoiles sont la preuve d'une récente flambée d'étoiles, les étoiles du NSD, au contraire, ne présentent pas ce comportement car l'histoire de leur formation est différente.

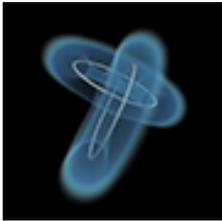
Par ailleurs, la rotation du disque stellaire nucléaire révèle que les étoiles riches en métaux avec des métallicités supérieures ont une vitesse de rotation beaucoup plus élevée que les étoiles pauvres en métaux. Cela pourrait être le signe d'une origine différente des étoiles pauvres en métaux qui auraient pu se former à partir d'amas stellaires perturbés tombant vers le centre de la Voie lactée.

**En savoir plus:** Cool stars in the Galactic Center as seen by APOGEE: M giants, AGB stars and supergiant stars/candidates – Astronomy & Astrophysics M. Schultheis, A. Rojas-Arriagada, K. Cunha, M. Zoccali, C. Chiappini, G. Zasowski et al. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/202038327>

**Contact :** Mathias Schultheis, Laboratoire Lagrange, [mathias.schultheis@oca.eu](mailto:mathias.schultheis@oca.eu)

## La dynamique irréversible des reconnections de vortex dans les fluides quantiques

Publication : 19 octobre 2020



En collaboration avec Davide Proment, [UEA Norwich](#), Angleterre, et Alberto Villois, [U. Bath](#), Angleterre, Giorgio Krstulovic, chargé de recherche CNRS à l'UMR Lagrange ([CNRS-UCA-OCA](#)), a mené une étude sur la reconnexion des vortex quantiques qui a fait la une du journal *Physical Review Letters* la semaine du 15 octobre 2020.

La turbulence que l'on observe dans les océans, l'atmosphère ou simplement dans une tasse de café est constituée par de petits tourbillons ou tornades. Ce sont des zones du fluide très localisées et très intenses dans l'espace. Ces tourbillons, que nous appelons des vortex, sont l'une des structures les plus importantes de tout écoulement turbulent. Ces vortex interagissent entre eux et peuvent se "recombiner" ou se reconnecter. Dans le monde quantique nous trouvons aussi ces vortex dans une classe très exotique de fluides : les superfluides. Les superfluides s'écoulent sans aucune friction, car grâce aux effets quantiques, leur viscosité est nulle. Les tourbillons d'un superfluide sont appelés vortex quantiques et sont très facilement créés quand un superfluide est agité. Depuis quelques années, ces vortex quantiques sont étudiés en laboratoire et ils forment, en quelque sorte, le squelette de la turbulence classique qu'on observe dans la nature. L'hélium à très basse température ou le cœur des étoiles à neutrons sont des superfluides.

En collaboration avec nos partenaires anglais, nous avons montré que lors de leur reconnexion, ces vortex émettent une impulsion sonore pour conserver leur énergie. Cette émission, que nous avons caractérisée mathématiquement, est une preuve de l'irréversibilité du processus de reconnexion des vortex et contraint plusieurs aspects géométriques. Cette étude pourrait aider à comprendre certains événements très violents que l'on observe dans les fluides classiques turbulents comme l'atmosphère ou les océans, elle pourrait nous éclairer par exemple sur la dynamique des tornades.

Ces travaux de recherche ont été financés par l'ANR JCJC GIANTE ANR-18-CE30- 0020-01.

### Référence

**Irreversible Dynamics of vortex reconnections in quantum fluids**, *Physical Review Letters*, 15 octobre 2020, Davide Proment, UEA Norwich, Angleterre, Alberto Villois, U. Bath, Angleterre, Giorgio Krstulovic, chargé de recherche CNRS à l'UMR Lagrange (CNRS-UCA-OCA). <https://journals.aps.org/prl/>

## NOVEMBRE

**HIRES, le spectrographe à haute-résolution qui sera monté sur l'ELT, rentre en pré-phase B en 2021**

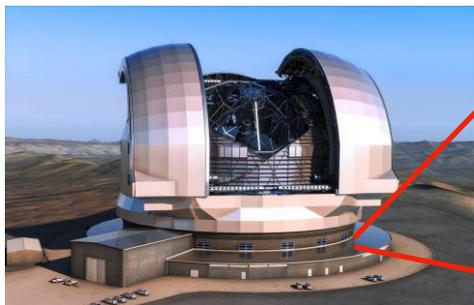
Aux premières lueurs de 2025, le European Extremely Large Telescope (ELT) sera le plus grand télescope terrestre dans les longueurs d'onde visibles et infrarouges. Les cas scientifiques phares soutenant la proposition de construction de l'ELT ont été la détection de signatures de vie dans des exoplanètes semblables à la Terre et la détection directe de l'accélération de l'expansion cosmique. Ce n'est pas une coïncidence si les deux cas scientifiques nécessitent des observations avec un spectrographe à haute résolution.

Le High-REsolution Spectrograph (**HIRES**) est un instrument de deuxième génération de l'ELT. C'est un **spectrographe à haute-résolution** ( $R = 100\ 000$  et  $R = 150\ 000$ ), avec aussi un mode IFU-SCAO. Il couvre le visible et le proche infra-rouge, exactement de 0.35 à 1.8 microns.

Le projet HIRES est issu d'un Consortium de 14 pays, mené par A. Marconi de l'Institut national d'astrophysique italien (INAF). Ce consortium comprend actuellement 34 instituts européens provenant d'Allemagne, Chili, Danemark, d'Espagne, de France, d'Italie, de Pologne, du Portugal, du Royaume-Uni, de Suède, de Suisse. Plus 3 non-membres ESO: le Brésil, l'Université de Montréal et l'Université du Michigan.

**HIRES est un instrument polyvalent** qui peut apporter des résultats clefs pour la caractérisation des exoplanètes, pour la physique théorique, pour la cosmologie, pour la physique stellaire. C'est le seul instrument qui a la possibilité de répondre à deux ambitieuses questions qui ont motivé la construction de ce grand télescope : la détection de signatures de vie dans des exoplanètes semblables à la Terre, et la détection directe de la re-accélération cosmique. C'est un instrument qui couvre des intérêts scientifiques divers : transients extragalactiques, caractérisation des étoiles froides, étude des abondances du deutérium, recherche et caractérisation d'étoiles primitives, mesures des variations de la température du CMB, étude des disques protoplanétaires, recherche de trous noirs de petites masses, étude de la réionisation de l'univers,...

La dernière prospective de l'INSU-AA montre que **HIRES est soutenu par une bonne partie de la communauté française**. C'est un instrument qui a été classé P0 par le PNP (Programme National de Planétologie), et P1 pour les PNPS (Programme National de Physique Stellaire), PNHE (Programme National Hautes Energies), PCMI (Programme National de Physique et Chimie du Milieu Interstellaire) et PNCG (Programme National de Cosmologie et Galaxies), soit cinq des sept programmes nationaux en font une priorité importante. C'est le projet ELT le plus transverse pour la communauté française.



La phase A de l'instrument s'est déroulée avec succès de 2016 à 2018. **Le projet HIRES est actuellement en pré-phase B**, officialisé par l'ESO et le planning actuel mis en avant par le consortium est très agressif avec des phases B (2022) et C (2023) de 18 mois et une phase D de 4 ans. La pré-phase B (2021) a aussi pour objectif de figer les contributions des différents partenaires.

C'est dans ce contexte que le Laboratoire Lagrange s'est engagé pour les années à venir.

Plusieurs collègues au sein du laboratoire ont été en 2020 et seront dans les années à venir activement impliqués: (i) Philippe Berio est devenu membre et représentant français du System Office; (ii) Philippe et Mathilde Beaulieu sont aussi impliqués dans le sous-module LDP pour l'unité de Calibration; (iii) Mamadou N'Diaye, Mathilde Beaulieu et Frantz Martinache ont débuté une étude de faisabilité d'un bras haut contraste pour l'instrument; (iv) dans le cadre de EFISOFT, Sylvain Rousseau s'impliquera à partir de 2022 sur le module Contrôle/Commande; (v) enfin Andrea Chiavassa a continué son travail au sein de l'équipe scientifique de HIRES et a organisé, au mois de Novembre, le premier atelier français qui avait comme objectif de poser les bases pour fédérer la communauté française autour du projet.

## Observation d'une occultation stellaire par l'astéroïde Polymèle depuis le Sénégal

Publié le 18 novembre 2020 – Mis à jour le 22 novembre 2020

Dans la nuit du 23 au 24 septembre 2020, une coopération scientifique internationale, mobilisant des chercheurs sénégalais, belges et français - de l'IRD, du CNRS, de l'Observatoire de la Côte d'Azur, d'Université Côte d'Azur, de l'Observatoire de Paris - PSL et de l'Université Paris-Saclay - a permis d'observer pour la première fois une occultation d'étoile par (15094) Polymèle, un astéroïde troyen de Jupiter. Cette campagne d'observation, qui s'inscrit dans le cadre des préparatifs de la mission spatiale Lucy de la NASA, marque une nouvelle étape pour l'astronomie ouest-africaine.



Coordonnée par la NASA, la mission spatiale Lucy débutera en octobre 2021 pour 12 ans. Son objectif: survoler un astéroïde de la ceinture principale et six astéroïdes troyens de Jupiter, afin d'améliorer les connaissances sur l'origine des planètes et la formation du système solaire. Une étape préparatoire au survol consiste, pour les astronomes, à déterminer la taille et la forme des astéroïdes. Cette mesure s'effectue lors de leur passage devant une étoile, phénomène appelé occultation stellaire.

La nuit du 23 au 24 septembre, des chercheurs ont réussi à observer une occultation stellaire par (15094), Polymèle, le plus petit des six astéroïdes, et qui sera survolé par la mission Lucy en 2027. Parrainée par la NASA et confiée à l'Association sénégalaise pour la Promotion de l'astronomie (ASPA) par Marc Buie (Southwest Research Institute), cette observation a mobilisé une quarantaine de chercheurs, avec le soutien de l'IRD et du CNRS. Quatorze télescopes ont été déployés sur différents sites d'observation dans la région de Fatick et Kaolack, au Sénégal.

La formation intensive des chercheurs à l'utilisation des télescopes mobiles de 20 cm de diamètre et des systèmes d'acquisition, envoyés par la NASA au Sénégal, s'est déroulée les trois nuits précédant l'occultation à Fatick. Malgré le développement d'une vaste cellule orageuse sur la région de Kaolack la nuit de l'observation, la stratégie de déploiement des télescopes s'est révélée efficace pour observer l'occultation stellaire. Les données récoltées permettront d'obtenir une première estimation de la taille de l'astéroïde Polymèle, tandis que la forme de l'objet sera précisée par les prochaines campagnes d'observation.

### Développer la recherche en astronomie au Sénégal

Cette campagne d'observation réussie, réalisée en très large majorité par des astronomes sénégalais, marque une étape importante dans le développement de la recherche en astronomie au Sénégal. Ces actions illustrent un effort coordonné de promotion des sciences astronomiques et spatiales en Afrique, porté depuis 2017 par un consortium international de chercheurs : l'Initiative africaine pour les sciences des planètes et de l'espace.

Lors d'une campagne d'observation en 2018, 50 chercheurs américains, 7 français et 21 sénégalais étaient déjà parvenus à observer la dernière occultation de l'astéroïde Arrokoth, avant son survol en janvier 2019 par la sonde New Horizons .

### Contacts chercheurs :

**Eric Lagadec**, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur (Laboratoire J.L Lagrange) : [eric.lagadec@oca.eu](mailto:eric.lagadec@oca.eu).

**David Baratoux**, planétologue et géologue à l'IRD (laboratoire Géosciences environnement Toulouse à l'Observatoire Midi-Pyrénées) : [david.baratoux@ird.fr](mailto:david.baratoux@ird.fr), **François Colas**, astronome CNRS à l'Observatoire de Paris – PSL (Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides) : [francois.colas@observatoiredeparis.psl.eu](mailto:francois.colas@observatoiredeparis.psl.eu), **Maram Kaire**, astronome, président de l'ASPA : [maramkaire@gmail.com](mailto:maramkaire@gmail.com), **Sylvain Bouley**, planétologue, enseignant-chercheur à l'Université Paris-Saclay (Géosciences Paris Saclay - GEOPS) : [sylvain.bouley@universite-paris-saclay.fr](mailto:sylvain.bouley@universite-paris-saclay.fr).

Une vidéo de l'occultation est disponible pour les médias : <https://videopress.com/v/MCHufqwd>.

## DECEMBRE

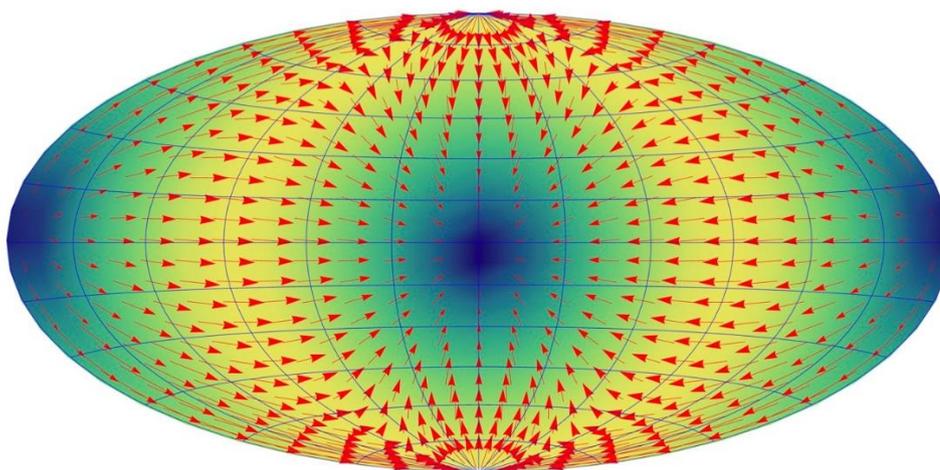
**Le troisième catalogue Gaia, une étape importante pour les chercheur.e.s de l'Observatoire de la Côte d'Azur****Publication : 2 décembre 2020**

Dès son origine, l'Observatoire de la Côte d'Azur a été très fortement impliqué dans la mission Gaia. A l'image de François Mignard, directeur de recherche CNRS, UMR Lagrange (CNRS-UCA-OCA), qui a été le responsable du Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC\*) de sa création en juin 2006 au 30 septembre 2012. François Mignard est aujourd'hui membre du Gaia Science Team.

Depuis plusieurs années, un groupe de chercheurs de l'UMR Lagrange et de l'Observatoire de la Côte d'Azur, aujourd'hui coordonnée par Paolo Tanga, astronome à l'Observatoire de la Côte d'Azur, est mobilisée sur l'analyse des données Gaia et sur la préparation de leur exploitation, des astronomes aux ingénieurs informaticiens. Près de vingt personnels répartis dans les équipes Stellaire, Planétologie et Galaxie du laboratoire œuvrent pour l'exploitation scientifique des données récoltées par le satellite Gaia.

La participation de ces équipes à la préparation du troisième catalogue Gaia (DR3) prévu en 2022 est très significative. Des relevés massifs de paramètres astrophysiques ont été étudiés : étoiles, galaxies et quasars, orbites des objets du système solaire, morphologie des objets extra-galactiques, systèmes binaires. Actuellement, ils se consacrent aux dernières optimisations des programmes informatiques qui produiront le catalogue DR3. Ce travail s'effectue en étroite relation avec le CNES, un centre de traitement du DPAC.

Le jeudi 3 décembre 2020, la mise à disposition de l'EDR3 (Early Data Release 3), première partie du troisième catalogue, concerne les données astrométriques, photométriques et les vitesses radiales. Au sein du Laboratoire Lagrange (CNRS-UCA-OCA), plusieurs aspects de EDR3 ont été traités : de la détermination des vitesses radiales à la validation de la photométrie. Deux articles scientifiques officiels du DPAC avec une forte implication de l'UMR Lagrange seront publiés avec la EDR3 : sur l'accélération du Système Solaire (François Mignard), et sur le voisinage du Soleil en direction opposé au centre galactique (George Kordopatis).



Le mouvement du système solaire par rapport aux quasars lointains contient une signature de l'accélération due aux champs de gravité de la Galaxie. Grâce à la qualité de l'astrométrie Gaia sur les 34 mois d'observation contenus dans EDR3, on a pu mesurer pour la première fois cet effet, en utilisant l'astrométrie de 1.6 millions de quasars. Les flèches dans la figure représentent la direction de l'accélération, légèrement décentrée par rapport au centre galactique. L'amplitude de ce mouvement propre, de 5 micro-secondes d'arc par an, correspond à une accélération de 0.23 nanomètres / s<sup>2</sup>! Un article dédié à cette mesure historique, fait partie des publications officielles de EDR3 (par. S Klioner, F. Mignard et DPAC). *Image credit: ESA/Gaia/DPAC*

### **\*Qu'est-ce que le DPAC ?**

Le DPAC, ou Consortium de traitement et d'analyse des données Gaia, rassemble scientifiques, développeurs de logiciels et spécialistes du traitement des données. Il a la responsabilité du traitement des diverses données de Gaia (données d'opération du satellite et de l'instrument, données astrométriques, photométriques et spectroscopiques) et de la publication des Catalogues Gaia successifs, catalogues intermédiaires et catalogue final qui reprendra le traitement de l'ensemble des données Gaia. Le DPAC est organisé en neuf Unités de Coordination (CU).

### **Les personnels de l'UMR Lagrange (CNRS-UCA-OCA) impliqués :**

#### **Thématique Galaxie :**

Alejandra Recio-Blanco, astronome, est responsable de la chaîne de traitement « GSPSpec » (abondances chimiques et températures).

Patrick de Laverny, astronome, Georges Kordopatis, astronome adjoint, Mathias Schultheis, astronome, collaborent à « GSPSpec ».

He Zhao, doctorant, Gabriele Contursi, doctorant, Pedro Alonso Palicio, post-doctorant et Eloisa Poggio, post-doctorant, développent leurs recherches en relations avec « GSPSpec ».

#### **Thématique planétologie**

Paolo Tanga, astronome, est chargé de la coordination de CU4 pour le traitement des données du Système Solaire au sein du DPAC et responsable du projet Gaia à l'OCA.

Marco Delbo, directeur de recherche CNRS, est responsable du traitement de la spectrophotométrie des astéroïdes.

Francois Mignard, directeur de recherche CNRS, est expert des systèmes de référence, du traitement des petits corps et de la mission Gaia en général.

Joao Ferreira, doctorant, travaille à l'exploitation de l'astrométrie Gaia pour l'étude des occultations stellaires.

#### **Thématique stellaire**

Orlagh Creevey, astronome adjointe, est coordinatrice de la CU8 « Astrophysical Parameters » et responsable de la chaîne de traitement « Flame » (masses et âges des étoiles). Elle a participé à la validation de la photométrie pour la EDR3.

Frédéric Thévenin, directeur de recherche CNRS, est membre de l'équipe de management de la CU6 pour les spectres à haute résolution de l'instrument RVS. Il a été impliqué dans la validation des vitesses radiales dérivées de RVS pour la EDR3. Il travaille également pour la CU8, chaîne de traitement « Flame ».

Andrea Chiavassa, chargé de recherche CNRS, est membre de la CU8 pour les données auxiliaires.

#### **Ingénieur.e.s**

Christophe Ordenovic, ingénieur de recherche, programmation Java, principalement pour des activités de la CU8 (« FLAME », « GSPSpec »)

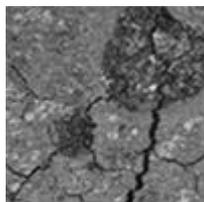
Laurent Galuccio, ingénieur de recherche, programmation Java et support pour la validation pour les thématiques « Solar System Objects » et « Extended Objects ».

Inna Slezak, ingénieure de recherche, support pour les activités de la CU8 et la CU4.

Bernard Pichon, ingénieur de recherche, support scientifique pour « FLAME »

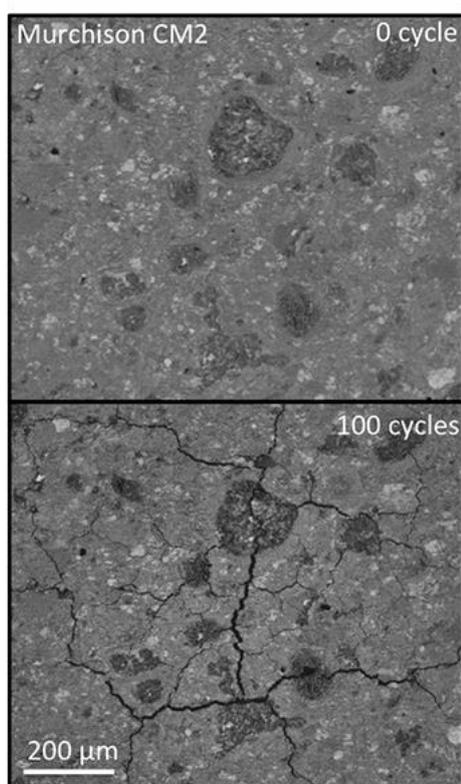
## Endommagement thermomécanique des surfaces des astéroïdes

Publication : 1 décembre 2020



L'Université Côte d'Azur, l'Observatoire de la Côte d'Azur en collaboration avec le Laboratoire Énergies & Mécanique Théorique et Appliquée, l'Institut Jean Lamour de l'Université de Lorraine et le CNRS, ont réalisé une étude sur l'endommagement thermomécanique des surfaces des astéroïdes publiée le 1<sup>er</sup> décembre 2020 dans Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.

Cette équipe scientifique française a montré, à partir d'expériences de cyclage thermique laser sur des météorites primitives, le développement d'un réseau de fissuration à leur surface et que celui-ci dépendait de l'amplitude des cycles thermiques imposés, de la nature des phases hydratées présentes dans ces météorites, de leur abondance modale et des réactions de déshydratation et/ou de déshydroxylation. Pour des chondrites carbonées de type CM, soumises à des cycles de température d'amplitudes similaires à celles rencontrées par les astéroïdes à distances minimales du Soleil, la profondeur des fissures peut atteindre quelques centaines de microns en quelques centaines de cycles de température, augmentant de façon significative la porosité de surface et de sous-surface des échantillons et leur endommagement. L'extrapolation de ce processus sur leurs millions d'années d'évolutions pourrait expliquer la découverte récente des surfaces poreuses de la plupart des blocs de roche observés sur les astéroïdes Ryugu et Bennu par les missions Hayabusa2 (JAXA) et OSIRIS-Rex (NASA), respectivement.



*Illustration : Images au microscope électronique à balayage en électron rétrodiffusé de la surface de Murchison (CM2) avant (0 cycle) et après 100 cycles thermiques ( $\Delta T \approx 280$  K et  $T_{max.} \approx 583$  K). Notez la fissuration importante de la surface après 100 cycles en réponse à l'abondance de phases hydratées de la météorite. © Libourel et al. MNRAS (2020)*

### Bibliographie

[Network of thermal cracks in meteorites due to temperature variations: new experimental evidences and implications for asteroid surfaces.](#) Guy Libourel, Clement Ganino, Marco Delbo, Mathieu Niezgod, Benjamin Remy, Lionel Aranda, and Patrick Michel. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1 décembre 2020

### Contacts

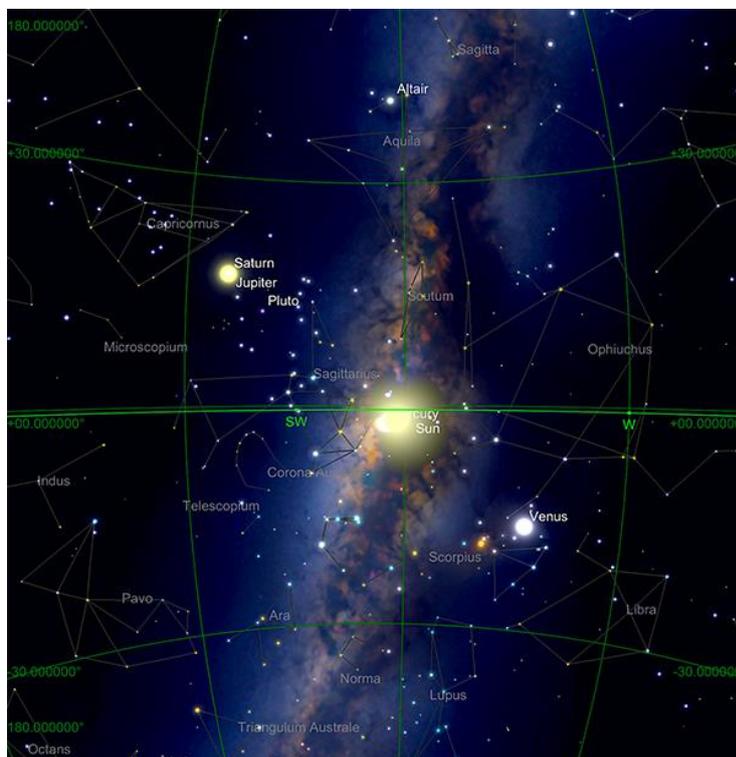
**Guy Libourel**, Université Côte d'Azur, Observatoire de la Côte d'Azur, UMR Lagrange, (CNRS-UCA-OCA) - [libou@oca.eu](mailto:libou@oca.eu)

**Benjamin Remy**, Laboratoire Énergies & Mécanique Théorique et Appliquée, Université de Lorraine, Nancy [benjamin.remy@univ-lorraine.fr](mailto:benjamin.remy@univ-lorraine.fr)

## Jupiter et Saturne se rapprochent le 21 décembre 2020

Publication : 9 décembre 2020

Le 21 décembre 2020 aura lieu un rapprochement remarquable des planètes Jupiter et Saturne, bien visible à l'œil nu en début de soirée, aux toutes premières heures de la nuit. La distance sur le ciel entre les deux planètes sera environ 20% de la taille de la pleine Lune, à tel point qu'il sera difficile de distinguer les deux astres sans l'aide de jumelles. Il s'agit d'un alignement sur la sphère céleste, dans la réalité Saturne se trouve environ 700 millions de kilomètres plus éloignée que Jupiter. **La figure 1** (© Sky Safari) donne l'état du ciel à l'heure du coucher du Soleil le 21 décembre vers le sud-ouest.



**Figure 1 : Le ciel dans la direction du couchant le 21 décembre 2020, avec Jupiter et Saturne confondues dans un disque unique (© SkySafari)**

Les rapprochement angulaires entre les deux planètes se produisent chaque fois que les deux astres se retrouvent pour un observateur terrestre grossièrement dans la même direction sur le ciel, ce que les astronomes nomment techniquement une conjonction. La période orbitale de Saturne étant de 29,5 années et celle de Jupiter de 11,9 années, on peut calculer que Jupiter « rattrape » Saturne tous les 20 ans (19,86 ans très exactement). Si une conjonction entre Jupiter et Saturne a lieu en décembre 2020, cela signifie qu'une autre conjonction a eu lieu en 2000 (le 28 mai très précisément) et qu'une suivra en 2040 (le 31 octobre).

Les plans orbitaux des deux planètes sont légèrement différents et l'orbite de Saturne est inclinée de 1,25 degré sur celle de Jupiter. Lors d'une conjonction, les planètes peuvent se trouver en n'importe quel point de leur orbite, si bien que la distance minimum sur le ciel peut varier entre 0 degré (conjonction juste à l'intersection des orbites) et 1,25 degré, lorsque cette conjonction se déroule à 90° de cette intersection. Tout ceci pour un observateur qui serait situé sur le Soleil. La mouvement de l'observateur le long de l'orbite de la Terre induit quelques petits changements à cette description, mais Jupiter et Saturne sont suffisamment éloignées de nous pour que cette présentation demeure qualitativement correcte.

En 2020, la conjonction est très proche du point d'intersection des deux orbites et le rapprochement des deux planètes est remarquable, avec une distance minimale de 0,1018°, soit 6,1'. Le diamètres angulaire de la pleine Lune étant de ~ 30', c'est donc seulement 20% de ce diamètre. Durant les jours qui précèdent, dès le 10 décembre, il faut regarder vers le couchant et moins d'une heure après le coucher du Soleil, Jupiter (très brillant, aucun risque de confusion) est visible vers le sud-ouest, accompagnée de Saturne légèrement plus à l'est. **La figure (Fig. 2)** ci-dessous montre l'évolution de la séparation angulaire entre les deux astres pour les quelques semaines autour du minimum du 21 décembre. On passe de 1° vers le 13 décembre, à 0,5° le 17 et 0,1 le 21. Ensuite Jupiter passe à l'est de Saturne et la séparation augmente lentement pour atteindre de nouveau 1° le 31 décembre.

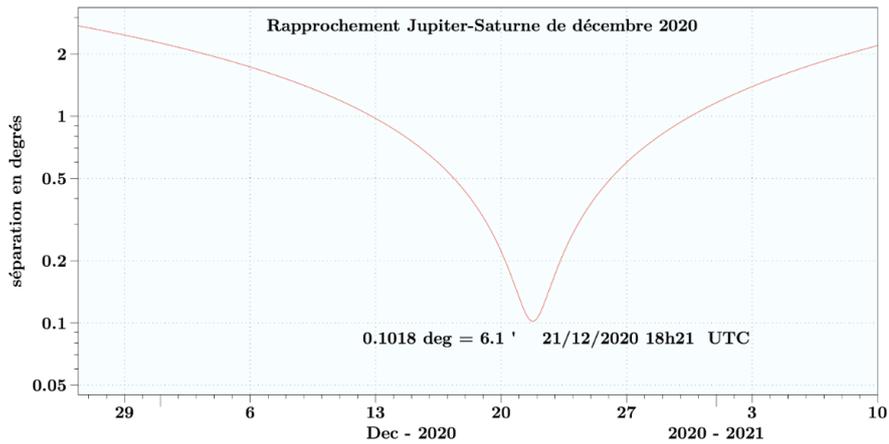


Figure 2 : Evolution de la séparation angulaire entre Jupiter et Saturne en décembre 2020. Le minimum de 0,1018° est atteint le 21 décembre à 19h21 de l'heure légale en France.

En quoi ce rapprochement est exceptionnel. La presse ne manque pas de dire que rien de semblable ne s'était produit depuis 800 ans. Regardons de plus près toutes les conjonctions depuis le début de notre ère jusqu'à l'an 4000, soit 200 événements, puisqu'ils surviennent tous les 20 ans. **Le graphique (Fig 3)** donne pour chaque conjonction la séparation minimale atteinte lors de la conjonction. On retrouve tout d'abord qu'en général elle est de l'ordre de 1°, n'est jamais plus grande que 1,25° en raison de l'inclinaison relative des plans orbitaux. Pour les rapprochement remarquables, il y a quelques valeurs inférieures à 0,1° et l'on voit que pour trouver un rapprochement plus serré que celui de 2020, il faut remonter à 1623 et surtout à 1226, ce dernier étant fréquemment cité dans la presse.

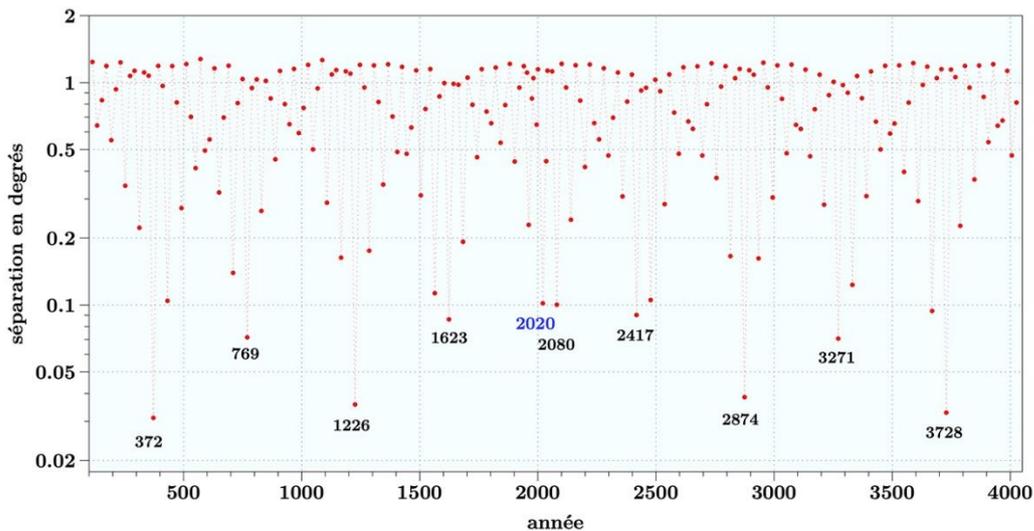


Figure 3 : Conjonctions Jupiter-Saturne sur 4000 ans, avec les distances minimums. Sur les 200 conjonctions sur cette période, environ une dizaine sont comparables ou plus serrées que celle du 21 décembre 2020. La dernière conjonction plus serrée date de 1623, mais était difficilement observable. On retrouve des paires de conjonctions serrées à des intervalles de 60 ans (2020, 2080) résultant du fait que 60 ans correspond à peu près à 2 périodes orbitales de Saturne et 5 périodes de Jupiter.

Il se trouve que lors du rapprochement de 1623 (le 16 juillet) Jupiter et Saturne n'étaient qu'à 13° du Soleil et donc difficiles à observer dans la lumière du couchant, avec au mieux 45 mn entre le coucher du Soleil et celui des deux planètes. Il est possible que personne n'ait pu l'apercevoir. Par contre le 5 mars 1226, Jupiter et Saturne étaient éloignées du Soleil de 50° et le phénomène était bien visible deux heures avant le lever du Soleil (avec en prime Vénus éclatante à quelques degrés). La distance entre les deux planètes n'était que de 2' (0,035 °), et il était impossible à l'œil nu de distinguer les deux astres, étant donné l'éclat de Jupiter par rapport à Saturne.

Dans le futur nous avons la chance d'une répétition dans de très bonnes conditions le 15 mars 2080, au lever du Soleil avec un rapprochement de 0,1 degré. Ensuite il faut patienter jusqu'au 24 août 2417, et se lever aux aurores pour avoir un rapprochement de seulement 0,09°. Mais d'ici là, il se passera bien d'autres phénomènes astronomiques fascinants.

**François Mignard**, directeur de recherche émérite CNRS

## La mission Hera de l'ESA passe en Phase C

La mission spatiale Hera de l'ESA est en développement dans le programme Space Safety de l'agence spatiale, pour lancement en 2024. Elle ira mesurer l'effet de l'impact produit par la mission DART de la NASA sur la lune de l'astéroïde double Didymos, qui constituera le premier test de déviation d'astéroïde. Hera effectuera le premier rendez-vous avec un astéroïde double, ainsi que le premier sondage de la structure interne d'un astéroïde en utilisant un radar basse fréquence à bord d'un Cubesat qui sera déployé par le satellite principal à proximité de l'astéroïde. En plus de ses objectifs de défense planétaire, Hera aura aussi un grand retour scientifique en explorant et en sondant un nouveau petit monde.

L'année 2020 a fait l'objet de plusieurs bonnes nouvelles pour la mission, après son approbation en Novembre 2019 par les Etats Membres de l'ESA lors de son Conseil Ministériel Space19+.

Tout d'abord, l'ESA a attribué mi-Septembre un contrat de 129,4 millions d'Euros à l'industrie en charge de la conception du satellite. Ce contrat couvre la conception détaillée, la fabrication et les tests d'Hera. Ensuite, la mission a passé la revue de conception préliminaire (Preliminary Design Review en anglais, ou PDR) durant l'automne 2020. Le 10 Décembre 2020, le comité de revue a déclaré la réussite de la PDR, et donc, le passage en Phase C de la mission, ce qui constitue une étape très importante. Cette Phase est en effet la phase de conception du satellite proprement dite, pendant laquelle il va être conçu de façon détaillée, après validation de sa conception préliminaire.

Par ailleurs, l'équipe scientifique a été officiellement établie et annoncée, sous responsabilité d'un membre du laboratoire Lagrange, et plusieurs membres du laboratoire impliqués. Patrick Michel est l'Investigateur Principal (PI) de la mission et Benoît Carry est membre de l'équipe scientifique et co-Chair du groupe de travail sur les observations de Didymos. Paolo Tanga participe au groupe de travail sur la dynamique de Didymos, et Yun Zhang (postdoc UCA) fait partie des équipes principales (core team) des groupes de travail sur les modélisations d'impact et de dynamique et propriétés physiques de Didymos. Une partie de l'équipe scientifique fait par ailleurs partie du projet NEO-MAPP, financé par le programme H2020 de la Commission Européenne, coordonné par Patrick Michel, dont l'objectif est d'accompagner le développement d'Hera en soutenant financièrement une partie des activités de l'équipe scientifique et d'autres activités pour des missions futures d'exploration des astéroïdes.

Tous les feux sont donc au vert pour poursuivre avec passion le développement de cette mission et l'aventure spatiale qui en découlera !



Logo de la mission photographié depuis l'ISS par un astronaute de l'ESA.

Pour en savoir plus, interview de P. Michel sur le site de l'ESA:

[https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/France/Entretien\\_avec\\_Patrick\\_Michel\\_investigateur\\_principal\\_de\\_la\\_mission\\_Hera](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/France/Entretien_avec_Patrick_Michel_investigateur_principal_de_la_mission_Hera)

## 100 ans après : MATISSE, déconfiné, revisite Bételgeuse

Publication : 14 décembre 2020



La pandémie due au COVID-19 a fortement perturbé les observations de l'observatoire européen du [Very Large Telescope](#) (VLT) situé dans le désert de l'Atacama au Chili, avec ses grands télescopes de 8 mètres de diamètre. L'instrument [MATISSE](#), construit conjointement par des laboratoires d'astrophysique français, allemands et hollandais, installé depuis 2018 au foyer du VLT, a ainsi été mis en hibernation depuis début mars 2020. A peine remis en service grâce au travail acharné de l'équipe MATISSE depuis début décembre, l'instrument phare de l'Observatoire de la Côte d'Azur à Nice se prépare à recevoir de nouveau la lumière des plus gros télescopes du monde. Mais cette date, aussi importante soit-elle pour l'instrument lui-même et l'intérêt scientifique qui en découle, l'est d'autant plus pour l'étoile que l'on observe : Bételgeuse, la star des étoiles.

Cette nuit du 13 décembre 2020 a marqué le 100<sup>e</sup> anniversaire de la toute première mesure du diamètre d'une étoile, Bételgeuse justement, effectuée par le physicien américain Albert Michelson et son assistant astronome Francis Pease à l'aide d'une technique révolutionnaire pour l'époque: l'interférométrie.

Rappelons que cette étoile brillante a affolé la toile ces derniers mois par sa baisse de luminosité remarquable suivie fin 2019 par tous les observateurs, professionnels et amateurs. Le mystère de cette soudaine et importante [baisse de luminosité](#) commence à être percé par les astronomes, tout particulièrement grâce aux observations effectuées à l'aide de l'instrument MATISSE de début d'année. Le caractère imprévisible de la luminosité de cette étoile supergéante et sa forme actuelle restent des sources d'intérêts scientifiques majeurs, et une priorité pour les astrophysiciens.



© Florentin Millour



© Photo Julien Drevon

En utilisant l'instrument MATISSE, à la pointe de la technologie dans le domaine de l'interférométrie, pour observer Bételgeuse et en faire une image, les astrophysiciens espèrent mieux comprendre comment évoluent les étoiles de même type. La question de son explosion imminente (ou pas) en supernova, comme cela a pu être rapporté dans la presse, devrait être bientôt résolue. Le défi que représentent ces nouvelles observations est donc à la fois historique, technologique et humain ! Gageons toutefois que même après plusieurs siècles d'observation, Bételgeuse nous réservera encore de nombreuses surprises.

## LES EVENEMENTS

### Prix et distinctions

Bernard Pichon nommé "chevalier dans l'ordre national du mérite".

Marianne Faurobert a été promue au grade de chevalier des Palmes académiques lors de la promotion 2019.

### Thèses de Doctorat soutenues en 2020

Félicitations à nos doctorants 2020 !



NOM	PRÉNOM	Sujet de thèse
<b>BOUCHAUD</b>	Kevin	Research: 2D models of fast rotating stars constrained by interferometry and asteroseismology.
<b>BROQUET</b>	Adrien	La lithosphère de Mars.
<b>FERREIRA</b>	Joao	A new approach to stellar occultations in the Gaia era.
<b>GIURIATO</b>	Umberto	Interaction des ondes et des vortex quantiques dans les écoulements turbulents superfluides
<b>HERTEL</b>	Tobias	Exploration numérique de la perte de régularité des solutions d'équations de l'hydrodynamique par des méthodes semi-Lagrangiennes d'ordre très élevé.
<b>HOCDE</b>	Vincent	L'environnement des Céphéides et l'étalonnage des échelles de distances dans l'univers.
<b>LAUGIER</b>	Romain	Observables robustes pour la détection haut-contraste à faible séparation angulaire.
<b>MOSCU</b>	Mircea	Méthodes de traitement et d'apprentissage distribuées et adaptatives pour les mégadonnées sur graphes.
<b>ROBERT</b>	Clément	Étude des disques protoplanétaires: des modèles dynamiques aux données observationnelles.
<b>ROUGEOT</b>	Raphaël	Modeling and computation of diffraction effects for end-to-end performance of high-contrast space optical instrumentation.
<b>SALDANHA</b>	Elisson	Disques et vents des étoiles chaudes: apport de la spectroscopie et l'interférométrie multi-bandes

## Thèses d'Habilitation à Diriger des Recherches en 2020

CREEVEY	Orlagh	Connaissance précise des étoiles pour des applications dans les études de la Voie Lactée et des systèmes exoplanétaires
KRSTULOVIC	Giorgio	La dynamique de vortex et la turbulence dans les superfluides
LAGADEC	Eric	Perte de masse des étoiles évoluées dans la galaxie et le Groupe Local



## Le MASTER MAUCA

MAUCA nouvelle cuvée!

À la rentrée 2020, l'équipe de MAUCA change: le triumvirat Mary-Carbillet-Bendjoya est remplacé par les 3 "C": Crida-Carbillet-Carry. Un énorme bravo et merci à David Mary, Marcel Carbillet, et Philippe Bendjoya pour avoir créé ce Master très attractif, et l'avoir animé durant 5 ans. La nouvelle équipe espère être à la hauteur. On notera toutefois que l'étudiant-promu-professeur Carbillet redouble et reste en M2.

Cette année encore, MAUCA a attiré de nombreux candidats. Cinquante dossiers ont été déposés au printemps, pour seulement douze places disponibles. L'année a commencé presque normalement pour les M1, avec la série de cours fondamentaux en Septembre à Valrose pour presque tous les M1 (sauf une étudiante bloquée dans son pays par les mesures sanitaires, qui devrait arriver finalement début 2021).

Le confinement a fortement impacté la suite, puisque le METEOR de quatre semaines devant se dérouler à C2PU sur la plateaux de Calern a dû être entièrement repensé. Au lieu des deux semaines à Valrose suivies des deux semaines à Calern comme les autres années, deux semaines de cours théoriques/travaux pratiques ont été assurées par Zoom. Ensuite, deux semaines de travaux pratiques sur des données archivées ont pu se dérouler à Valrose, en présentiel.

Nous emmènerons les étudiants observer à C2PU pour quelques nuits plus tard dans l'année, quand la situation sanitaire le permettra.

Pour les M2 qui suivent leurs METEORS (enseignements en immersion dans les laboratoires), le télétravail a été la règle, et le METEOR devant se dérouler à l'étranger après Noël est malheureusement fortement impacté lui aussi par la situation sanitaire.



**Nous espérons revenir à un MAUCA plus normal avec la réouverture des universités début 2021 !**

## Séminaires Lagrange 2020

Organisés par Mamadou N'Diaye et Georges Kordopatis jusqu'en juillet 2020. Le laboratoire tient à les remercier pour l'investissement et l'enthousiasme dont ils ont fait preuve !



A partir d'Aout 2020, les séminaires sont organisés par Claire Michaut, DR CNRS et Nicole Nesvabda, CR CNRS. Merci à elles !



01/12/2020	S. Longmore	University of Liverpool	Ecosystems and Life
24/11/2020	D. Barret	IRAP Toulouse	The X-ray Integral-Field Unit on board the ESA's ATHENA space X-ray observatory: Current status and the initiative of reducing the travel carbon footprint of the project
17/11/2020	A.-L. Maire	University of Liege, Belgium	The challenge of robust measurements of directly-imaged exoplanets and brown dwarfs
03/11/2020	S. Antier	APC Paris, France	Multi-messenger studies with GRANDMA
13/10/2020	B. Bitsch	MPIA Heidelberg, Germany	Formation and composition of giant planets
2020-10-06	P. Alonso Palicio	OCA, France	Bar and bulge of the Milky Way with APOGEE and GAIA
2020-07-07	C. Rampf	OCA, France	Shell-crossing & the origin of the cosmic structures
2020-06-30	J. Zjupa	OCA, France	What makes a 'satellite' galaxy?
2020-06-30	M. Moscu	OCA, France	Online Graph Topology Inference with Kernels
2020-06-23	Y. Zhang	OCA, France	Manufacture of odd-shape small bodies in space
2020-06-16	L. Bugnet	CEA, France	Characterising the surface dynamics and the internal magnetic field to understand red giants evolution
2020-06-09	V. Reville	IRAP, France	Solar and stellar winds origins and their impacts on planetary systems
2020-06-02	R. Church	Lund University, Sweden	M67 Y2235: A star that has eaten a planet?
2020-05-26	M. Delbo	OCA, France	When world fractures
2020-05-26	F. Millour	OCA, France	Eta Car... in twenty minutes
2020-05-19	B. Marcos	Laboratoire Dieudonné, France	Collisional relaxation in long-range interacting systems
2020-05-12	A. Longobardi	LAM, France	The diffuse intra-cluster component in the Virgo cluster
2020-05-05	C. Laporte	KAVLI IMPU, Japan	The impact of massive satellite accretions on the Milky Way

2020-04-28	O. Lai	OCA, France	Optical turbulence: think globally, act locally
2020-03-10	A. Nanni	LAM, France	Investigating the physical processes driving the evolution of gas, metals, and dust in local and high-redshift low metallicity galaxies
2020-03-03	P. Henri	OCA, France	Exploratory space missions: space as a plasma physics laboratory
2020-02-25	N. Porqueres	Imperial College London, UK	Inferring the dynamics of cosmic structures at high-redshift
2020-02-11	P. Mabey	LULI, Ecole Polytechnique, France	Studying the interplay between plasmas and magnetic fields in the laboratory
2020-02-04	M. Turbet	Observatoire de Genève, Switzerland	Characterizing the habitability and climate(s) of Earth-size exoplanets using a hierarchy of numerical climate models
2020-01-29	D. Baratoux	Geosciences Environment Toulouse, Midi-Pyrénées	The African Initiative for Planetary and Space Sciences
2020-01-21	V. D'Orazi	Observatorio di Padova	Spectroscopic characterisation of very young systems in our Galaxy: from stellar clusters, associations, and stars down to sub-stellar objects
2020-01-14	F. Lacasa	IAS, France	Cosmology with galaxies: the small-scale miracle

## Les colloques



Date début	Date fin	Titre	site web
14/10/2020	16/10/2020	<b>Workshop "Wavefront sensing in the VLT/ELT era" 2020, 5th edition (On line)*</b>	M. N'Diaye
18/05/2020	20/02/2020	<b>Colloque sur le code FargOCA</b>	E. Lega
12/03/2020	13/03/2020	<b>MLI (Matière, Lumière et Interactions)</b>	A. Morbidelli
24/02/2020	28/02/20	<b>Insight</b>	M. Wieczorek
11/02/2020	13/02/2020	<b>HARMONI</b>	D. Lecron
06/02/2020	06/02/2020	<b>Kick Off meeting H2020 NEO MAPP</b>	P. Michel

**\*Note :**

Plusieurs membres de l'équipe MPO ont activement participé à l'organisation du workshop en ligne "Wavefront sensing in the VLT/ELT era V/ AO workshop week II", contribuant à la diffusion des connaissances et des échanges au sein de la communauté haute résolution angulaire en cette période de crise sanitaire. L'ensemble des conférences sont publiquement disponibles sur une chaine youtube dédiée: <https://www.youtube.com/channel/UCcInFMxvhSYtwl42GMlc2ZQ>.



Ce colloque a permis de tester de nouvelles solutions numériques visant à optimiser les interactions malgré le format distanciel. Un retour sur expérience est partagé au sein du laboratoire et des partenaires.

## Les nouveaux contrats

### 7 nouvelles ANR obtenues en 2020:

- **André Ferrari** ANR GÉNÉRIQUE 2020 : PRC **DARK-ERA** "Dataflow Algorithm architecture co-design of SKA pipeline for Exascale RadioAstronomy" – Durée 48 mois.
- **George Kordopatis** GÉNÉRIQUE ANR 2020 : PRC **MWDisc** "Getting the record from the disc: A study of the Milky Way disc with WEAVE and Gaia", Coordinateur – Durée 48 mois.
- **Andrea Chiavassa** ANR GÉNÉRIQUE 2020 : PRC **PEPPER** "Physics of cool Evolved stars: from the Photosphere to circumstellar Environment", Coordinateur – Durée 48 mois.
- **Astrid Lamberts** GÉNÉRIQUE ANR 2020 : JCJC **COSMERGE** "Black hole mergers: connecting stellar physics and global star formation", Coordinateur – Durée 48 mois.
- **Olivier Lai** GÉNÉRIQUE ANR 2020 : PRC **I2C** "Intensity Interferometry at Calern", – Durée 48 mois.
- **Alessandro Morbidelli** GÉNÉRIQUE ANR 2020 : PRC **DISKBUILD** "Early planetary formation processes during the assembling of the protoplanetary disk", – Durée 48 mois.
- **Benoit Carry** ANR T-ERC, **SOLIDROCK**, Durée 12 mois.



### Les contrats H2020:



- **Alejandra Recio-Blanco** H2020 **EXPLORE**, Innovative Scientific Data Exploration and Exploitation Applications for Space Sciences, durée 36 mois.  
EXPLORE's main objective is to deploy machine learning (ML) and advanced visualization tools to achieve efficient, user-friendly, realistic exploitation of scientific data from astrophysics and planetary space missions, as well as from supporting ground-based massive surveys. We will focus on six different topics, each chosen for their timely importance and their complementary data structures. This diversity and complementarity is key to a future evolution and growth of the platform that will be relevant and applicable to the broadest possible user-base within the research community. Two of EXPLORE's topics are related to Lunar observation, two to Galactic Science and two to stellar characterization. For each of these topics, the state-of-the-art will be enhanced by introducing ML techniques and advanced visualization tools to support "Human Learning". Project results will be disseminated to a wide range of target communities (astronomy, AI, general public, etc) and prepared for submission as scientific papers. For each topic, specific tools will be created, called Scientific Data Application (SDA) throughout this proposal. These SDAs will be developed on a dedicated cloud solution (the EXPLORE Thematic Exploitation Platform, EXPLORE-TEP). This will be made available also on existing cloud platforms such as ESCAPE Science Application Platform and the ESA Datalabs, close to the input data, and open to the community for direct exploitation-on-demand. These SDAs will also be used by the consortium to produce enhanced scientific datasets for space science mission exploitation, which will be stored in appropriate archives for public access.  
Datasets from Gaia and recent lunar (LRO, Clementine, Chandrayaan, etc) space missions are at the core of the EXPLORE project and will be complemented by previous space missions (IUE, Galex, WISE, etc). Data from ground-based surveys (APOGEE, Gaia-ESO, RAVE, etc) will be used to provide added value to the Gaia and Lunar missions.
- **Benoit Carry** H2020 **NEOROCKS**, The NEO Rapid Observation, Characterization and Key Simulations, durée 30 mois.

NEOROCKS est un large consortium européen dont le but est de caractériser la population des astéroïdes géocroiseurs. Au sein de ce consortium, l'OCA/LAGRANGE est en charge de la fouille d'archive, avec l'engagement d'Alexey Sergeev. Les grands relevés du ciel observent régulièrement de nombreux astéroïdes, présents par hasard dans leur champs de vue. Nous nous sommes intéressés cette année au Sloan Digital Sky Survey (SDSS). En analysant les images, nous avons pu mesurer les couleurs dans le visible de plusieurs centaines d'astéroïdes géocroiseurs, augmentant significativement la connaissance de la composition de cette population par rapport aux programmes d'observations dédiés.

## Et pendant le confinement ?

### Les actions solidaires :

Publication : 17/04/2020 (source UCA)

#### Près de 600 visières de protection distribuées

Devant le manque d'équipement de protection des personnels soignants mais également des personnes travaillant dans les supermarchés, le transport,... la Communauté d'Université Côte d'Azur, à travers plusieurs de ses composantes et de son Fablab, se mobilise depuis fin mars pour fabriquer des visières de protection qui sont mises à disposition gratuitement des structures médicales et salariés d'activités vitales qui en ont besoin.

A partir de modèles homologués par des structures médicales comme par exemple le CHU de Brest, les membres d'UCA, essentiellement des Enseignants Chercheurs de plusieurs composantes et laboratoires (OCA, IUT, Faculté des Sciences, I3S, Fablab@UCA, LJAD) et quelques étudiants, produisent, depuis leur domicile ou en se relayant au Fablab, des visières de protection pour les personnels des Alpes Maritimes et de Monaco qui en ont fait la demande.

Grâce notamment à une connexion avec une association, Shields - Visières solidaires, qui recense les besoins des structures médicales et autres personnels au contact quotidien avec la population, Université Côte d'Azur répond aux demandes qui lui sont remontées en fabriquant quotidiennement des visières de protection.

C'est aujourd'hui une quinzaine de « makers », personnels et étudiants, qui fabrique chaque jour depuis leur domicile ou au Fablab@UCA des visières de protection qui sont ensuite livrées par transporteur, ou récupérées aux domiciles des makers ou au Fablab par les structures qui en ont fait la demande.

A ce jour, nous avons ainsi pu déjà :

- Créer des centaines de visières en impression 3D depuis fin mars
- Tester et faire homologuer un modèle de visière en plexiglas réalisé à la découpe laser permettant un rendement bien plus important qu'à l'impression 3D (50 visières réalisées par jour en plexi versus 25 à l'impression 3D) dont la production est lancée depuis le 8 avril

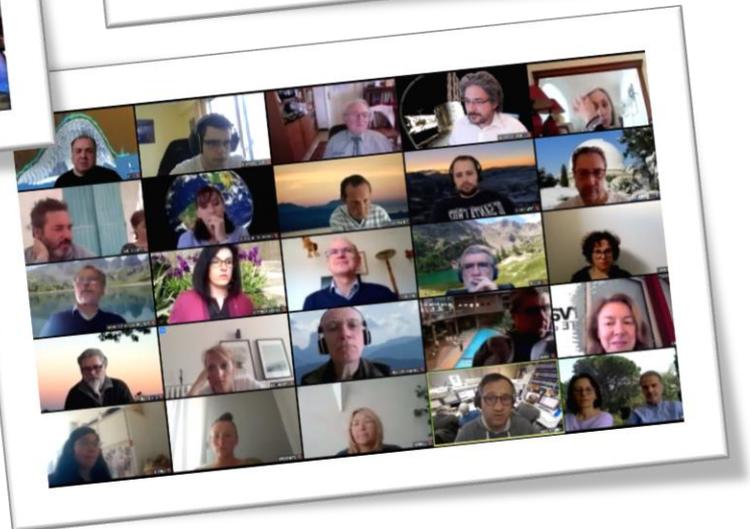
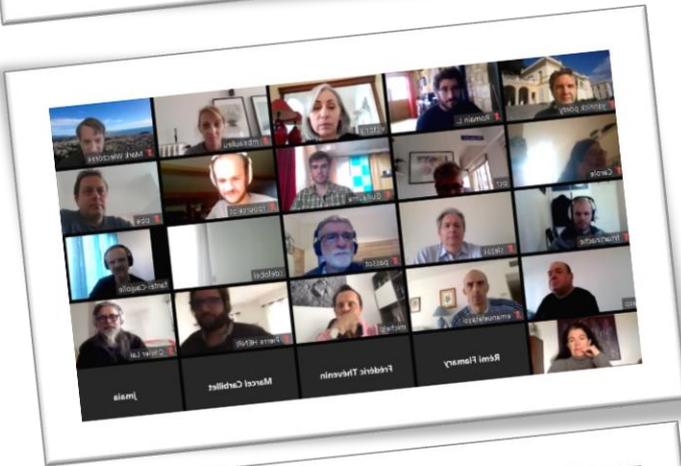
Les bénéficiaires de ces actions sont déjà nombreux : Les CHU Lenal, l'Archet, Cimiez, Pasteur, Mairie de Nice, Ehpad LaCroix Rouge, Ambulances Les Sources et plusieurs Supermarchés (Carrefour,...).



Un article dans Nice Matin pour présenter l'activité de Christophe Baillet, membre du Labo Lagrange dans la fabrication des visières de protection.

## Clins d'œil

### Les cafés virtuels du D.U.



**Conseils de labo, bureaux de direction, réunions administratives**



**Autres moments (avant et entre les confinements) :**

**Un doctorant confiné bien occupé!**

Cette image de la Lune, réalisée par Anthony Salsi, a été obtenue en prenant plus de 15.000 photos ! La méthode utilisée consiste à prendre plusieurs parties de la Lune en vidéo.

La petite taille du capteur de la caméra, couplée à la focale du télescope utilisé (1000mm) fait que seule une partie de la Lune est visible dans le champs.

Anthony Salsi a dû prendre pas moins de huit vidéos pour reconstruire une image entière de la Lune.

Chaque vidéo contient un peu plus de 2.000 images.

Ces images ont été extraites des vidéos, puis il a aligné et empilé 5% des meilleures images (en termes de qualité) pour chaque vidéo.

Anthony Salsi s'est donc retrouvé avec huit tuiles (correspondant chacune à une partie différente de la Lune). Il les a ensuite assemblées pour réaliser cette mosaïque finale de 20 Mpxs !

Les couleurs traduisent de la composition du sol lunaire: les zones bleues/violettes sont riches en titane et en fer, alors que les zones rouges/oranges en sont pauvres. Une chose intéressante : grâce aux missions Apollo, des échantillons collectés dans les zones en nuances de rouge ont montré des traces d'anciennes coulées de lave qui jonchaient le sol lunaire peu après sa formation.



Les étoiles ne peuvent pas être prises en même temps que la Lune, cette dernière étant trop brillante. Anthony Salsi a photographié les étoiles dans une autre zone du ciel, et les a ensuite superposées lors du traitement.

Anthony Salsi a réalisé cette image depuis son petit balcon, en plein centre-ville de Nice ! Il pense que cela peut encourager les intéressés à faire de même, en voyant ce qu'on peut faire avec les "moyens du bord". Anthony veut mettre l'accent sur le fait que l'astronomie est accessible à tous, et depuis n'importe où, et ce malgré les conditions difficiles que nous connaissons actuellement. Sans parler du matériel, qui est bien évidemment coûteux et nécessite une certaine expérience pour réaliser son utilisation, son but est de sensibiliser les gens à la beauté de notre ciel. Prendre une photo de la Lune avec son smartphone révèle déjà des détails impressionnants. Qu'importe l'endroit, les conditions, l'atmosphère, il y a toujours à découvrir.



KERNEL, MATISSE, POLYMELE



JSOCA 2020

Participation de 4 chercheuses et chercheurs du Laboratoire aux Journées Scientifiques de l'OCA 2020

**DU 7 AU 11 DÉCEMBRE  
2020**

**14h**

**14h30**

**LUNDI 7**

**MARDI 8**

**MERCREDI 9**

**JEUDI 10**

**VENDREDI 11**

PROGRAMME

**LUNDI**

*Quentin*  
**BLETERY**  
Chargé de recherche, Géoazur  
**L'intelligence artificielle, ondes gravitationnelles et séismes**

*Astrid*  
**LAMBERTS**  
Chargée de recherche CNRS, Lagrange, Artemis  
**Objets compacts**

**MARDI**

*Margherita*  
**TURCONI**  
Maître de conférences UCA  
**L'avenir des ondes gravitationnelles**

*Mamadou*  
**N'DIAYE**  
Chargé de recherche CNRS (Lagrange)  
**Occultation stellaire au Sénégal**  
Projet mené avec Eric Lagarde, Astronome-adjoint CNAP (Lagrange)

**MERCREDI**

*Olga*  
**SUAREZ**  
Responsable du service d'éducation et de médiation scientifique, Galilée  
**La médiation scientifique et l'éducation à l'OCA : pourquoi et comment ?**

*Pierre*  
**BRIGODE**  
Maître de conférences UCA, Géoazur  
**La crue du 2 octobre 2020 dans les Alpes-Maritimes**

**JEUDI**

*Georges*  
**KORDOPATIS**  
Astronome adjoint, Lagrange  
**Archéologie galactique**

*Michel*  
**LINTZ**  
Chargé de recherche CNRS, Artemis  
**La lumière parasite dans l'interféromètre LISA**

**VENDREDI**

*Karin*  
**SIGLOCH**  
Directrice de recherche externe, Géoazur  
**Sondage de la structure interne de la Terre avec des sismomètres en mer**

*Frantz*  
**MARTINACHE**  
Maître de conférences OCA  
**L'unité de formation**

**SURVEILLEZ VOS COURRIELS POUR RECEVOIR LE LIEN**

**TOUS LES JOURS EN DIRECT SUR ZOOM**

**VOUS POURREZ POSER VOS QUESTIONS DANS LE CHAT ZOOM**



**Laboratoire J.-L. LAGRANGE**  
**UMR 7293**  
*Boulevard de l'Observatoire*  
*CS 34229*  
*06304 NICE Cedex 4*

*Contact : [dir-lagrange@oca.eu](mailto:dir-lagrange@oca.eu)*

Edité en Janvier 2021.