



MEMBRE DE UNIVERSITÉ CÔTE D'AZUR

Rétrospective 2018

UMR 7293



LAGRANGE

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

Table des matières

Préface.....	3
Les grands chiffres (2018)	4
Les temps forts scientifiques de l'année.....	5
JANVIER.....	6
D'énormes bulles à la surface d'une étoile géante	6
FEVRIER	7
La première « étoile » de MATISSE.....	7
MARS.....	11
Une collision catastrophique à l'origine de la comète Tchouri.....	11
La mission Juno mesure la profondeur des vents de Jupiter.....	13
AVRIL.....	15
Deuxième Catalogue Gaia.....	15
MAI	18
Découverte du premier corps du Système solaire d'origine extrasolaire.....	18
JUIN.....	20
Le Soleil serait-il plus gros que ce que prévoit par les modèles ?	20
JUILLET	22
Les chondres des chondrites... comme vous ne les avez jamais vus !	22
AOÛT	24
Les synergies scientifiques entre Ska et Athena dans un livre blanc	24
SEPTEMBRE	25
VIKING : un concept d'instrument interférométrique novateur.....	25
Propriétés universelles ou non-universelles dans la reconnexion des tourbillons quantiques.....	26
OCTOBRE.....	27
Découverte d'une étoile survivante des premiers âges de l'Univers.....	27
Redessiner l'Univers en rayons X.....	29
NOVEMBRE.....	32
Hayabusa2 (JAXA) : Retour d'échantillon de l'astéroïde Ryugu	32
Découverte d'une des étoiles jumelles du Soleil	35
Une nouvelle balance pour peser les trous noirs supermassifs	38
DECEMBRE.....	40
OSIRIS-REx (NASA) : Retour d'échantillon de l'astéroïde Bennu	40
La dynamique atmosphérique des AGB dévoilée par Gaia grâce aux simulations numériques.....	41

InSight : un sismomètre ultra-sensible sur Mars	43
Les évènements	46
Les Talents.....	46
Thèses soutenues en 2018	47
Première promotion du MASTER MAUCA en 2018	48
Séminaires Lagrange 2018.....	49
Les colloques	50
Les nouveaux contrats	51
Les temps forts institutionnels	54
Signature d'un partenariat avec Thales Alenia Space	54
Fête de la Science	55
Journée Scientifique de l'OCA	55
Inauguration du télescope Viscardy	57
Les visites.....	58
Autres moments	58

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

Une pensée pour ceux qui sont partis ces dernières années.

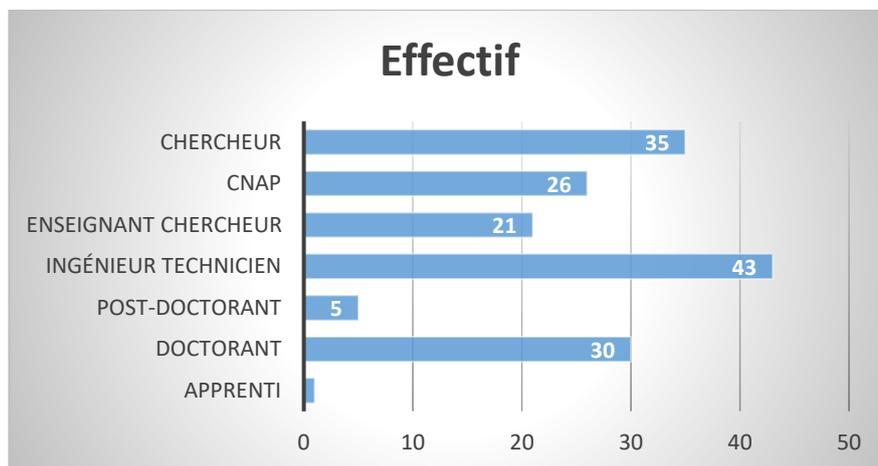
Préface

L'année 2018 qui s'achève a été riche en projets, en découvertes et en résultats spectaculaires témoignant du dynamisme et de l'activité débordante de notre laboratoire. Que ce soit au sol, dans l'espace, sur les centres de calcul nationaux ou autour de la R&D le Laboratoire Lagrange est présent et gagne chaque année un peu plus de visibilité nationale et internationale. Ce succès on le doit essentiellement à vous, chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, techniciens, administratifs, doctorants et post-doctorants qui chaque jour participez, de façon directe ou indirecte, à l'avancée de nos connaissances dans le domaine des sciences de l'Univers. Nous le devons également à nos tutelles (OCA-CNRS-UNS) qui soutiennent nos projets aussi bien financièrement que par les personnels mis à disposition. L'Université Côte d'Azur (UCA) a également largement soutenu les projets ambitieux que nous avons proposés et continuera à le faire sans aucun doute à l'avenir. Ce dynamisme et ce bouillonnement incessant d'idées et de projets fait que nous ne prenons presque jamais le temps de nous poser pour « regarder dans le rétro » et faire un bilan de l'année écoulée. C'est ce que nous vous proposons de faire cette année, grâce à une initiative initiée dans le cadre de la Qualité de Vie au Travail (QVT) qui a valu à notre Laboratoire d'être lauréat de l'appel à projets QVT 2018 par le CNRS (et nous en sommes fiers !) en regroupant sous forme d'un document écrit et illustré un bilan chiffré de nos activités, les temps forts scientifiques ainsi que les événements ayant marqué l'année. J'espère que vous apprécierez autant ce document que nous avons eu plaisir à le rédiger et que vous remarquerez combien l'année a été riche en résultats spectaculaires et originaux. Mais je suis certain que nous ferons encore mieux l'année prochaine et je profite donc de l'occasion pour vous souhaiter une excellente année 2019 remplie de succès professionnels et personnels !

Philippe Stee, directeur du laboratoire Lagrange



Les grands chiffres (2018)



Les temps forts scientifiques de l'année

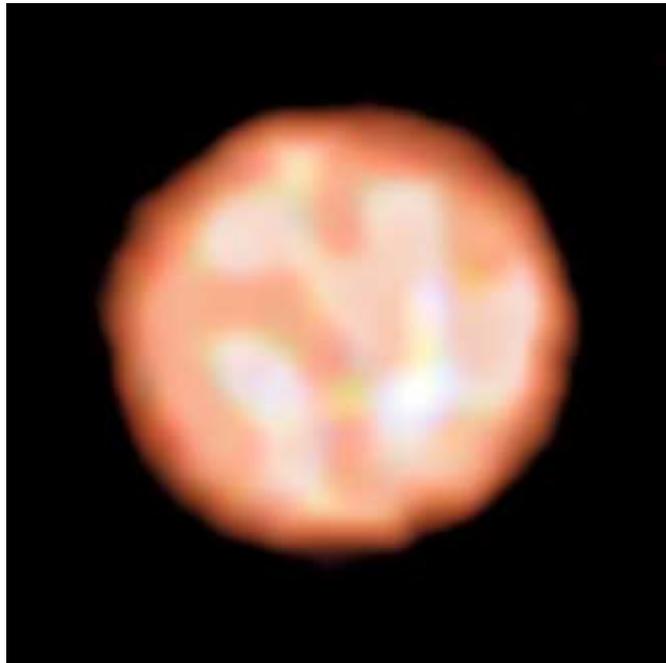
JANVIER.....	6
D'énormes bulles à la surface d'une étoile géante	6
FEVRIER	7
La première « étoile » de MATISSE.....	7
MARS.....	11
Une collision catastrophique à l'origine de la comète Tchouri	11
La mission Juno mesure la profondeur des vents de Jupiter	13
AVRIL.....	15
Deuxième Catalogue Gaia.....	15
MAI	18
Découverte du premier corps du Système solaire d'origine extrasolaire	18
JUIN.....	20
Le Soleil serait-il plus gros que ce que prévoit par les modèles ?	20
JUILLET.....	22
Les chondres des chondrites... comme vous ne les avez jamais vus !	22
AOUT	24
Les synergies scientifiques entre Ska et Athena dans un livre blanc	24
SEPTEMBRE.....	25
VIKING : un concept d'instrument interférométrique novateur.....	25
Propriétés universelles ou non-universelles dans la reconnexion des tourbillons quantiques.....	26
OCTOBRE.....	27
Découverte d'une étoile survivante des premiers âges de l'Univers.....	27
Redessiner l'Univers en rayons X.....	29
NOVEMBRE.....	32
Hayabusa2 (JAXA) : Retour d'échantillon de l'astéroïde Ryugu	32
NOVEMBRE.....	35
Découverte d'une des étoiles jumelles du Soleil	35
Une nouvelle balance pour peser les trous noirs supermassifs	38
DECEMBRE	40
OSIRIS-REx (NASA) : Retour d'échantillon de l'astéroïde Bennu	40
La dynamique atmosphérique des AGB dévoilée par Gaia grâce aux simulations numériques.....	41
InSight : un sismomètre ultra-sensible sur Mars	43

JANVIER

D'énormes bulles à la surface d'une étoile géante

Le bouillonnement de la surface d'une étoile géante rouge n'avait jamais été observé de manière aussi détaillée. Sur la vieille géante rouge $\pi 1$ Gruis, située à 530 années-lumière dans la constellation australe de la Grue, les chercheurs ont observé des bulles de même nature que celles qui couvrent le Soleil, mais qui, même ramenées à la taille de l'étoile, sont 10 000 fois plus vastes. Ces motifs, appelés cellules de convection, sont dus au flux de matière qui monte de l'intérieur vers la surface de l'étoile, de la même manière que les bulles formées par l'eau bouillante dans une casserole.

Cette prouesse technique équivaut à observer les motifs gravés sur une pièce de 1 euro placée à 230 000 km (un peu plus de la moitié de la distance Terre-Lune). Ces résultats, publiés dans *Nature* le 20 décembre 2017, ont impliqué en France des chercheurs du laboratoire Lagrange et de l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble.



Cette nouvelle image acquise par l'instrument PIONIER révèle la présence de cellules convectives à la surface de cette énorme étoile. Chaque cellule couvre plus du quart du diamètre de l'étoile et s'étend sur quelque 120 millions de kilomètres soit 100 fois le diamètre du Soleil ! Crédit : ESO

PIONIER est un instrument conçu et réalisé en 2010 à l'Institut de planétologie et d'astrophysique de Grenoble (CNRS/Université Grenoble Alpes), avec des contributions du Laboratoire d'astrophysique de Marseille (CNRS/Aix-Marseille Université), du CEA-Leti et de l'Onera. Il a été le premier instrument capable de combiner par interférométrie quatre télescopes du Very Large Telescope Interferometer (VLTI) afin de reconstituer des images de la surface ou de l'environnement des étoiles. Sa réalisation a été financée par l'Université Grenoble Alpes, l'Agence nationale pour la recherche, le CNRS et le CNES.

Contacts :

- **Andrea Chiavassa**, laboratoire Lagrange, andrea.chiavassa@oca.eu
- **Jean-Philippe Berger**, institut de planétologie et d'astrophysique (CNRS/Université Grenoble Alpes), responsable de l'instrument PIONIER, jean-philippe.berger@univ-grenoble-alpes.fr

FEVRIER

La première « étoile » de MATISSE

Après 12 ans de conception et de développement en Europe, l'interféromètre MATISSE a été acheminé et installé fin 2017 à l'Observatoire du Very Large Telescope de l'ESO (European Southern Observatory), au Chili. Au cours des tests de février et mars 2018, ce nouvel instrument a pu observer avec succès sa « Première Lumière » stellaire. Cette étape clef, qui fait entrer l'instrument dans sa période de test sur le ciel, est le fruit du travail de douzaines de techniciens, ingénieurs et astronomes en France, en Allemagne et aux Pays-Bas.

Bruno Lopez, responsable scientifique du projet témoigne : *« Cette première lumière consacre un moment important, vécu dans le monde scientifique comme la naissance d'un nouvel instrument d'observation. On peut être très fier et admiratif de l'énorme engagement de l'équipe internationale qui a réalisée l'ensemble des études ainsi que de tout le travail de développement qui s'en est suivi. Ce nouvel instrument va offrir des moissons de résultats et espérons-le de nombreuses découvertes. Ce sont des dizaines de thèses, conduites au sein de nombreux laboratoires et instituts de par le monde, qui vont maintenant pouvoir s'appuyer sur les observations de MATISSE ».*

MATISSE est un instrument de seconde génération du VLTI – I pour mode Interférométrique du VLT - offrant une résolution spatiale équivalente à celle d'un télescope de 150 mètres de diamètre. MATISSE se base sur les techniques d'interférométrie. Celles-ci exploitent les propriétés de la nature ondulatoire de la lumière par le biais de la recombinaison optique de télescopes indépendants.

Les difficultés techniques du mode interférométrique et l'observation dans le domaine de l'infrarouge moyen n'ont permis le développement que de quelques rares interféromètres : le prototype SOIRDETE mis en place par Jean Gay et son équipe à la fin des années 80 sur le plateau de Calern en France, l'interféromètre ISI et l'interféromètre de Keck aux Etats-Unis, et l'instrument ESO-MIDI.

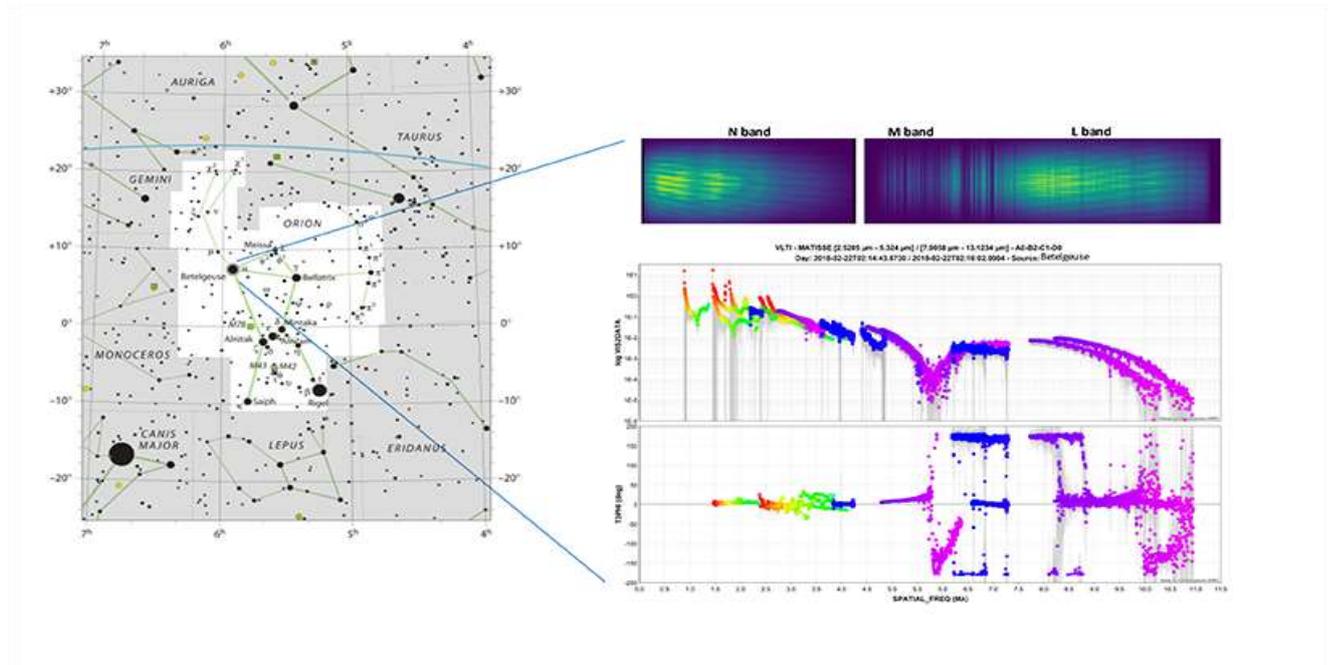
MATISSE dispose de capacités d'imagerie unique au monde en combinant la lumière de quatre des télescopes du VLTI dans deux fenêtres de l'infrarouge moyen : L&M (de 3 à 5 μm de longueur d'onde) et N (de 8 à 13 μm). La résolution angulaire des observations en bande L sera d'environ 3 milliarcsecondes (mas). MATISSE pourra donc accéder à des détails physiques d'une taille inférieure à l'Unité Astronomique pour des objets situés à des distances typiques de 100 parsec. MATISSE dispose également de capacités spectroscopiques, avec une résolution spectrale allant de $R \sim 30$ à $R \sim 5000$; la spectroscopie étant essentielle pour distinguer les atomes et les molécules caractéristiques des étoiles et des galaxies.

Ce nouvel instrument promet donc une moisson de résultats spectaculaires sur la compréhension des processus de formation des planètes, notamment celles de type terrestre, au sein des disques protoplanétaires. MATISSE observera également les régions d'accumulation de poussières autour des noyaux des galaxies actives supposés abriter des trous noirs, ou encore l'environnement et l'atmosphère des étoiles.



Les premières franges de l'instrument MATISSE ont été obtenues sur les bandes de L & N avec 4 AT sur Sirius, le 18 février 2018.

Les premières observations viennent de confirmer le bon fonctionnement de l'instrument. Elles se sont focalisées sur la supergéante rouge Bételgeuse, censée exploser en supernova dans quelques centaines de milliers d'années. Bien que très observée par les techniques d'interférométrie - Bételgeuse a été la première étoile observée et résolue par Michelson en 1920 - elle recèle encore quelques mystères. Les nouvelles observations analysées immédiatement après les observations par Philippe Berio, du laboratoire Lagrange, font apparaître les différentes dimensions de l'étoile à diverses longueurs d'onde. Sur la base de ce type de données, les astronomes étudieront plus en détail l'environnement de gaz et de poussière entourant cette étoile. Des informations précieuses pourront être apportées sur le phénomène de perte de masse affectant cette étoile et la manière dont elle enrichit le milieu interstellaire.



Visualisation des données de Bételgeuse obtenues à partir des premières lumières.

Les capacités de l'instrument sont ainsi uniques au monde. Premièrement, cela ouvrira, pour l'interférométrie, les fenêtres de transmission infrarouges L et M. Deuxièmement, cet instrument est doté d'une imagerie haute-fidélité unique pour l'ensemble des bande L, M et N, réalisée avec quatre Télescopes Unitaires (UT) ou quatre Télescopes Auxiliaires (ATs) du VLTI.



Cette première lumière de MATISSE est un aboutissement et un succès partagé par l'ensemble des laboratoires et instituts partenaires, leur ingénieurs et chercheurs, dont le travail a été coordonné par Pierre Antonelli, Chef de Projet, Stéphane Lagarde, Ingénieur Système et Sylvie Robbe-Dubois responsable de la conduite des tests en Europe et à Paranal. L'équipe niçoise de MATISSE se compose par ailleurs de Philippe Berio, Romain Petrov, Florentin Millour, Fatmé Allouche, Pierre Cruzalèbes, Alexis Matter, Anthony Meilland, Jean-Michel Clausse, Sébastien Morel, Yan-Fanteï, Sylvain Rousseau, Yves Bresson, Christophe Baillet, Florence Guitton, Anthony Soulain accompagnés par l'ensemble des personnels du Laboratoire Lagrange et de l'Observatoire de la Côte d'Azur qui apportent par leur travail quotidien un soutien aux projets de recherche.

Pierre Antonelli souligne : *« L'investissement de chacun et la créativité dans toutes les disciplines – astrophysique, ingénierie système, optique, mécanique, cryogénie, électronique, informatique de contrôle instrumental, logiciel scientifique de traitement de données et de reconstruction d'image - ont été les ingrédients essentiels pour permettre cette innovation instrumentale »*. Sylvie Robbe-Dubois exprime qu'*« Associé à GRAVITY, également en fonction au VLT, MATISSE est un instrument complexe et exigeant : 3 tonnes, 20 mètres cubes, plus de 10 000 éléments confectionnés, assemblés et alignés à mieux qu'un millionième de mètre. »*. Des tests sur 'le ciel' conduits par l'équipe niçoise, plus approfondis, appelés *« commissioning »* et, visant la détermination des performances de l'instrument dans ses différents modes d'observation, continuerons en 2019. Les nombreuses sessions de *« commissioning »* sont organisées par Romain Petrov et Pierre Cruzalèbes. *« Nous pouvons féliciter l'ensemble des membres du consortium international incluant les personnels de l'ESO pour l'installation de l'instrument qui s'est déroulée ces derniers mois et qui nous permet d'envisager le Commissioning dans d'excellentes conditions. Les premiers tests ont été effectués sur la supergéante brillante Bételgeuse. Avec l'utilisation des UTs dès le mois de mars, ce sont les observations des astres plus faibles et les performances de l'instrument qui vont être définies au cours de 2018 »* cite Romain Petrov. Les observations, ouvertes à l'ensemble de la communauté mondiale des astronomes, commenceront au printemps 2019.

À Paranal, Anthony Meilland, notre *« envoyé-spécial »* au Chili, car engagé sous-contrat pour plusieurs mois au sein de l'ESO afin d'accompagner sur place la mise en service de l'instrument, rappelle que : *« Sur le plan international, l'instrument MATISSE et le futur télescope de la NASA appelé le JWST, dont le lancement s'effectuera en 2019, sont complémentaires. MATISSE et l'Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array, appelé ALMA, le sont aussi au niveau de leur couverture spectrale. MATISSE est par ailleurs un précurseur du futur instrument METIS envisagé pour l'Extremely Large Telescope de l'ESO »*.

MATISSE a été conçu, financé et construit en étroite collaboration avec l'ESO, par un consortium composé de laboratoires et d'instituts : français (Laboratoire Lagrange – CNRS-INSU, et, Observatoire de la Côte d'Azur - Université de Nice Sophia-Antipolis, membres de l'Université Côte d'Azur) ; allemands (MPIA, MPIfR et l'université de Kiel) ; hollandais (NOVA et université de Leiden) et autrichiens (Université de Vienne). L'observatoire Konkoly et l'université de Cologne ont aussi apporté leur soutien à la fabrication de l'instrument. Des personnels du Laboratoire IPAG de l'OSUG de Grenoble et du CEA à Saclay contribuent à la préparation des programmes d'observation dits de « temps garanti ».



Contacts :

- **Bruno Lopez**, responsable scientifique, laboratoire Lagrange, bruno.lopez@oca.eu
- **Stéphane Lagarde**, chef de projet, laboratoire Lagrange, stephane.lagarde@oca.eu
- **Marc Fulconis**, chargé de communication à l'Observatoire de la Côte d'Azur, marc.fulconis@oca.eu

MARS

Une collision catastrophique à l'origine de la comète Tchouri

Les comètes composées de deux lobes, comme « Tchouri » visitée par la sonde Rosetta, sont le produit de la ré-accumulation de fragments générés lors de collisions destructrices entre deux comètes. Ces collisions pourraient aussi expliquer certaines des structures mystérieuses observées sur Tchouri. Cette découverte d'une équipe internationale coordonnée par Patrick Michel, chercheur CNRS au laboratoire Lagrange, publiée le 5 Mars 2018 dans *Nature Astronomy* [ref : « *Catastrophic disruptions as the origin of bilobate comets* » Stephen R. Schwartz, Patrick Michel, Martin Jutzi, Simone Marchi, Yun Zhang and Derek C. Richardson. *Nature Astronomy*, le 5 Mars 2018. DOI 10.1038/s41550-018-0395-2]

Depuis Giotto visitant la comète de Halley en 1986, quelques sondes spatiales ont permis d'approcher plusieurs noyaux de comètes. Or, la majorité d'entre eux sont apparus allongés voire formés de deux lobes, comme la célèbre « Tchouri » observée de très près par la sonde Rosetta en 2014 et 2015. Les astronomes considèrent que cette forme étonnante s'explique par la jonction de deux anciennes comètes distinctes. Deux comètes forcément très peu denses et riches en éléments volatiles, donc évoluant très lentement, pour permettre un rapprochement en douceur et un contact qui ne les fasse pas exploser. Pour plusieurs raisons, il est supposé habituellement que ce type de rencontres en douceur ne se produit que dans les premières phases du Système solaire, il y a plus de 4 milliards d'années. Toutefois, un mystère demeure : comment des corps de la taille de Tchouri et aussi fragiles, nés il y a si longtemps, ont-ils pu survivre jusqu'à nous, alors qu'ils sont soumis constamment aux collisions dans les régions où ils évoluent ?

Une équipe internationale, comprenant notamment un chercheur français du laboratoire Lagrange, propose aujourd'hui un tout autre scénario, grâce à des simulations numériques en partie effectuées sur le mésocentre Sigamm à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Celles-ci ont montré que lors d'une collision destructrice entre deux comètes, seule une faible partie de la matière est pulvérisée à haute vitesse, réduite à l'état de poussières. Mais à l'opposé du point d'impact, les matériaux riches en éléments volatiles peuvent résister, et être éjectés à des vitesses relatives suffisamment faibles pour s'attirer et se réaccumuler en formant de nombreux petits corps, qui s'agglutinent à leur tour pour n'en former qu'un seul. Un processus qui ne prend que quelques jours, voire quelques heures ! Et la comète ainsi produite préserve une faible densité et sa richesse en substances volatiles, comme Tchouri.

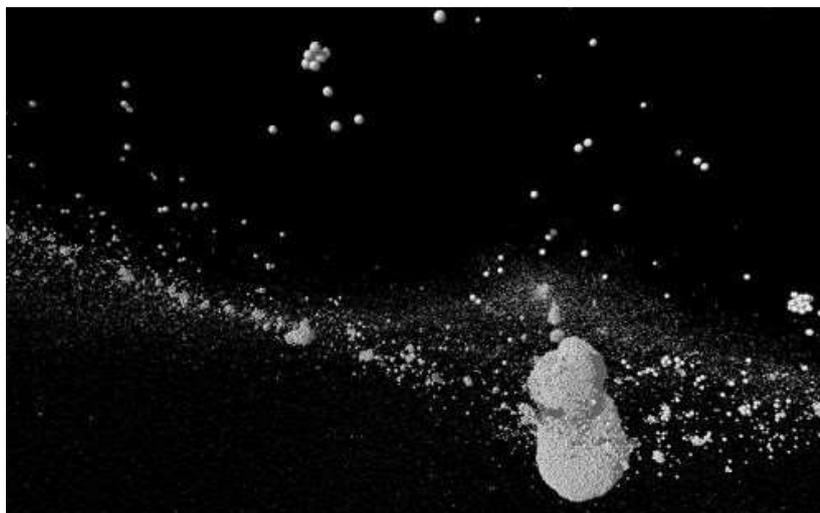


Image de l'étape finale d'une simulation de collision catastrophique de comètes effectuée par les auteurs, montrant l'un des objets formés par réaccumulation des débris de la collision de forme identique à Tchouri. © ESA/Rosetta/Navcam – CC BY-SA IGO 3.0

Ce phénomène serait possible même lors d'impacts à la vitesse d'1 km/s, typique dans la ceinture de Kuiper, l'anneau de comètes situé au-delà de Neptune d'où provient Tchouri.

Ce type de collisions entre comètes se produisant régulièrement, alors Tchouri a pu naître à n'importe quel moment de l'histoire du Système solaire et pas forcément à ses débuts, comme cela semblait acquis, réglant le problème de sa survie pendant si longtemps.

Ce nouveau scénario permet également d'expliquer la présence de trous et de couches stratifiées observés sur Tchouri : ceux-ci se seraient bâtis naturellement lors du processus de ré-accumulation, ou plus tard après sa formation.

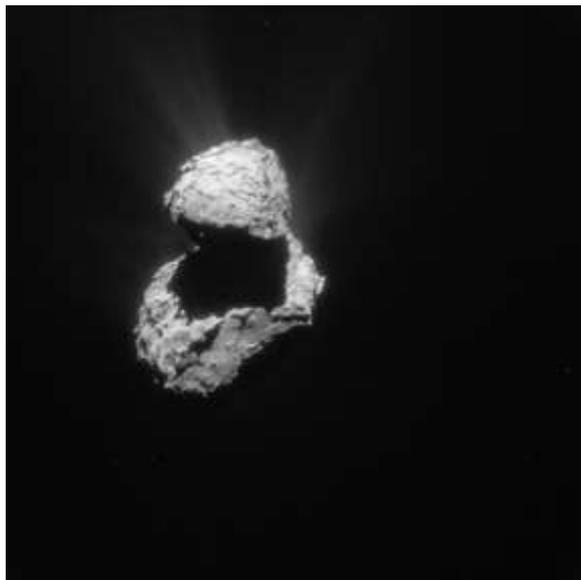


Image de la comète Tchouri prise par la sonde Rosetta © ESA/Rosetta/Navcam – CC BY-SA IGO 3.0

Enfin, lors de la collision à l'origine de ce type de comètes, puisqu'aucune compaction ni échauffement significatif ne se produisent, la composition primordiale est préservée : ces nouvelles comètes demeurent bien des objets primitifs. Même si Tchouri s'est formée récemment, l'analyse de sa matière nous permet bel et bien de remonter aux origines du Système solaire.

Cette étude a bénéficié du soutien financier du CNES et des académies 2 (Systèmes complexes) et 3 (Espace, environnement et risques) de l'Idex Jedi de l'Université Côte d'Azur.

Contacts :

- **Patrick Michel**, Laboratoire Lagrange, patrick.michel@oca.eu
- **Stephen Schwartz**, Université d'Arizona, srs@oca.eu

MARS

La mission Juno mesure la profondeur des vents de Jupiter

Jupiter possède des bandes nuageuses qui tournent à des vitesses différentes. Depuis près de cinquante ans, l'un des problèmes majeurs en planétologie a été de savoir si ces bandes étaient ancrées en profondeur dans l'intérieur de la planète ou au contraire si elles étaient très minces, comme le jet stream dans l'atmosphère terrestre. L'analyse des données de la sonde NASA Juno a permis de résoudre ce mystère : en mesurant le champ de gravité de la planète cent fois plus précisément que ce qui avait été fait jusqu'à présent et en le comparant à des centaines de milliers de modèles d'intérieur de la planète, il a été possible de montrer que ces vents s'étendent à 3000 km de profondeur, et que plus profondément la planète est en rotation uniforme. Ces découvertes permettent de comprendre enfin la dynamique des planètes gazeuses. Elles vont aussi permettre d'analyser pleinement les mesures de la sonde Juno pour contraindre la composition de l'intérieur de la planète. Ces résultats sont présentés dans trois articles de l'édition du 8 mars de la revue Nature.

Grâce à leur précision exceptionnelle, les données de gravité de la sonde Juno permettent de détecter que le champ de gravité de Jupiter est asymétrique : l'attraction de la planète n'est pas la même dans l'hémisphère nord et dans l'hémisphère sud. Ceci est surprenant car Jupiter est une planète fluide : contrairement à la Terre il n'y a pas de surface, ni même d'océan. On s'attendrait à ce que la planète soit à l'équilibre et qu'il n'y ait aucune différence entre les deux hémisphères. Ce n'est pas le cas, comme le montre un premier article dont le premier auteur est Luciano Iess de l'Université Sapienza, Rome. Ceci est le premier signe que les vents de Jupiter sont suffisamment profonds pour modifier la gravité de la planète : en effet, les vents que l'on observe dans l'hémisphère nord sont différents de ceux de l'hémisphère sud.

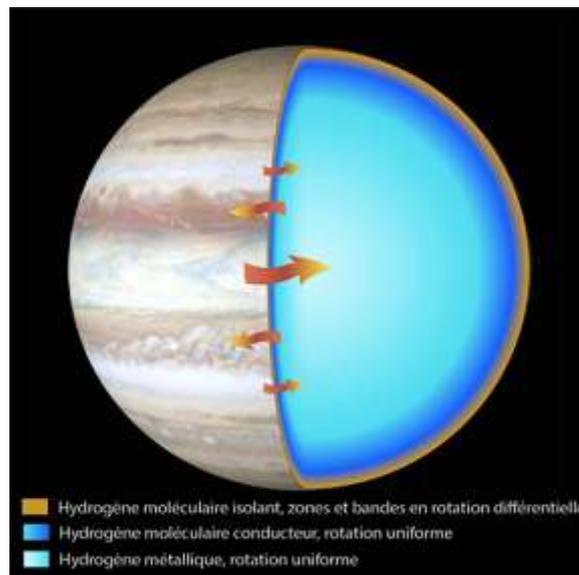


Figure 1: Illustration montrant la circulation au niveau des nuages de Jupiter et dans l'intérieur de la planète. Dans l'atmosphère, on observe des zones et bandes qui ne tournent pas à la même vitesse (ici on soustrait la rotation moyenne de la planète et pour illustrer par des flèches la rotation différentielles de ces zones et bandes qui est de l'ordre de 100 m/s). Les résultats de la sonde Juno montrent qu'en profondeur, sur 3000km, on conserve les zones et bandes vues dans l'atmosphère tandis que plus profondément l'intérieur de la planète tourne à la même vitesse. Ceci s'explique par le fait que l'intérieur de Jupiter est ionisé et est donc forcé par le champ magnétique de la planète à tourner à la même vitesse tandis que ce n'est pas le cas plus près de l'atmosphère où les températures sont plus basses et le milieu est neutre.

L'analyse fine du champ de gravité de Jupiter permet de montrer que l'asymétrie nord-sud s'explique en effet si les vents que l'on observe dans l'atmosphère pénètrent à 3000 km en profondeur, une distance considérable (la masse d'atmosphère entraînée par ces vents est d'environ une fois la masse de la Terre). Cette analyse est présentée dans un deuxième article dont le premier auteur est Yohai Kaspi du Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israël.

Enfin, en utilisant à la fois le champ gravitationnel de la planète et des centaines de milliers de modèles d'intérieur, on confirme indépendamment que les vents s'étendent à 3000 km de profondeur et on montre que plus profondément, la planète est en rotation uniforme. Ceci permet enfin de comprendre les mécanismes qui régissent la rotation à l'intérieur de la planète : sur les premiers 3000km depuis l'atmosphère, des zones et bandes tournent à des vitesses différentes en raison de phénomènes météorologiques. Plus profondément, la température et la pression augmentent, l'hydrogène s'ionise et est entraîné par le champ magnétique très intense de Jupiter. Du coup l'intérieur profond de la planète doit tourner à la même vitesse. Ces résultats sont présentés dans un troisième article dont le premier auteur est Tristan Guillot de l'Université Côte d'Azur, CNRS, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice, France. Ils permettent de prédire que Saturne, qui est moins massive que Jupiter, doit avoir des vents beaucoup plus profonds, jusqu'à 9000km. Les exoplanètes massives et les naines brunes au contraire doivent avoir des vents qui pénètrent moins profondément.

Cette recherche a été possible grâce au soutien du CNRS, du CNES, et de l'Observatoire de la Côte d'Azur. Les modèles d'intérieur de Jupiter ont été calculés sur le Mésocentre SIGAMM à l'Observatoire de la Côte d'Azur. La sonde Juno est pilotée par la NASA et dirigée par Scott Bolton (Southwest Research Institute à San Antonio, USA). Tristan Guillot est directeur de recherches CNRS à l'Observatoire de la Côte d'Azur et co-Investigateur de la mission.

Contact :

- **Tristan Guillot**, laboratoire Lagrange, tristan.guillot@oca.eu, voir aussi les articles du 8 mars 2018 de *Nature*

AVRIL

Deuxième Catalogue Gaia

Le deuxième catalogue Gaia, Gaia-DR2, a été publié le 25 avril 2018 à midi. Il s'agit de la mise à disposition de données la plus importante pour Gaia : la première qui approche la performance finale du relevé, une vraie révolution dans notre connaissance du ciel. La conférence de presse donnée à l'Observatoire de Paris est enregistrée sur YouTube. Des chercheurs du laboratoire Lagrange y ont participé activement pour illustrer les résultats obtenus.

Les données sont disponibles sur le serveur Tap de l'équipe Gaia du GEPI et sur l'archive Gaia de l'ESA.

Beaucoup d'illustrations construites à partir des données de Gaia DR2, et de vidéos, sont disponibles.

Ce nouveau catalogue est basé sur les observations obtenues pendant les 22 premiers mois (668 jours) de la phase opérationnelle de Gaia, du 25 juillet 2014 au 23 mai 2016. On peut rappeler, pour comparaison, que le premier catalogue Gaia, Gaia DR1, publié le 14 septembre 2016, ne reposait que sur les 14 premiers mois de données. Les nombres d'objets publiés dans Gaia DR2 sont donnés ci-dessous : des nombres que l'on ne peut qualifier que de « astronomiques » !!

	Nb de sources dans Gaia DR2	Nb de sources dans Gaia DR1
Nombre de sources avec positions et magnitudes	1 692 919 135	1 142 679 769
Sources avec parallaxes et mouvements propres	1 331 909 727	2 057 050
Sources avec la couleur rouge, G_{RP}	1 383 551 713	—
Sources avec la couleur bleue, G_{BP}	1 381 964 755	—
Sources avec vitesse radiale	7 224 631	—
Courbes de lumière de sources variables	550 737	3 194
Objets du Système Solaire	14 099	—
Sources avec température de surface	161 497 595	—
Sources avec une mesure de l'extinction sur la ligne de visée	87 733 672	—
Sources avec rayons et luminosité	76 956 778	—

Gaia a été conçu pour cartographier plus de 1 milliard d'étoiles dans notre Galaxie et au-delà et obtenir des positions, parallaxes et mouvements propres à un niveau de précision sans précédent, bien au-dessous d'une milliseconde de degré. Les précisions ultimes ne peuvent être atteintes qu'après un traitement informatique complexe utilisant l'ensemble des observations qui seront effectuées par Gaia. C'est pour cette raison que les résultats définitifs

de la mission nominale (5 années) ne seront pas disponibles avant les années 2022. Cependant, un certain nombre de catalogues intermédiaires ont été prévus, s'appuyant sur un nombre de plus en plus grand d'observations, couvrant des périodes de plus en plus longues, donnant de plus en plus d'informations de plus en plus précises.

Le premier catalogue, Gaia DR1, comprenait les positions sur le ciel d'un milliard d'étoiles ainsi qu'une estimation de la distance (parallaxe) et des mouvements propres pour un ("petit") sous-ensemble de 2 millions d'étoiles brillantes. Il a déjà eu un impact important sur la communauté astronomique mondiale et a permis des centaines de publications scientifiques.



Figure 1 : Carte du ciel tracée à partir des positions, éclats et couleurs des 1,7 milliard d'étoiles observées par Gaia entre juillet 2014 et mai 2016. On y distingue clairement le plan de notre Galaxie, la Voie lactée, très riche en étoiles, mais aussi en poussières qui obscurcissent la lumière provenant d'étoiles en arrière-plan. Si on zoome sur n'importe quelle partie de la carte, on voit la multitude de points qui la compose, même dans les zones très peu denses en étoiles (voir figure à très haute résolution, 58,15 Mo ou outil de visualisation sur le site de l'ESA). On y voit aussi, dans la partie droite en bas, les deux taches laiteuses que forment l'ensemble des étoiles observées par Gaia dans les Grand et Petit Nuages de Magellan (©ESA/Gaia/DPAC).

Ce deuxième Catalogue Gaia, Gaia Data Release 2, marque une étape majeure, attendue avec impatience par les astronomes du monde entier car il contient les positions, parallaxes et mouvements propres, ainsi que des magnitudes G pour plus d'1,3 milliard d'étoiles. Il contient également, pour la grande majorité de ces sources, une mesure de la couleur de chaque étoile, obtenue à partir des magnitudes G_{BP} et G_{RP} .

Autre avancée essentielle : cette deuxième version du catalogue Gaia comprend aussi des vitesses radiales pour plus de sept millions d'étoiles ; des estimations de la température pour environ 160 millions d'étoiles ; des courbes de lumière pour plus d'un demi-million d'étoiles variables, y compris des Céphéides et des RR Lyrae ; et la position de plus de 14 000 astéroïdes - sur la base de plus de 1,5 million d'observations.

Gaia DR2 représente un saut en quantité et qualité par rapport à Gaia DR1, avec des avancées spectaculaires, mais aussi encore un certain nombre de limitations en complétude et en précision :

1. Les données astrométriques, pour plus de 1 300 000 000 d'étoiles, sont obtenues à partir des seules données Gaia (contrairement à celles de Gaia DR1 qui utilisaient le catalogue Tycho-2). Elles sont limitées à l'intervalle de magnitude $G \approx 3$ à 21, avec des incertitudes sur les parallaxes variant de 0,04 milliseconde de degré (mas) pour les sources plus brillantes que $G=15$, environ 0,1 mas pour les sources de magnitude $G=17$, et environ 0,7 mas pour $G=20$. Les incertitudes sur les composantes des mouvements propres sont respectivement, pour les mêmes magnitudes : 0,06 mas/an, 0,2 mas/an et 1,2 mas/an.

2. Pour la première fois, des données du spectrographe RVS (Radial Velocity Spectrometer) sont publiées : les vitesses radiales pour plus de 7 millions d'étoiles entre les magnitudes $G=4$ et 13 et pour des températures effectives entre 3550 et 6900 K (soit approximativement entre les types spectraux K et F3), avec une précision variant de $200-300$ m/s pour les plus brillantes à environ $1,2$ km/s pour les étoiles les plus faibles de température effective 4750 K et environ $2,5$ km/s pour les étoiles les plus faibles et de température effective 6500 K.
3. Les magnitudes G , pour plus d'un milliard et demi d'étoiles, ont des précisions allant de 1 milli-magnitude pour les étoiles plus brillantes que $G=13$ à environ 200 milli-magnitudes pour les étoiles de $G=20$.
4. Les magnitudes G_{BP} et G_{RP} pour plus d'1,3 milliard d'étoiles, ont des précisions allant de quelques milli-magnitudes pour les étoiles plus brillantes que $G=13$ à environ 200 milli-magnitudes pour les étoiles de $G=20$.
5. Une définition précise des courbes de transmission pour les magnitudes G , G_{BP} et G_{RP} est disponible.
6. Les courbes de lumières de beaucoup plus d'étoiles sont publiées : pour plus de $500\,000$ étoiles variables (Céphéides, RR Lyrae, Mira et semi-régulières et bien d'autres) contre environ 3200 dans le Gaia DR1.
7. Pour la première fois, des positions en fonction du temps sont publiées pour plus de $14\,000$ astéroïdes.
8. La température des atmosphères de plus de 160 millions d'étoiles ont pu être estimées.
9. Les identifications croisées avec d'autres grands catalogues (Hipparcos, Tycho-2, 2MASS, SDSS DR9, etc.) sont aussi disponibles.

La DR2 représente aussi un énorme succès pour le laboratoire Lagrange, qui a été impliqué sur plus de 20 ans dans la mission, pour préparer la révolution qui a lieu avec la récente mise à disposition de données. En particulier, plusieurs chercheurs ont contribué aux résultats de la DR2 concernant les observations du Système Solaire (dont le laboratoire Lagrange est responsable à travers l'Unité de Coordination 4 et 9 du DPAC), les paramètres du système de référence et les paramètres physiques des étoiles.

Des chercheurs du laboratoire Lagrange sont premiers auteurs du premier article du consortium DPAC qui illustre les propriétés des données du Système Solaire de la DR2 [ref. : *Gaia collaboration : Spoto, F., Tanga, P., Mignard, F. et al. "Gaia Data Release 2. Observations of solar system objects", Astronomy & Astrophysics, 616, A13*].

Quelques mois plus tard de la parution de DR2, la responsabilité de l'Unité de Coordination 8 est aussi passé à une chercheuse du laboratoire Lagrange, Orlagh Creevey, une belle reconnaissance pour l'implication du laboratoire dans Gaia. La DR2 a ainsi mis les bases pour le travail, de plus en plus pointu et complexe, qui va avoir lieu au sein du laboratoire Lagrange pour les publications de données à venir dans les prochaines années.

Contacts :

- **Paolo Tanga**, Laboratoire Lagrange, paolo.tanga@oca.eu
- **Orlagh Creevey**, Laboratoire Lagrange, orlagh.creevey@oca.eu

MAI

Découverte du premier corps du Système solaire d'origine extrasolaire

L'astéroïde 2015 BZ509 est le tout premier corps du Système solaire dont l'origine extrasolaire est démontrée : une découverte étonnante réalisée par le Fathi Namouni, chercheur au CNRS et sa consœur brésilienne Helena Morais, publiée le 21 mai 2018 dans *MNRAS* [Ref. «*An interstellar origin for Jupiter's retrograde co-orbital asteroid*» DOI: <https://doi.org/10.1093/mnras/sly057>].

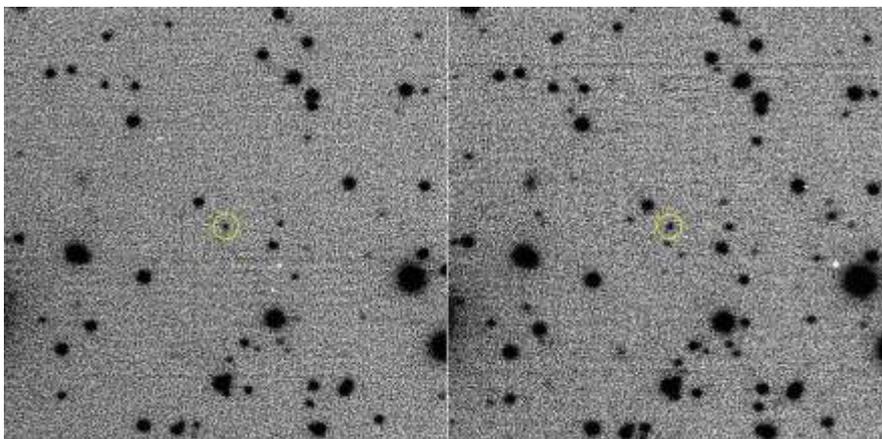
Certains corps de notre système solaire pourraient-ils provenir des environs d'autres étoiles ? Les astronomes sont divisés sur le cas des comètes, dont certains imaginent qu'elles puissent s'être formées autour d'autres étoiles avant d'être capturées par notre Soleil... sans l'avoir jamais prouvé. Quant au cas célèbre d'Oumuamua, un astéroïde frôlant la Terre en 2017, il provenait certes d'un autre système solaire mais ne faisait que passer, tel un touriste, et poursuivre son chemin vers d'autres mondes.

L'astéroïde 2015 BZ509, lui, est bien un membre permanent du Système solaire... mais il n'y serait pas né, comme le démontrent les calculs d'Helena Morais, chercheuse à l'Unesp au Brésil, et Fathi Namouni, chercheur CNRS au laboratoire Lagrange.

2015 BZ509, découvert par les télescopes Pan-Starrs à Hawaii en 2014, fait environ 3 km de diamètre. Il occupe l'orbite de Jupiter et tourne autour du Soleil à la même vitesse que la planète géante. Mais il le fait... en sens inverse. Or les astéroïdes qui ont de telles orbites rétrogrades se trouvent habituellement dans les confins du Système solaire. Seuls certains d'entre eux, les Centaures, s'aventurent occasionnellement vers les planètes géantes pour n'y séjourner que quelques millions d'années.

Intrigués par ce particularisme, Fathi Namouni et Helena Morais ont retracé l'orbite de 2015 BZ509 par simulation numérique, de septembre 2017 à février 2018, en utilisant le Mésocentre Sigamm, installé à l'Observatoire de la Côte d'Azur. Ils ont pu ainsi remonter durant 4.5 milliards d'années jusqu'à la naissance du Système solaire. Surprise : 2015 BZ509 a toujours eu une orbite rétrograde, même aux premiers temps du Système solaire, alors qu'à cette époque, absolument tous les astéroïdes et planètes tournaient autour du Soleil dans le même sens. Cela implique que 2015 BZ509 n'est pas originaire de notre système solaire et qu'il a dû naître dans un système stellaire voisin avant d'être capturé par Jupiter.

Une immigration tout-à-fait possible car l'amas d'étoiles original dans lequel le Soleil s'est formé contient des étoiles possédant leurs propres planètes et astéroïdes. La grande proximité de ces étoiles, combinée aux forces gravitationnelles des planètes, a pu permettre à ces systèmes stellaires d'attirer, d'enlever et de se capturer des astéroïdes les uns des autres.



Ces deux images de 2015 BZ509 obtenues avec le Large Binocular Telescope Observatory confirment son orbite rétrograde (Crédit: Christian Veillet, Large Binocular Telescope Observatory).

2015 BZ509 est donc le premier astre du Système solaire dont l'origine extrasolaire a été identifiée. Mais la liste pourrait bientôt s'allonger. En effet, pour mener cette simulation, les deux chercheurs ont créé numériquement un essaim d'un million de clones de 2015 BZ509 évoluant dans les mêmes conditions. Au fil du temps, la majorité d'entre eux sont restés stables sur leur orbite, beaucoup d'autres sont « tombés » vers le Soleil. Mais quelques-uns de ces astéroïdes virtuels ont été expulsés sur une orbite polaire, à la perpendiculaire du plan où se trouvent les orbites des planètes. Or, des astéroïdes en orbite polaire existent bel et bien aujourd'hui : ils ne sont qu'une dizaine, au-delà de Neptune, la plus éloignée des planètes. Des candidats désormais sérieux pour rallonger la liste des corps extrasolaires du Système solaire.

Comprendre exactement quand et comment 2015 BZ509 a migré dans le Système solaire permettrait de mieux connaître l'environnement originel du Soleil et de fournir des indices supplémentaires sur l'enrichissement potentiel de notre environnement primaire avec des composants nécessaires à l'apparition de la vie sur Terre.

Contacts :

- **Fathi Namouni**, laboratoire, Lagrange, fathi.namouni@oca.eu
- **Julien Guillaume**, CNRS presse, julien.guillaume@cnrs-dir.fr, +33 (0)1 44 96 46 35

JUIN

Le Soleil serait-il plus gros que ce que prévoit par les modèles ?

La nouvelle définition du rayon solaire adoptée par l'UAI en 2015 confrontée aux observations directes

En 2015, l'Union Astronomique Internationale (UAI) a adopté une nouvelle valeur nominale du rayon solaire fixée à 695 700 km et qui doit être utilisée lorsque l'on exprime la taille d'un objet observé en unité de rayon solaire [Ref. : Prša, A., Harmanec, P., Torres, G., et al. 2016, *AJ*, 152, 41]. La précédente valeur adoptée par l'UAI, 696 000 km [Ref.: http://www.iau.org/static/resolutions/IAU1976_French.pdf], correspondait au rayon photosphérique qui peut être mesuré directement par le point d'inflexion dans la courbe donnant la diminution de l'intensité lumineuse au bord du disque solaire mesurée dans le continuum.

La nouvelle valeur nominale choisie revient à changer la définition du rayon solaire en considérant que la « surface » du Soleil est le lieu où la température atteint la température effective du rayonnement solaire. La détermination de ce niveau dépend de la modélisation et n'est donc pas mesurable directement. Il correspond cependant au « rayon sismique » qui peut être évalué indirectement par l'héliosismologie. Les calculs de transfert radiatif sur lesquels sont basés la résolution de l'UAI prédisent un rayon photosphérique supérieur de 333 ± 8 km au rayon nominal [Ref. : Haberreiter, M., Schmutz, W., & Kosovichev, A. G. 2008, *ApJ*, 675, L53].

En utilisant les mesures dans le continuum photosphérique de l'instrument SODISM de la mission spatiale PICARD et les mesures au sol de SODISM II, une équipe de chercheurs du LATMOS et de l'OCA montre que les mesures directes les plus précises du rayon solaire photosphérique sont supérieures aux prédictions déduites du transfert radiatif et de la valeur nominale actuelle.



© CNES - Mars 2008 Illustration D. Ducrocq

Figure 1 : Instrument PICARD/SODISM à bord du satellite PICARD. Crédits : CNES.

Détermination absolue du rayon solaire

En 2012, l'instrument SODISM à bord du satellite PICARD a observé le passage de Vénus. Cet événement astronomique a permis une détermination précise du rayon photosphérique à 535.7, à 607.1 et à 782.2 nm. Depuis le sol, sur le site de Calern de l'Observatoire de la Côte d'Azur, des observations systématiques sont menées depuis 2011 en utilisant le modèle de qualification de l'instrument SODISM, appelé SODISM II. Ce télescope de type Ritchey-Chrétien opère dans les mêmes longueurs d'onde que SODISM mais aussi dans le proche infra-rouge à 1025 nm où les effets de la turbulence atmosphérique sont moindres.

Un moniteur de turbulence diurne a par ailleurs été développé pour compléter l'interprétation des images au sol de SODISM II [Ref.: *Ikhlef, R., Corbard, T., Morand, F., et al. 2016, MNRAS, 458, 517*]. L'analyse statistique d'environ 5000 images par an et par longueur d'onde acquises au sol a permis d'atteindre des niveaux de précision comparables à ceux obtenus dans l'espace sur une période plus courte. Ces analyses montrent que l'ensemble des mesures dans le continuum sont compatibles, indépendamment de la longueur d'onde utilisée, avec la valeur estimée à 607.1 nm soit $696\,156 \pm 145$ km [Ref.: « *Solar radius determined from PICARD/SODISM observations and extremely weak wavelength dependence in the visible and the near-infrared* », *M. Meftah, T. Corbard, A. Hauchecorne, F. Morand, R. Ikhlef, B. Chauvineau, C. Renaud, A. Sarkissian, L. Damé, A.&Ap 2018, DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732159>*].

Ce résultat reste marginalement compatible à un écart-type avec la valeur nominale adoptée par l'UAI si l'on prend en compte la différence entre rayon sismique et rayon photosphérique prédite par la modélisation et le transfert radiatif. Elle tend cependant à montrer une différence avec le rayon sismique systématiquement supérieure à celle prédite, ce qui pourra motiver de nouvelles modélisations plus réalistes de la photosphère par exemple avec des codes magnéto-hydrodynamique 3D.



Figure 2 : Instruments de la mission PICARD SOL – Calern. Crédits : LATMOS et OCA

Perspectives

La comparaison entre les séries de mesures acquises au sol depuis 7 ans et celles obtenues dans l'espace sur une courte période (2010-2013) montre que l'analyse statistique des données sol permet d'atteindre une précision équivalente à celle obtenue hors atmosphère. Cela justifie la poursuite sur le plus long terme de la surveillance solaire au sol d'un point de vue astrométrique pour étudier notamment les variations relatives des rayons photosphériques et sismiques au cours du cycle d'activité magnétique et sur le plus long terme.

L'équipe du LATMOS et de l'OCA qui mène ce programme s'associe à l'Observatoire de Paris pour développer en parallèle un suivi temps-réel de l'activité magnétique observée dans la chromosphère avec un moniteur H-alpha. Ce programme nommé METEOSPACE [Ref.: *Corbard, T., Malherbe, J. M. et al., 2016, Journées de la SF2A 2016., Lyon, France, p. 293*] viendra compléter le programme de surveillance solaire entamé dès 1974 par Francis Laclare sur le plateau de Calern pour ce qui concerne l'astrométrie et depuis plus de cent ans à Meudon avec notamment les images du spectro-héliographe pour ce qui concerne l'imagerie H-alpha de la chromosphère.

Ces programmes sont soutenus par le Programme National Soleil-Terre (PNST) du CNRS-INSU.

Contacts :

- **Thierry Corbard**, laboratoire Lagrange, thierry.corbard@oca.eu
- **Mustapha Meftah**, LATMOS, mustapha.meftah@latmos.ipsl.fr

JUILLET

Les chondres des chondrites... comme vous ne les avez jamais vus !

Les chondres, sphérules infra-millimétriques composées de minéraux silicatés de haute température, sont les constituants majeurs des météorites primitives : les chondrites (fig. 1). Ils se sont formés dans les 5 premiers millions d'années de la vie de notre système solaire. Ils présentent d'importantes variabilités texturales et chimiques révélatrices d'une histoire complexe au sein du disque protoplanétaire.

Grâce à l'utilisation de la cathodoluminescence, deux chercheurs du laboratoire Lagrange et du Centre de Recherche sur l'Hétéro-Epitaxie et ses Applications (UPR10-CNRS, Valbonne) ont mis à jour de nouvelles structures internes dans les olivines pauvres en fer des chondres, jamais observées. Ces observations fournissent les preuves d'une croissance épitaxiale à haute température des olivines des chondres à partir du gaz. La cristallisation des chondres, leur texture et leur composition sont donc définies par le degré d'interaction à haute température du liquide silicaté avec le gaz environnant, et non par divers taux de refroidissement comme souvent invoqué. Les chondres sont donc interprétés comme des sondes locales de l'environnement gazeux du disque protoplanétaire dans lequel ils se forment ; des pressions partielles élevées de Mg et de SiO gazeux étant nécessaires pour maintenir la saturation en olivine des chondres. Ces résultats et leurs nombreuses implications ont été publiés le 13 juillet 2018 [Ref. : *Chondrules as direct thermochemical sensors of solar protoplanetary disk gas*, G. Libourel and M. Portail, *Science Advances* 4, eaar3321 (2018)].

Henry Clifton Sorby, un géologue anglais, est le premier en 1877 à reconnaître ces objets comme des « fiery drops of rain », à les appeler : chondres (du grec chondros, grain) et les météorites qui les contiennent : chondrites. Constituant jusqu'à près de 80 % en volume des chondrites (fig. 1), les chondres ont depuis retenu l'attention de plusieurs générations de cosmochimiste. Où et comment se sont-ils formés dans le disque protoplanétaire ? Avec quel mécanisme de chauffe ? Quels étaient leurs précurseurs ? Ont-ils interagi avec leur environnement gazeux ? Comment se sont-ils refroidis ? Quel était leur environnement de formation : nébulaire ou planétaire ? De nombreuses questions sont posées, sans pour autant que les réponses fassent l'unanimité dans la communauté.

L'histoire thermique des chondres, déduites de la pétro-géochimie des objets naturels et de leurs analogues expérimentaux, est un des paramètres clés pour comprendre l'évolution des chondres et leur attribuer un scénario astrophysique plausible de formation. Pour des conditions réalistes du disque protoplanétaire solaire, les expériences de cristallisation dynamique reproduisent bien les textures des chondres (porphyriques, barrés, radiés, etc.) et fournissent jusqu'à présent les principales données sur les températures maximales de formation des chondres et leurs vitesses de refroidissement.

Grâce aux apports de la cathodoluminescence haute résolution, les auteurs remettent en question ce point de vue en démontrant que la formation de grains d'olivine des chondres est contrôlée par un processus de croissance épitaxiale assistée par le gaz pendant la fusion du chondre à haute température. Bien qu'il soit clair depuis ces dernières années que les chondres aient interagi avec le gaz environnant plutôt que d'être des boules de poussière chauffées dans un système fermé, cet article va plus loin en suggérant que cette interaction avec le gaz définit leur composition et leur texture. Les observations de cathodoluminescence (fig. 2) montrent en effet des structures internes de zonation des olivines, des cristallisations asymétriques de cristaux d'olivines ou des couches superposées d'olivines à la bordure des chondres incompatibles avec une cristallisation magmatique classique par refroidissement en système fermé.

Plusieurs implications sont discutées dans cet article concernant, notamment la proposition d'une nouvelle histoire thermique des chondres, l'aide à la reconnaissance des grains reliques grâce à la cathodoluminescence, la nécessité de pression élevée ou de rapport gaz/poussière élevé pour expliquer la stabilité de la phase liquide silicaté et la nature des interactions gaz-liquide qui fournit une explication simple à l'absence de fractionnement isotopique important et systématique de type Rayleigh dans les chondres.

Les disques protoplanétaires étant optiquement épais à la plupart des longueurs d'onde, les chondres fournissent, si cette interprétation est correcte, notre meilleure sonde thermochimique du gaz des régions internes et optiquement épaisses des étoiles jeunes.

Cette étude a bénéficié du soutien financier du CNES (support mission OSIRIS-REx) et du BQR de l'OCA.

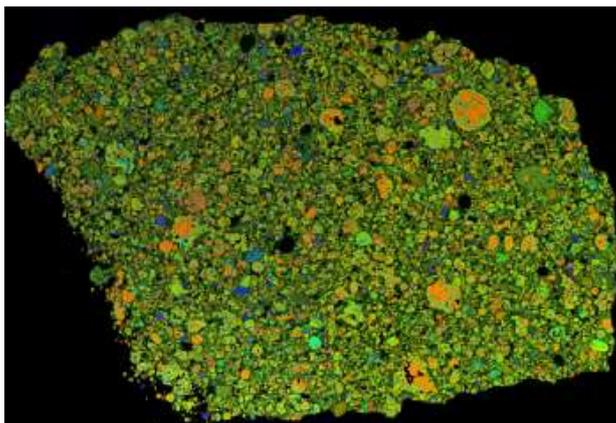


Figure 1. Carte multi-élémentaire (Al : bleu; Mg : orange; Ca : vert) de la chondrite carbonée: Yamato 81020, CO3.0, montrant l'abondance relative des chondres (>60%).

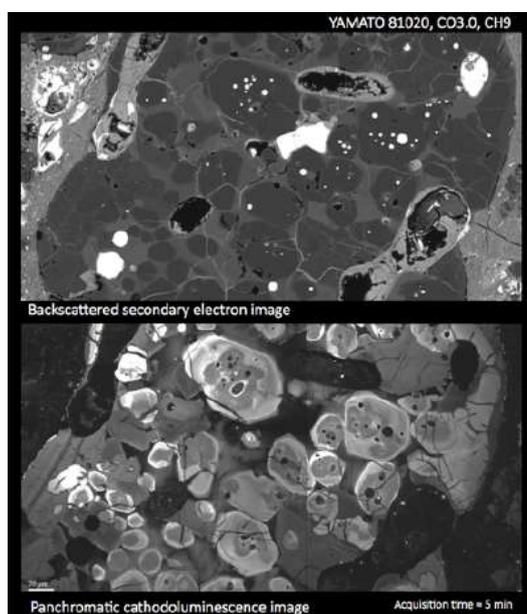


Figure 2. Comparaison entre une image classique obtenue au microscope électronique à balayage en électrons rétrodiffusés (haut) et une image panchromatique obtenue en cathodoluminescence (CL) haute résolution (bas) sur un chondre porphyrique à olivine de la chondrite carbonée : Yamato 81020, CO3.0. Notez la richesse des structures chimiques mise en évidence avec la CL au sein des olivines, notamment les fronts multiples de cristallisation et de dissolution au sein d'une même olivine. Les activateurs principaux de CL sont ici : Al, Cr et Mn ; Fe « quenchant » la luminescence.

Contacts :

- **Guy Libourel**, laboratoire Lagrange, guy.libourel@oca.eu
- **Marc Portail**, CRHEA, marc.portail@crhea.cnrs.fr

AOUT

Les synergies scientifiques entre Ska et Athena dans un livre blanc

Le 25 juillet dernier, l'Organisation SKA et le « *Athena Community Support Portal* » ont annoncé conjointement la publication d'un livre blanc détaillant les synergies scientifiques entre le Square Kilometre Array (SKA) et le futur télescope à rayons X Athena de l'ESA.

Le livre blanc a été rédigé par l'équipe SKA-Athena Synergy (« *SKA-Athena Synergy Team – SAST* »), un groupe d'experts basés dans quatre organisations de recherche de premier plan: Dr Rossella Cassano (INAF-Istituto di Radioastronomia, Italie), Dr Rob Fender (Université d'Oxford, Royaume-Uni), Dr Chiara Ferrari (Observatoire de la Côte d'Azur, France) et Andrea Merloni (Institut Max Planck de physique extraterrestre, Allemagne), sur la base des contributions de 34 scientifiques de 13 pays différents.

L'article illustre les principaux domaines scientifiques pour lesquels des résultats uniques seront obtenus en combinant les observations radio et en rayons X du SKA et du satellite Athena. Parmi les principales thématiques, nous rappelons ici la mise en évidence de la toute première génération d'étoiles qui sont nées dans l'Univers, peu après le big-bang, la détection des structures à très grande échelle comme les amas et les super-amas de galaxies, la croissance et l'évolution des trous noirs super massifs, les études d'objets galactiques et d'objets compacts, ainsi que des phénomènes transitoires dont certains sont à l'origine de l'émission d'ondes gravitationnelles.



Le « SKA-Athena Synergy White Paper » est disponible en ligne.

Contact :

- **Chiara Ferrari**, laboratoire Lagrange, chiara.ferrari@oca.eu

SEPTEMBRE

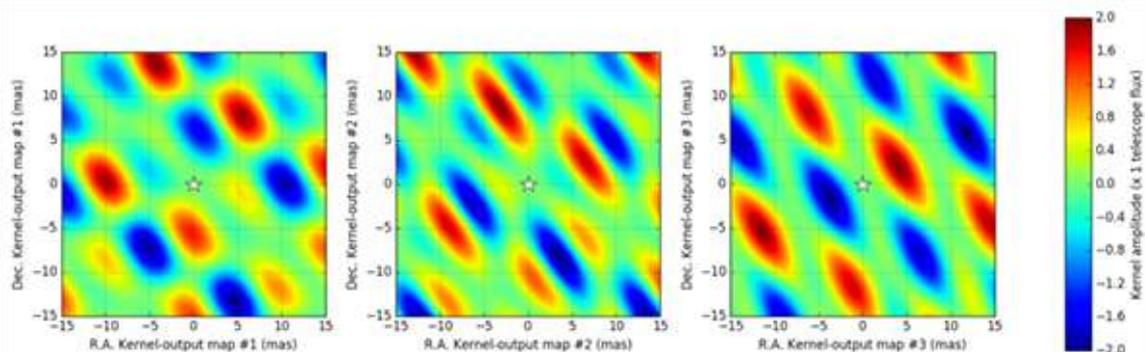
VIKING : un concept d'instrument interférométrique novateur

VIKING : acronyme d'un concept d'instrument interférométrique novateur, se destinant à la découverte de nouveaux mondes et qui, conformément à la réputation des explorateurs dont il tire son nom, mise sur sa robustesse et sa résilience pour triompher des éléments !

La détection directe de planètes extrasolaires en orbite autour des étoiles du voisinage solaire reste un des grands défis de l'astrophysique observationnelle qui mobilise de nombreux chercheurs et ingénieurs de par le monde. La difficulté, bien connue, est qu'il faut surmonter le très grand contraste de luminosité entre les planètes et leur étoile hôte qui font qu'on que les instruments classiques sont éblouis.

Des solutions haut-contraste existent qui sont théoriquement capables de filtrer efficacement la lumière éblouissante des étoiles, révélant ainsi ce qui se cache dans leur voisinage. De telles solutions sont en cours d'exploitation sur les grands télescopes. Mais pour arriver à leurs fins, ces solutions ont toutes besoin d'observer dans des conditions idéales, malheureusement bien rares.

Topographie des trois kernels instantanés produits par VIKING



Réponse des trois kernels de l'instrument VIKING à la présence d'une planète en fonction de sa position sur le ciel pour une étoile au zénith du VLTI. C'est l'arrangement au sol des télescopes du VLTI qui impose la position des bosses rouges et bleues où la sensibilité de VIKING est maximale.

Un article rédigé par Frantz Martinache (Observatoire de la Côte d'Azur) et Michael Ireland (Université Nationale Australienne) et qui vient d'être accepté par la revue *Astronomy & Astrophysics*, prend le contre-pied du pari de la perfection et propose un modèle d'instrument haut-contraste d'un genre nouveau : robuste aux perturbations induites par les conditions d'observation. Au cœur du concept, la notion de « kernel » (ou noyau) : une quantité observable qui, dans des conditions d'observation confortables mais réalistes, est insensible aux perturbations. L'étude des kernels fait l'objet d'un projet, lui-même nommé KERNEL, financé par le Conseil Européen de la Recherche (ERC - CoG #683029), dont Frantz Martinache est le PI.



Dans la lignée de MATISSE, un instrument construit à l'OCA et récemment commissionné au VLTI, VIKING offrirait un mode d'observation haut-contraste dans l'infrarouge moyen à l'interféromètre VLTI, le rendant capable de voir directement un nombre important de planètes, comprenant notamment une quinzaine d'objets détectés par des méthodes indirectes comme la vitesse radiale.

Contact :

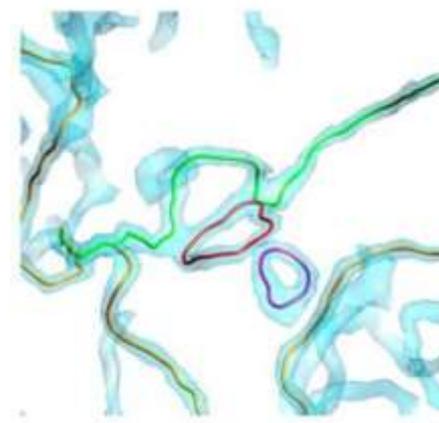
- **Frantz Martinache**, laboratoire Lagrange, frantz.martinache@oca.eu

SEPTEMBRE

Propriétés universelles ou non-universelles dans la reconnexion des tourbillons quantiques.

Quand un fluide est agité, des vortex ou tourbillons de différentes tailles apparaissent si le fluide n'est pas trop visqueux. Il arrive très souvent que ces tourbillons soient très localisés dans l'espace où le fluide tourne très fortement. L'exemple le plus courant dans la nature c'est l'apparition de tornades. Ces filaments jouent un rôle très important dans la turbulence pour comprendre des événements extrêmes liés à la dissipation d'énergie, qui a lieu aux échelles les plus petites. Ces vortex se reconnectent entre eux et changent leur topologie.

Ces vortex sont aussi naturellement présents dans une classe de fluides très spécial : les superfluides. Grâce aux effets quantiques la viscosité d'un superfluide est identiquement nulle et les filaments sont toujours présents quand ils deviennent turbulents. Depuis quelques années, ces vortex quantiques sont étudiés en laboratoire et ils forment, en quelque sorte, le squelette de la turbulence. Avec des collègues en Angleterre (D. Proment (Norwich) et A. Villois (Bath)) nous nous sommes intéressés à la reconnexion de ces vortex quantiques. Nous avons dévoilé à l'aide de simulations numériques et calculs théoriques les aspects universels de ces processus. Ces résultats pourraient par exemple, aider à comprendre comment l'énergie est dissipée quand la turbulence dans un fluide devient infiniment forte.



Prix reçu: « Francois Frenkiel Award of the Division of Fluid Dynamics of the American Physical Society 2018 » pour le papier: « Universal and nonuniversal aspects of vortex reconnections in superfluids » A. Villois, G. Krstulovic and D. Promentn, Phys. Rev. Fluids 2, 044701 (2017)

Contact :

- **Giorgio Krstulovic**, laboratoire Lagrange, giorgio.krstulovic@oca.eu

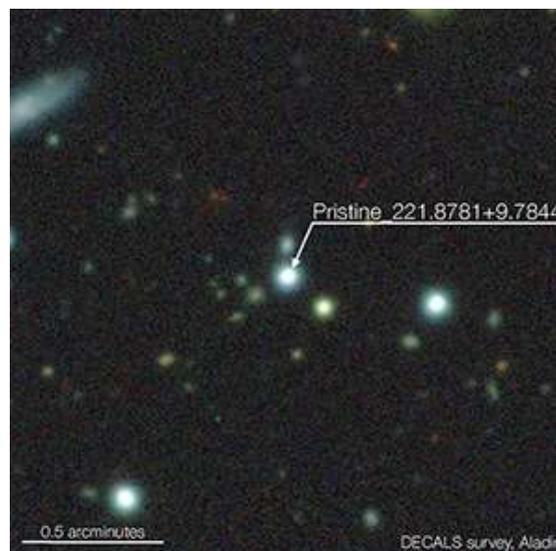
OCTOBRE

Découverte d'une étoile survivante des premiers âges de l'Univers

Une équipe internationale de chercheurs impliquant des astrophysiciens français CNRS/INSU de l'Observatoire astronomique de Strasbourg, de l'Observatoire de la Côte d'Azur et de l'Observatoire de Paris a découvert une des étoiles les moins enrichies en éléments lourds. Ces étoiles extrêmement rares sont les survivantes des premiers âges de l'univers, quand les étoiles n'étaient pas encore polluées par les restes successifs d'étoiles mortes. Cette nouvelle découverte ouvre une fenêtre sur la formation stellaire au début de l'histoire de l'univers.

Les astrophysiciens ont plusieurs méthodes pour étudier les premiers âges de l'univers. Ils peuvent étudier les galaxies les plus lointaines qui sont aussi les plus jeunes et les observer alors qu'elles sont en train de s'assembler. Ils peuvent aussi chercher et examiner les étoiles les plus anciennes de notre propre galaxie, la Voie Lactée. C'est la voie de cette véritable archéologie Galactique que poursuit la collaboration "Pristine" dirigée par Nicolas Martin (Observatoire astronomique de Strasbourg, CNRS/INSU, Université de Strasbourg) et Else Starkenburg (AI Potsdam) et à laquelle participe plusieurs chercheurs de l'Observatoire de la Côte d'Azur (Vanessa Hill, Mathias Schultheis et Georges Kordopatis du laboratoire Lagrange).

Au cours de leur vie, les réactions thermonucléaires qui ont lieu au centre de toutes les étoiles créent des éléments plus lourds que l'hélium (du carbone, de l'oxygène, du calcium, du fer, ...) à partir de l'hydrogène et de l'hélium qui composent la très grande majorité de leur gaz. Quand elles explosent à la fin de leur vie, elles enrichissent avec ces éléments le gaz interstellaire qui servira de pouponnière à la prochaine génération d'étoiles. C'est pourquoi l'atmosphère de notre Soleil, une étoile relativement jeune, a environ 2% de son atmosphère qui est composé d'éléments lourds. Au contraire, les étoiles très anciennes qui ont été formées très tôt se caractérisent donc par leur faible quantité d'éléments lourds. Elles sont aussi extrêmement rares et extrêmement difficile à trouver dans nos environs cosmiques.

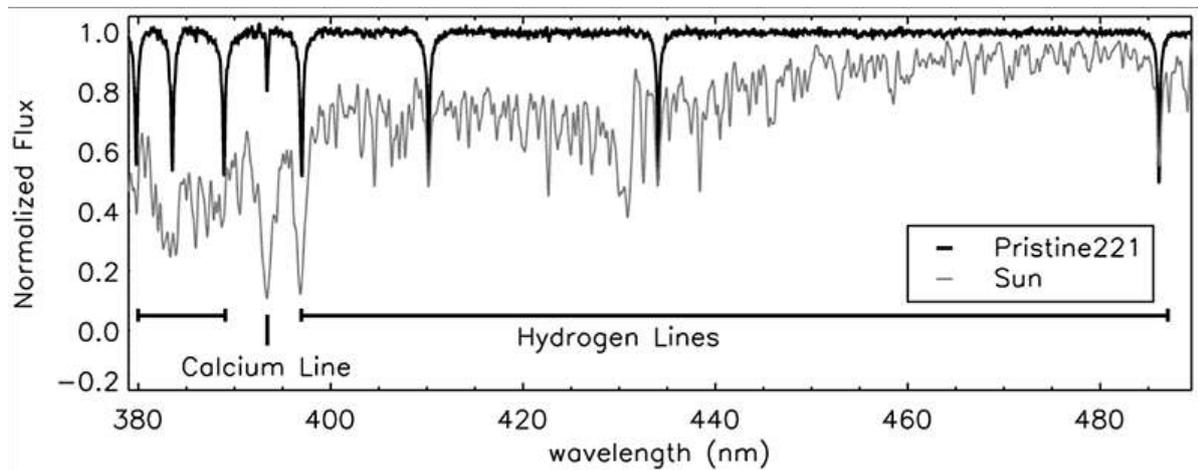


«Pristine_221.8781+9.7844 and its surroundings

Credits: N. Martin and the Pristine collaboration, DECam Legacy Survey, Aladin Sky Atlas.»

C'est une telle étoile que l'équipe « Pristine » a mis en évidence grâce à une nouvelle cartographie du ciel effectuée avec le Télescope Canada-France-Hawaï, situé à Hawaï. Cette cartographie, qui se concentrent sur une petite région de l'ultra-violet, permet d'isoler

efficacement les étoiles qui sont très peu polluées en éléments lourds. On estime que, dans le voisinage solaire, moins d'une étoile sur 1 000 000 est aussi pauvre en éléments lourds que celle qui vient d'être découverte. Un suivi avec les spectrographes de l'Isaac Newton Group, en Espagne, et de l'Observatoire Européen Austral, au Chili, a permis de confirmer que l'étoile Pristine_221.8781+9.7844 est quasiment vierge d'éléments lourds, dont les quantités sont 10 000 à 100 000 fois inférieures à celles mesurées dans l'atmosphère de notre Soleil.



«The spectrum observed with the William Herschel Telescope on La Palma for Pristine_221.8781+9.7844, compared to the spectrum of the Sun. As can be seen, the spectrum of Pristine_221.8781+9.7844 contains far fewer feature. Only hydrogen (the large dips) and a small amount of Calcium (the small dip) can be seen in the spectrum of Pristine_221.8781+9.7844. This tells us that the star is ultra metal-poor, it has an unusual lack of heavy elements in its atmosphere, which means that it belongs to an early generation of stars formed in the Galaxy.

Credits: E. Starkenburg and the Pristine collaboration.»

Cette étoile, dont l'analyse est présentée dans un article des Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, apporte des contraintes bienvenues sur les modèles de formation des premières étoiles et ouvre une fenêtre sur une époque encore peu connue. La découverte de Pristine_221.8781+9.7844 dès le début du projet «Pristine» laisse aussi présager d'une moisson de telles étoiles anciennes dans les années à venir.

Contact :

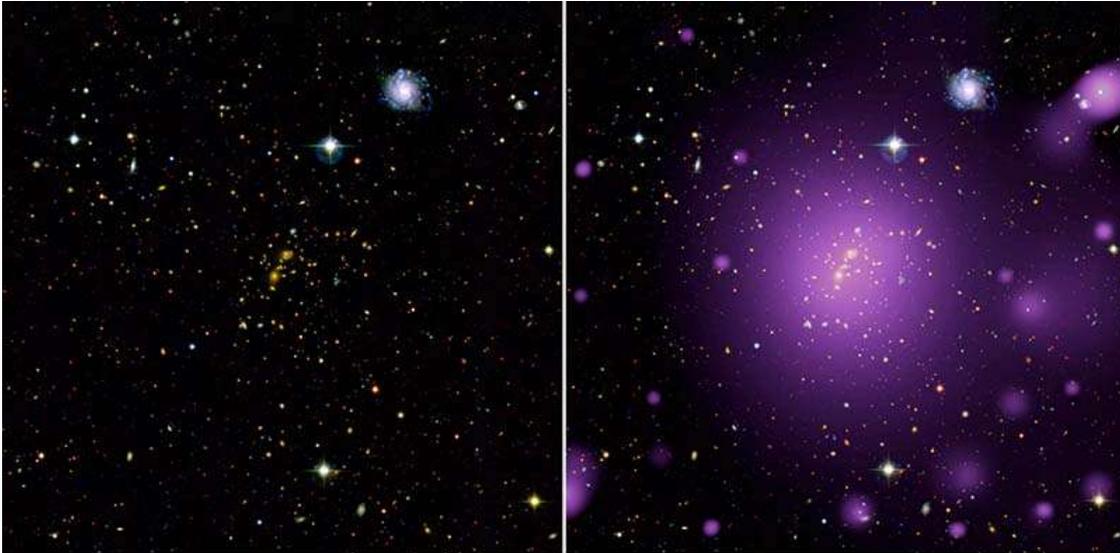
- **Vanessa Hill**, laboratoire Lagrange, vanessa.hill@oca.eu

OCTOBRE

Redessiner l'Univers en rayons X

À l'aide de l'observatoire XMM-Newton de l'ESA, une équipe internationale, dirigée par Marguerite Pierre du Département d'Astrophysique du CEA-Irfu vient de révéler les derniers résultats du sondage XXL, le plus vaste programme d'observation en rayons X réalisé à ce jour par le satellite XMM. Le deuxième lot de données qui vient d'être publié dans un numéro spécial de la revue *Astronomy & Astrophysics*, comprend des informations sur 365 amas de galaxies et sur 26 000 noyaux actifs de galaxies. Par l'examen profond de deux grandes régions du ciel, le sondage XXL est la première étude en rayons X à détecter suffisamment d'amas de galaxies et de noyaux actifs de galaxies pour permettre de retracer la structure à grande échelle de l'Univers et son évolution dans le temps avec des détails sans précédent. Dans cette collaboration internationale menée par le CEA sont fortement engagées des équipes du laboratoire d'astrophysique de Marseille et du laboratoire Lagrange de l'Observatoire de la Côte d'Azur. Ces travaux ont bénéficié des moyens du CEA, du CNES, du CNRS, des universités Aix-Marseille et Nice Sophia-Antipolis, et du Programme National de Cosmologie de l'INSU.

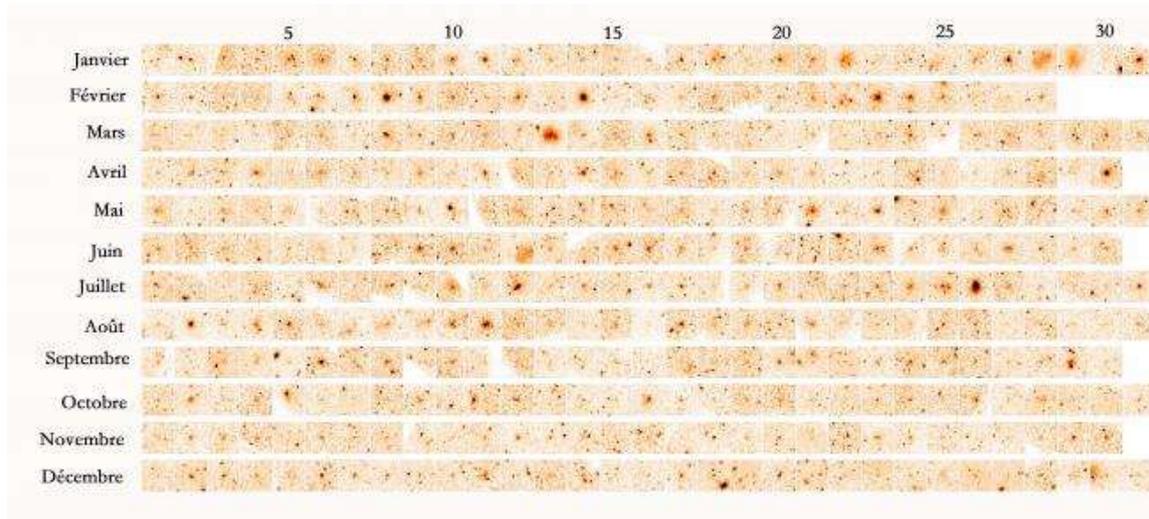
Les rayons X étant bloqués par l'atmosphère terrestre, les sources X ne sont observables que par des télescopes spatiaux. Dans l'Univers lointain, elles sont associées à des amas de galaxies qui contiennent un gaz très chaud émettant des rayons X ou à des trous noirs supermassifs, situés au centre de certaines galaxies (noyaux actifs de galaxies). Pendant 2000 heures, l'observatoire spatial XMM-Newton a exploré deux régions de 25 degrés carrés et recensé 365 amas galactiques et 26 000 noyaux actifs de galaxies. Certains amas sont à des distances atteignant 7 milliards d'années-lumière et de nombreux noyaux actifs de galaxies sont encore plus éloignés. Pour identifier ces sources et déterminer leur distance, il a fallu rechercher des informations à d'autres longueurs d'onde.



Images en lumière visible (à gauche) et en rayons X (à droite) de l'amas XLSSC006, situé à une distance d'environ 4,5 milliards d'années-lumière de la Terre. En rayons X, la zone lumineuse rose (fausse couleur) code l'intensité du rayonnement X émis par le gaz chaud de l'amas. L'analyse de ces images permet de déterminer les caractéristiques de l'amas avec notamment sa distance. Image visible : Observatoire Canada-France-Hawaï (CFH) / Image en rayons X : Observatoire XMM-Newton

L'Univers est organisé en filaments de matière façonnés par la gravité, dont les intersections sont matérialisées par les amas de galaxies. La connaissance de ces structures à grande échelle, très denses, ouvre la possibilité de tester les prédictions du modèle cosmologique communément admis. La structure de l'Univers et son évolution sont décrites par un ensemble

de paramètres cosmologiques, dont l'accélération de l'expansion de l'Univers. Grâce au satellite Planck de l'ESA, les chercheurs ont déterminé ces paramètres cosmologiques en étudiant le fond diffus cosmologique, un rayonnement micro-onde témoignant de l'Univers très jeune. Le sondage XXL permet de déterminer les mêmes paramètres pour l'Univers plus récent. Il montre que la distribution des amas et des noyaux actifs de galaxies de XXL est compatible avec le modèle cosmologique actuel et permet déjà une meilleure détermination de la constante décrivant l'accélération l'expansion de l'Univers. À noter que cette analyse ne porte que sur la moitié de l'échantillon d'amas de galaxies déjà identifiés.



Images en rayons X des 365 amas de galaxies du sondage XXL observés par le satellite XMM-Newton. Les 365 images sont ordonnées comme un calendrier. Crédits : ESA/XMM-Newton/XXL Survey

Le catalogue final des données XXL traitées avec de nouvelles techniques plus performantes ainsi que l'analyse cosmologique complète sont prévus pour 2021. La « *toile cosmique* » sera explorée par les prochains satellites de l'ESA, Euclid et Athena, qui sonderont des régions encore plus étendues et distantes, décuplant ainsi le sondage XXL.

Le laboratoire Lagrange est impliqué dans l'analyse des propriétés des galaxies des amas détectés en rayons X par XXL. Une série de 20 articles écrits par la collaboration du sondage XXL ont été publiés en décembre 2018 dans un numéro spécial de *Astronomy & Astrophysics* ; parmi ceux-ci, 3 sont pilotés ou copilotés par des membres du laboratoire.

Au sein des amas, le gaz chaud émettant en X cohabite avec une multitude de galaxies observables dans un domaine de longueurs d'onde allant de l'ultra-violet à l'infra-rouge et ces deux populations sont supposées être à l'équilibre dans un même potentiel gravitationnel. À l'Observatoire de la Côte d'Azur, l'équipe Galaxies et Cosmologie du laboratoire Lagrange s'est fortement impliquée dans l'analyse des propriétés des galaxies en correspondance des amas détectés en rayons X par XXL, en particulier en utilisant le grand relevé photométrique Canada France Hawaii Legacy Survey. Elle a également pris part aux mesures des vitesses radiales des galaxies sur les télescopes de l'ESO au Chili permettant de mesurer la distance et donc l'âge de ces amas. Les galaxies d'amas représentent une population particulière dont l'évolution dépend de l'époque de leur accréation au sein de l'amas et des nombreuses interactions qu'elles subissent dans cet environnement très dense. Au cours de son travail de thèse effectué sous la direction de Sophie Maurogordato et Christophe Benoist, Marina Ricci a développé une méthode innovante afin d'exploiter de manière optimale la richesse de ces nouvelles données, ce qui lui a permis d'explorer et de caractériser le contenu en galaxies des amas et des groupes émettant aux longueurs d'onde X jusqu'à plus de 7 milliards d'années en arrière, soit environ la moitié de l'âge de l'Univers. Ce projet se place dans la perspective de l'analyse multi longueur d'onde des grands relevés du futur, en particulier d'Euclid, mission spatiale de l'ESA dans laquelle l'équipe est fortement impliquée.

Contacts :

- **Marguerite Pierre**, département d'Astrophysique du CEA, marguerite.pierre@cea.fr.
- **Christophe Benoist**, **Sophie Maurogordato** et **Marina Ricci** du laboratoire Lagrange, christophe.benoist@oca.eu, sophie.maurogordato@oca.eu

NOVEMBRE

Hayabusa2 (JAXA) : Retour d'échantillon de l'astéroïde Ryugu

La mission japonaise Hayabusa2 a été lancée le 3 Décembre 2014 et a atteint le 27 Juin 2018 l'astéroïde Ryugu, de 900 mètres de diamètre, nous fournissant les premières images détaillées dans l'histoire du spatial d'un astéroïde potentiellement riche en carbone (fig. 1) qui devrait fournir des informations cruciales sur les phases précoces du système solaire, la formation des planètes et le rôle des astéroïdes dans l'émergence de la vie sur Terre. Trois membres du laboratoire Lagrange (M. Delbo, G. Libourel et P. Michel) soutenus par le CNES sont fortement impliqués dans cette mission qui se distingue de sa sœur OSIRIS-REx (NASA) par le nombre d'opérations risquées qu'elle a déjà et doit encore effectuer. En effet, en plus de la récolte d'échantillon prévue début 2019, elle a déjà déployé avec succès, pour la première fois sur un tel petit corps, deux mini-rovers appelés MINERVA-II en Septembre 2018 et l'atterrisseur CNES-DLR MASCOT (dont P. Michel est Inter-Disciplinary Scientist) le 3 Octobre 2018 pour faire des analyses de surface sur place (fig. 2). De plus, elle va libérer un projectile de cuivre de 2 kg qui effectuera un impact à haute vitesse (2 km/s) sur la surface de l'astéroïde au printemps 2019 afin de produire un cratère et y effectuer ensuite une deuxième récolte d'échantillon. Hayabusa2 quittera Ryugu à l'automne 2019 et le retour sur Terre de la capsule avec les échantillons est prévue pour Décembre 2020.

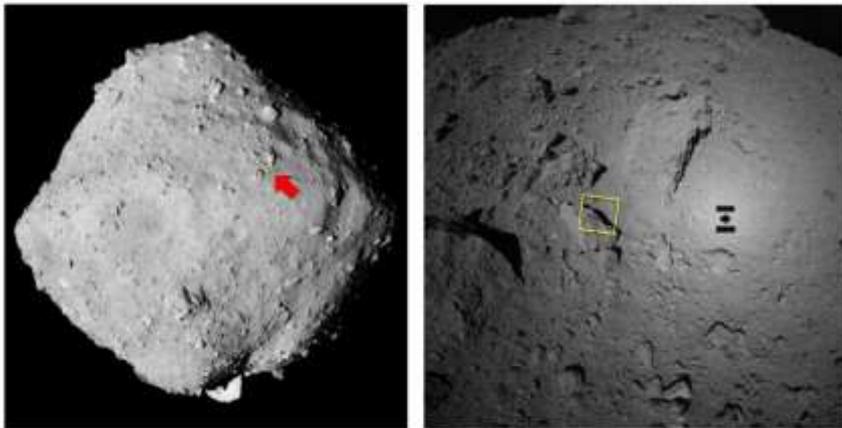


Figure 1 : À gauche, image de l'astéroïde Ryugu (premières images détaillées d'un astéroïde carboné), dont la forme (un sphéroïde oblate) ainsi que l'abondance immense de rochers sur toute la surface ont surpris les scientifiques. À droite, zoom sur le carré jaune de l'image de gauche, lors de la descente de la sonde vers la surface pour déployer l'atterrisseur MASCOT. L'ombre de la sonde a suscité une grande émotion, étant l'ombre d'un objet fabriqué par l'humain à plus de 300 millions de km de notre Terre.

À peine arrivée, la sonde a fourni plusieurs images qui ont été convertis en paires d'images stéréos, permettant une visualisation en 3D (fig. 3), grâce à une interaction entre un membre du laboratoire (P. Michel) et Brian May, le guitariste du groupe Queen, astrophysicien et expert en images stéréos (fig. 2).



Figure 2 : Brian May et P. Michel, en train de regarder des images de Ryugu en 3D faites par Brian May à partir des images d'Hayabusa2.



Figure 3 : Images stéréos de Ryugu par Brian May.

Le choix des sites d'atterrissage de MASCOT et de la sonde pour récolter un échantillon s'est effectué à Toulouse (pour MASCOT) le 14 août 2018 et à Tokyo le 17 août à partir des données acquises pendant le premier mois. Ce choix devant respecter à la fois les exigences scientifiques et celles techniques, il fut l'objet de vives discussions. L'atterrissage de MASCOT dans la nuit du 3 octobre 2018 fut un moment extraordinaire de l'histoire spatiale, qui mériterait un article en soit (voir l'article dans Ciel & Espace, Vol. 562, pp. 29-33). La figure 4 montre la trajectoire de MASCOT et une image prise par sa caméra (MASCAM), qui constitue l'une des premières images prises depuis la surface d'un astéroïde avec celles des rovers MINERVA-11 (fig. 5).

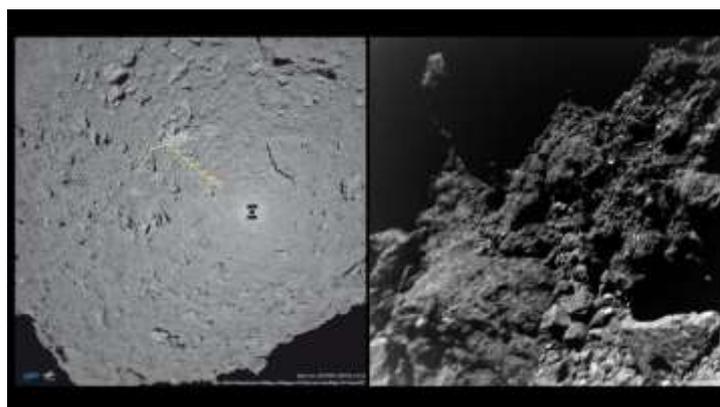


Figure 4 : À gauche, la trajectoire de l'atterrisseur MASCOT vu par Hayabusa2 lors de sa descente sur l'astéroïde, une fois lâché par Hayabusa2 à une distance de l'ordre de 55 mètres, de la surface jusqu'à son rebond sur un rocher de surface et sa stabilisation au sol. La courbe jaune montre la trajectoire de descente et celle en bleue montre la projection sur la surface, jusqu'à la stabilisation (crédit : JAXA, Univ. Tokyo et collaborateurs). A droite : image de la surface de Ryugu prise par la caméra MASCAM de MASCOT avant que celui-ci ne se stabilise au sol (crédit : MASCAM/DLR).



Figure 5 : Image prise par l'un des rovers MINERVA-II à la surface de Ryugu le 23 Septembre 2018 (crédit : JAXA).

Avant d'effectuer la récolte, des exercices de descente ont été effectués pour vérifier la précision à l'atterrissage de la navigation autonome. Une grande précision est nécessaire compte tenu des nombreux rochers de surface que la sonde doit éviter de toucher pour ne pas être endommagée. Ces exercices ont permis d'obtenir l'image à la plus haute résolution (4.6 mm/pixel) obtenue jusqu'à présent le 15 octobre, tandis que la sonde était à 22 mètres d'altitude, qui confirme l'abondance de petits rochers et l'absence de sable fin à la surface du petit corps (fig. 6).

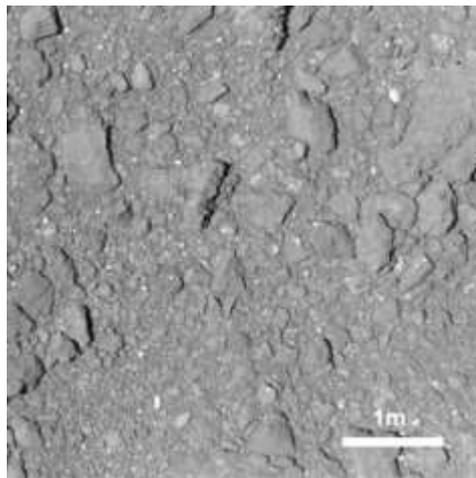


Figure 6 : La surface de Ryugu photographiée par la caméra de navigation télescopique d'Hayabusa2 le 15 Octobre, depuis une altitude de 42 m (crédit : JAXA, Univ. Tokyo, Kochi Univ., Rikkyo Univ., Nagoya Univ., Chiba Inst. Of Tech., Meiji Univ., Univ. Of Aizu, AIST).

L'abondance de rochers rend difficile un atterrissage sécurisé et il se peut que d'autres exercices de descente soient effectués. La récolte doit s'effectuer en 5 secondes. Le satellite est équipé d'un cornet long de 70 cm. Une fois que celui-ci touchera le sol, un petit projectile sera tiré vers la surface à l'intérieur de celui-ci et les éjecta (une centaine de milligrammes) produits par l'impact seront capturés dans le cornet puis injectés dans la capsule de ré-entrée dans l'atmosphère terrestre.

Prochaine étape : la récolte d'échantillon, prévue pour fin Janvier-début Février 2019. L'aventure continue

Contact :

- **Patrick Michel**, laboratoire Lagrange, patrick.michel@oca.eu

NOVEMBRE

Découverte d'une des étoiles jumelles du Soleil

Une équipe internationale composée de chercheurs du laboratoire Lagrange, Patrick de Laverny, Alejandra Recio-Blanco et Georges Kordopatis, et de l'Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (Porto), Vardan Adibekyan et ses collaborateurs, a découvert une étoile jumelle à notre Soleil. Grâce aux données du projet AMBRE et de la mission Gaia de l'ESA, l'équipe a étudié les caractéristiques physico-chimiques de plus de 17 000 étoiles, pour en trouver finalement une qui partage les mêmes caractéristiques que le Soleil : âge, température, rayon, composition chimique... . Cette étoile jumelle se serait formée dans le même amas d'étoiles que le Soleil, il y a 4,6 milliards d'années, mais toutes ces sœurs se sont ensuite « *perdues de vue* » lors de l'évolution dynamique de la Galaxie. Les résultats de cette étude ont été publiés le 16 novembre 2018 dans la revue internationale *Astronomy & Astrophysics* [Ref. : « *The AMBRE project: searching for the closest solar siblings* », V. Adibekyan et al.].

Le Soleil s'est probablement formé au sein d'un amas d'étoiles dans le disque de notre Galaxie, il y a environ 4,6 milliards d'années, en compagnie de plusieurs milliers d'autres étoiles sœurs. Toutes ces étoiles sœurs ont le même âge, le même parent (un nuage de gaz interstellaire) et la même composition chimique (un peu comme l'ADN d'un enfant correspond à celui de ses parents). De plus, certaines de ces étoiles sont très ressemblantes au Soleil en termes de masse, de rayon et de température. On peut alors parler de véritables étoiles jumelles du Soleil. Cependant, au cours du temps et de son déplacement dans la Voie Lactée, cet amas ouvert s'est peu à peu disloqué à cause des forces de marée et tous ses membres se sont dispersés dans la Galaxie. C'est pourquoi le Soleil est une étoile plutôt isolée aujourd'hui, loin de sa famille d'étoiles, et qu'il est donc actuellement très difficile d'identifier ses étoiles sœurs.

Or, retrouver ces étoiles est particulièrement important. En effet, nous n'avons que très peu d'information sur le passé du Soleil alors que la détection et l'étude de ses sœurs pourraient nous indiquer où et dans quelles conditions le Soleil s'est formé. Cela pourrait également nous aider à mieux comprendre comment des planètes se sont formées autour de notre étoile. Comme toujours, en étudiant l'autre nous comprenons mieux nous-mêmes.



L'amas ouvert, Trumpler 14, contient plus de 2000 étoiles de la même fratrie et est très semblable à celui dans lequel le Soleil et ses sœurs se sont probablement formées. (Credit: ESO/H. Sana).

Afin de retrouver d'éventuelles sœurs du Soleil, les astronomes ont exploré dans le détail les caractéristiques physico-chimiques de plus de 200 000 spectres d'étoiles qui avaient été analysées dans le cadre du Projet AMBRE. AMBRE est un projet d'archéologie galactique mis en place par Alejandra. Recio-Blanco et Patrick de Laverny de l'OCA et l'Observatoire Européen Austral (ESO). Son but est de déterminer automatiquement les paramètres atmosphériques et les abondances chimiques des spectres stellaires archivés à l'ESO obtenus grâce aux spectromètres FEROS, HARPS, UVES et GIRAFFE installés sur des télescopes au Chili.

En couplant ces données AMBRE avec les informations astrométriques extrêmement précises fournies par la mission Gaia de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), il a été possible d'identifier les étoiles ayant une composition chimique très semblable à celle du Soleil et d'estimer leur âge ainsi que leurs propriétés cinématiques dans la Galaxie.

Ainsi, il a été possible d'identifier quatre étoiles sœurs du Soleil ayant un âge et une composition chimique quasiment identique à celles de notre étoile. L'une d'entre-elles, HD186302, se trouvant à 186 années-lumière de nous, est bien particulière : cette étoile est non seulement une sœur, mais sa ressemblance au Soleil est telle (sa température ne diffère que de quelques dizaines de Kelvin, sa masse et son rayon que de quelques pourcents par rapport au Soleil), qu'il s'agit même d'une étoile jumelle.



HD186302, au centre de l'image, l'étoile jumelle de notre Soleil se trouve actuellement à 186 années-lumière dans la constellation du Paon, visible que de l'hémisphère sud (Crédits logiciel Stellarium)

De telles étoiles jumelles sont également de très bonnes candidates pour rechercher les origines de la vie présente sur Terre. En effet, certains travaux ont proposé que des composants prébiotiques, indispensables à l'apparition de forme de vie, auraient pu être dispersés d'une planète vers une autre au sein d'un même amas d'étoiles. Ainsi, si une planète rocheuse orbite autour de cette étoile HD186302, et si cette planète a été contaminée par la vie sur Terre (ou réciproquement), on aurait alors découvert un clone de notre Terre orbitant un clone de notre Soleil. Toutefois, cette hypothèse fascinante demandera encore de nombreuses années d'études avant d'être confirmée.

La prochaine étape sera bien évidemment de rechercher d'éventuelles planètes autour de HD186302, ce qui permettrait de les comparer aux planètes solaires formées dans des conditions quasiment identiques. Egalement, grâce aux prochains catalogues publiés par la mission Gaia, il sera certainement possible d'augmenter sensiblement le nombre d'étoiles sœurs et jumelles du soleil connues et donc d'encore mieux comprendre comment notre étoile

et son cortège de planètes se sont formées et ce qu'elles sont devenues depuis leur naissance au sein d'un même cocon stellaire.

Voir aussi, les articles de presse suivants :

- Des fausses jumelles de notre Soleil, perdues de vue depuis très longtemps, ont été retrouvées, Le Figaro (22/11/2018)
- Vient-on de découvrir la sœur jumelle du Soleil ?, SciencePost (20/11/2018)

Contact :

- **Patrick de Laverny**, laboratoire Lagrange, patrick.de_laverny@oca.eu

NOVEMBRE

Une nouvelle balance pour peser les trous noirs supermassifs

Pour la première fois hors de notre galaxie, des scientifiques ont révélé les propriétés des nuages de gaz en mouvement rapide au plus près d'un trou noir supermassif, permettant de mesurer la masse du trou noir avec une précision sans précédent. Cette mesure a été réalisée avec l'instrument Gravity du Very Large Telescope (VLT, Observatoire européen austral) par une équipe internationale comprenant des chercheurs du CNRS, de l'Observatoire de Paris – PSL, de l'Université Grenoble-Alpes et de l'Observatoire de la Côte d'Azur. Elle est publiée dans Nature le 29 novembre 2018.

Les chercheurs estiment généralement la masse des trous noirs supermassifs situés au cœur des galaxies en observant le mouvement d'étoiles ou de gaz tournant autour : schématiquement, plus ils tournent vite, plus le trou noir est massif. Pour les galaxies lointaines, mesurer directement les mouvements du gaz au plus près du trou noir était jusqu'ici impossible, ces régions gazeuses étant trop petites pour être observables. Pour estimer la masse du trou noir central, les astrophysiciens mesurent alors plutôt le temps séparant l'émission de lumière depuis l'environnement immédiat du trou noir et sa réverbération par les nuages de gaz, pour en déduire la taille de la structure de gaz et, de là, la masse du trou noir. C'est la méthode dite de « *cartographie de réverbération* ».

Dans cette nouvelle étude, des astrophysiciens ont utilisé l'instrument Gravity du VLT pour plonger au cœur de 3C 273, le premier quasar identifié, situé au centre d'une galaxie à environ 2,5 milliards d'années-lumière. Selon une technique appelée interférométrie, l'instrument Gravity combine la lumière reçue par les quatre télescopes du VLT, au Chili. Equivalente à un télescope de 130 mètres de diamètre, cette combinaison offre aux astronomes un gain énorme en résolution spatiale puisqu'elle permettrait par exemple de déceler une pièce de 1 euro posée sur la Lune. « *Les données obtenues avec GRAVITY ont permis d'améliorer la précision d'un facteur 10 par rapport aux précédentes obtenues avec l'instrument AMBER* », précise Florentin Millour, astronome-adjoint au laboratoire Lagrange, qui a pu comparer la qualité des deux jeux de données.

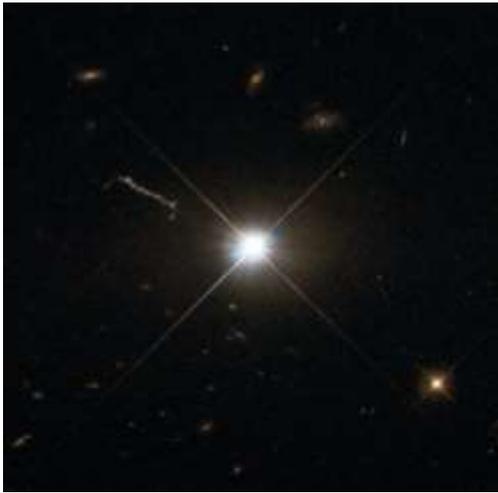
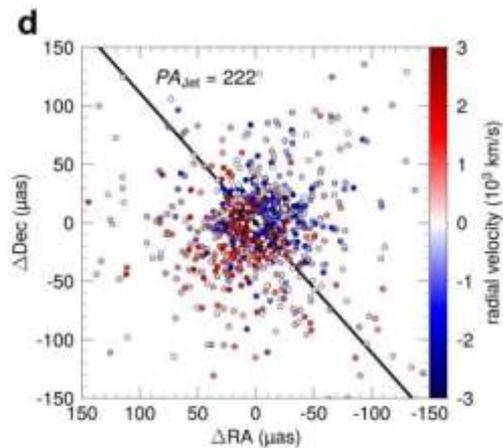


Image optique du quasar 3C273, obtenue avec le télescope spatial Hubble. Le quasar réside au cœur d'une galaxie elliptique géante de la constellation de la Vierge, à une distance d'environ 2,5 milliards d'années-lumière. Un jet de matière provenant des régions centrales de la galaxie est visible à gauche de l'image.
© ESA / Hubble & NASA



Cartographie de la vitesse des nuages dans le disque de gaz entourant le trou noir super-massif. Les points rouges correspondent à des nuages s'éloignant de l'observateur, les bleus à des nuages se dirigeant vers l'observateur. La simple distribution des points dans la figure démontre la rotation des nuages autour d'un axe de rotation coïncidant avec la direction du jet émis par le quasar. © Collaboration Gravity

L'observation du quasar 3C 273 par Gravity a permis de détecter pour la première fois le mouvement des nuages de gaz en rotation au plus près du trou noir d'un quasar. D'un rayon de près de 4 000 milliards de kilomètres, la structure de gaz observée tourne à des vitesses de plusieurs milliers de kilomètres par seconde autour d'un axe correspondant au jet de matière émis par le quasar. « Observer le gaz en rotation autour d'un trou noir supermassif est un moyen de comprendre pourquoi certaines galaxies ont un noyau ultra-lumineux, tandis que le noyau de notre Galaxie ne l'est apparemment pas. L'étude du trou noir central de notre galaxie est importante pour comprendre comment celle-ci se structure autour de lui », explique Florentin Millour qui poursuit « Le même type d'étude sur d'autres galaxies permet de comparer avec la nôtre pour mieux la comprendre. ».

Ces résultats ont ainsi permis de « peser » le trou noir supermassif au cœur de 3C 273. La masse estimée grâce à Gravity, environ 300 millions de masses solaires, est conforme aux mesures antérieures obtenues par cartographie de réverbération, mais avec une précision 100 fois meilleure.

Gravity valide donc la méthode de « cartographie par réverbération » pour peser les trous noirs supermassifs et offre en outre une nouvelle méthode indépendante, et extrêmement précise, pour mesurer leur masse dans des milliers d'autres quasars.

Ces résultats sont présentés dans un article de la revue *Nature* signé par la collaboration GRAVITY : « Spatially resolved ordered rotation of a quasar broad-line region at sub-parsec scale », E. Sturm, J. Dexter, O.Pfuhl et al., *Nature*, 29. November 2018.

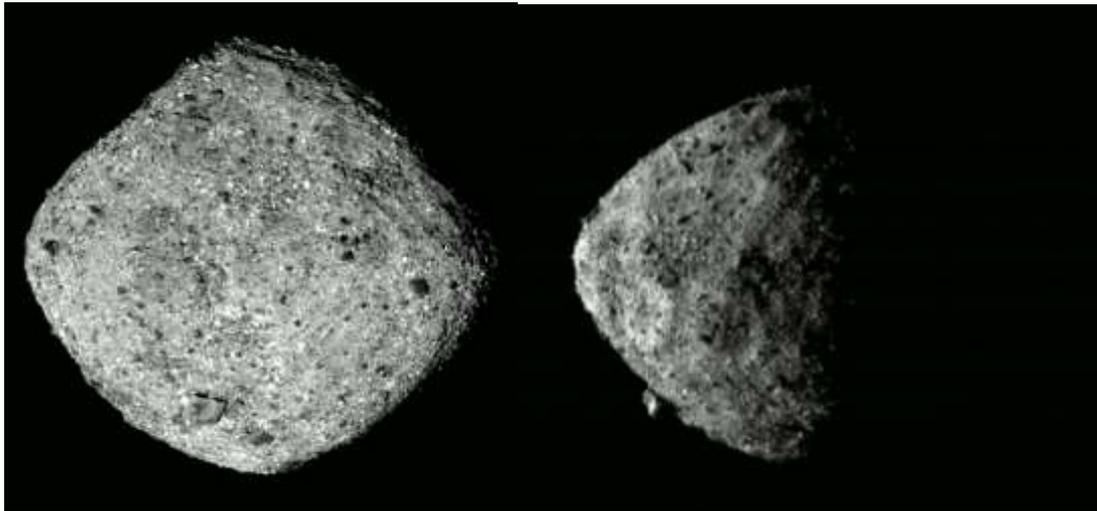
Contacts :

- **Yann Clénet**, LESIA, yann.clenet@obspm.fr
- **Florentin Millour**, laboratoire Lagrange, florentin.millour@oca.eu
- **Véronique Etienne**, Presse CNRS, veronique.etienne@cnrs.fr, +33(0) 1 44 96 51 37
- **Marc Fulconis**, Prese OCA, marc.fulconis@oca.eu, +33(0)6 89 66 65 56

DECEMBRE

OSIRIS-REx (NASA) : Retour d'échantillon de l'astéroïde Bennu

La mission OSIRIS-REx est une mission du programme New Frontiers de la NASA dans laquelle trois membres du laboratoire Lagrange (M. Delbo, G. Libourel et P. Michel) soutenus par le CNES sont fortement impliqués. La mission a été lancée depuis Cap Canaveral par une fusée Atlas V le 8 septembre 2016 pour rejoindre l'astéroïde Bennu, un astéroïde géocroiseur de 500 mètres de diamètre potentiellement riche en carbone, le caractériser et en récolter un échantillon pour le ramener sur Terre en 2023 afin de l'analyser dans les laboratoires terrestres. Après un voyage de 2 ans, la sonde a commencé sa phase d'approche de l'astéroïde mi-août 2018 puis ses opérations à proximité le 3 décembre 2018, nous renvoyons des images extraordinaires d'un nouveau monde, situé à 122 millions de km de notre Terre.



À gauche : image de Bennu prise depuis 80 km de distance. À droite : image de l'astéroïde à 20 km de distance. La forme de Bennu (un sphéroïde oblate) est celle attendue par les observations radar depuis le sol terrestre. L'abondance des rochers et autres caractéristiques de surfaces (différentes couleurs, la morphologie des cratères) ont surpris les scientifiques.

Les efforts de l'équipe scientifique de la mission et des membres du laboratoire Lagrange pour interpréter les données fournies par la sonde ne font que commencer. La sonde va ainsi effectuer de nombreuses et délicates opérations de proximité (compte tenu de la faible gravité de l'astéroïde) pendant un an et demi (survol à faibles distances, mises en orbite autour de l'astéroïde) afin de documenter la surface de ce nouveau monde en termes de composition, de structure, d'abondance de rochers et de cratères. L'analyse des données nécessitera de nombreux voyages à Tucson, où l'équipe scientifique est basée pour effectuer ce travail scientifique intense et préparer les publications scientifiques. Ces informations sont aussi cruciales pour choisir le meilleur site de récolte d'échantillons du point de vue scientifique mais aussi du point de vue de la sécurisation de l'atterrissage de la sonde. Celle-ci doit effectuer la récolte en 5 secondes en 2020 à l'aide d'un gros cylindre fixé sur un bras de la sonde. Ce cylindre se posera sur la surface, évacuera un jet d'azote qui créera un vent entraînant la poussière dans la chambre de récolte. L'objectif de la NASA est de récupérer un minimum de 60 grammes d'échantillon de Bennu.

L'exploration ne fait que commencer ...

Contact :

- **Patrick Michel**, laboratoire Lagrange, patrick.michel@oca.eu

DECEMBRE

La dynamique atmosphérique des AGB dévoilée par Gaia grâce aux simulations numériques

Le satellite Gaia a livré en avril 2018 des mesures astrométriques de haute précision pour plus d'un milliard de sources dont les AGB, étoiles de masse faible à intermédiaire qui ont évoluées vers la branche asymptotique des géantes. Leur surface est constituée d'ondes de choc qui sont produites à leur intérieur et qui sont façonnées par le haut de la zone convective lorsqu'elles voyagent vers l'extérieur. En collaboration avec des scientifiques suédois, des chercheurs du laboratoire Lagrange ont prouvé que la dynamique complexe des atmosphères des étoiles AGB, cause d'asymétries en luminosité, affectent la position (du photocentre) mesurée par Gaia. Il s'agit du premier résultat de Gaia sur la physique des AGB.

Les étoiles de masse faible à intermédiaire évoluent vers la branche asymptotique des géantes (AGB), ce qui augmente leur perte de masse au cours de cette évolution. Elles sont caractérisées par : (i) des variations de grande amplitude du rayon, de la luminosité et de la température de surface ; et (ii) par un fort taux de perte de masse entraîné par une interaction entre la pulsation, la formation de la poussière et la pression radiative sur cette dernière. Leur dynamique complexe affecte les mesures et amplifie les incertitudes sur les paramètres stellaires.

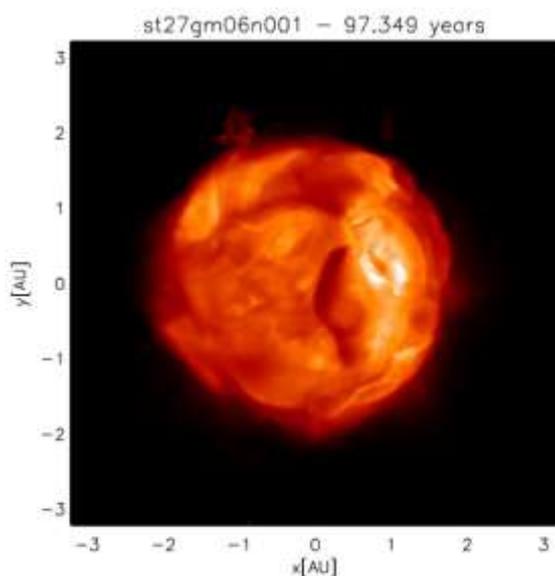


Figure 1 : Exemple de carte d'intensité pour un instantané d'une simulation.

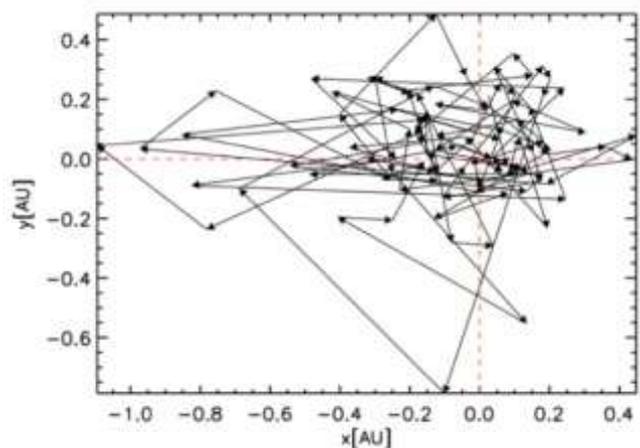


Figure 2 : Position du photocentre calculée pour une simulation dans le filtre de la bande de Gaia. Les différents instantanés sont reliés par des segments de ligne. Les lignes pointillées en rouge se croisent à la position du centre géométrique

La surface visible des AGB est faite d'ondes de choc qui sont produites à leur intérieur et qui sont façonnées par le haut de la zone de convection lorsqu'elles voyagent vers l'extérieur. Quelques grandes cellules convectives (avec une longue durée de vie) recouvrent la surface. Elles sont accompagnées par des structures à plus petite échelle avec une durée plus courte.

En présence d'asymétries de luminosité, la position du photocentre ne coïncide pas avec le barycentre de l'étoile et change au fur et à mesure que le motif convectif évolue avec le temps.

Afin de quantifier ces mouvements, il faut s'appuyer sur une approche théorique basée sur les simulations hydrodynamiques multidimensionnelles (et en particulier en trois dimensions, 3D) du mouvement du gaz dans les couches atmosphériques des étoiles, couplé avec la radiation. Dans ces modèles, la totalité de l'enveloppe de l'étoile est simulée, au cours du temps.

Nous avons calculé le déplacement du photocentre dans les simulations et comparé avec l'incertitude de mesure sur la parallaxe d'un échantillon d'étoiles AGB dans le voisinage solaire (source Gaia DR2). Nous avons trouvé un bon accord avec les observations, ce qui suggère que la variabilité liée à la convection explique en grande partie l'erreur de parallaxe. En plus, nous avons montré que, dans les simulations, des déplacements plus amples du photocentre correspondent à des périodes de pulsation plus longues. Par conséquent, les variations de parallaxe sur les mesures de Gaia pourraient être exploitées pour extraire les paramètres fondamentaux de ces étoiles. Il s'agit du premier résultat de Gaia sur la physique des AGBs.

Les AGB apportent une contribution importante à l'enrichissement chimique des galaxies parce qu'elles perdent d'énormes quantités de leur masse. La convection vigoureuse qui les caractérise pourrait être à la base du mécanisme de la perte de masse et seules les simulations hydrodynamiques peuvent aider les astronomes à comprendre pleinement tous les processus physiques que le caractérise.

Contacts :

- **Andrea Chiavassa**, laboratoire Lagrange, andrea.chiavassa@oca.eu
- **Mathias Schultheis**, laboratoire Lagrange, mathias.schultheis@oca.eu



DECEMBRE

InSight : un sismomètre ultra-sensible sur Mars

Le 26 novembre 2018, la sonde américaine InSight a réussi un atterrissage spectaculaire sur Mars. En se posant sans encombre sur la plaine équatoriale d'Elysium, InSight a concrétisé un rêve auquel des géophysiciens planétaires aspiraient depuis des décennies : poser, plus de quarante ans après les sondes Viking, un sismomètre sur Mars.

Fruit d'une collaboration internationale entre la France, l'Angleterre, l'Allemagne, la Suisse et les Etats-Unis, le sismomètre SEIS d'InSight est un bijou de technologie. Combinant trois capteurs à très large bande (VBB) et trois capteurs à courtes périodes, il est capable de mesurer des déplacements du sol à l'échelle atomique. Grâce à des techniques sophistiquées de traitements du signal, cet instrument va permettre de réaliser sur Mars ce que les géophysiciens ont effectué pour le globe terrestre il y a un siècle et pour la Lune ensuite : déterminer le rayon, la composition et l'état des principales enveloppes de la planète rouge.

L'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) porte la responsabilité scientifique de l'expérience SEIS. Plusieurs autres laboratoires français sont impliqués dans l'analyse de données, en particulier l'Observatoire de la Côte d'Azur (laboratoire Lagrange et GéoAzur), qui accueille aussi les activités éducatives autour de la sismologie martienne (<http://insight.oca.eu>).

Contrairement à Viking, SEIS va être déposé directement sur le sol martien grâce au bras robotique de la sonde InSight. Peu après l'« atterrissage », une première vérification de l'état de santé de l'instrument SEIS a été effectuée avec succès. Montée sur le bras robotique, la caméra IDC a ensuite envoyé au fil des jours des images spectaculaires du site, de la sonde de dépose proprement dite, un secteur de quelques mètres carrés orienté au sud.



Photographie de la caméra IDC prise durant le sol 8, et montrant le sismomètre SEIS ainsi que le bouclier thermique et éolien WTS sur le pont de l'atterrisseur InSight. La surface martienne n'est plus qu'à un mètre de distance
(© NASA/JPL).

https://mars.nasa.gov/raw_images/440/?site=insight



Image de la caméra IDC prise durant le sol 12 à une hauteur de 1,5 mètre, montrant la surface du secteur situé devant la sonde, et sur laquelle le sismomètre SEIS sera déployé. Notez le petit rocher déplacé par le souffle des rétrofusées durant l'atterrissage le 26 novembre 2018
(© NASA/JPL).

Dès les premiers clichés renvoyés sur Terre, les ingénieurs et chercheurs ont compris qu'ils avaient bénéficié d'un joli coup de pouce cosmique. InSight s'est effectivement posé dans une petite dépression comblée par un sol meuble, au milieu d'un terrain par ailleurs très rocailleux. La surface située devant l'atterrisseur, très plate et pratiquement dépourvue de cailloux, semble aussi idéale qu'il était possible de le souhaiter pour déposer le sismomètre SEIS, ainsi que le second instrument principal de la mission, le capteur de flux thermique HP³.



Photographie de la caméra IDC prise durant le sol 8, et montrant le sismomètre SEIS ainsi que le bouclier thermique et éolien WTS sur le pont de l'atterrisseur InSight. La surface martienne n'est plus qu'à un mètre de distance (© NASA/JPL).

Si les opérations de surface continuent de se dérouler avec fluidité, SEIS devrait être au sol avant la fin de l'année, pour être ensuite recouvert par son bouclier de protection thermique et éolien. Si une installation correcte à la surface de Mars est un prérequis fondamental pour que les capteurs les plus sensibles du sismomètre, les VBB, puissent fonctionner de manière optimale, les capteurs à courtes périodes ont cependant déjà été allumés sur le pont de l'atterrisseur. Une station météorologique, la plus performante jamais déployée sur Mars, enregistre en continu la température, la pression et les vents baignant la sonde et ainsi caractériser le moindre bruit ambiant (pour l'écouter, voir ici : <https://mars.nasa.gov/news/8397/nasa-insight-lander-hears-martian-winds/?site=insight>).

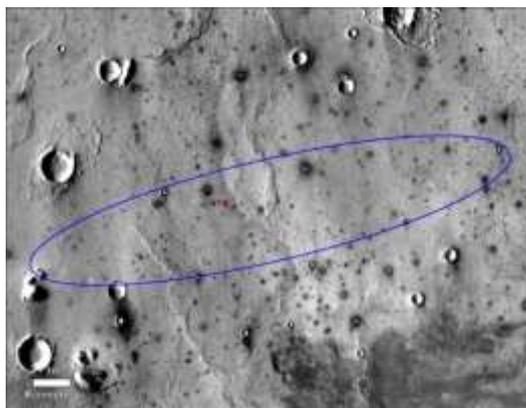


Image Mars Odyssey montrant la localisation finale de l'atterrisseur InSight dans la plaine d'Elysium, marquée d'un point rouge. Le JPL était chargé de faire atterrir InSight en douceur dans l'ellipse sélectionnée par l'équipe InSight: mission accomplie! A droite : photo haute résolution acquise par l'orbiteur MRO le 6 décembre 2018. Remarquez les panneaux solaires déployés à l'est et à l'ouest de la sonde. Les instruments SEIS et HP³ seront déployés au sud de la station. Crédits : NASA.

Pendant une année martienne (soit deux années terrestres) InSight va enregistrer l'activité sismique martienne, que cette dernière provienne de séismes dus à des ruptures au niveau de la croûte ou du manteau, ou des impacts de météorites. La détermination de la structure interne de Mars permettra de comprendre la formation et l'évolution de cette planète, et de lever le voile sur des questions aussi fondamentales que la disparition précoce du champ magnétique, ou la mise en place de la grande dichotomie. Les objectifs scientifiques d'InSight dépassent cependant Mars, et englobent les processus de mise en place de toutes les planètes telluriques, que ce soit celles de notre système solaire, ou les lointaines exoplanètes.

La mission InSight est proposée par la NASA dans le cadre du programme Discovery, et est placée sous la responsabilité du Jet Propulsion Laboratory (NASA/Caltech). Le lanceur Atlas V, fourni par United Launch Alliance, a décollé du centre spatial militaire de Vandenberg en Californie le 5 mai 2018. L'atterrisseur InSight a été conçu, fabriqué et testé par la société Lockheed Martin. La NASA apporte la majeure partie de l'infrastructure de communication, en particulier le réseau d'écoute de l'espace lointain (DSN), ainsi que les orbiteurs relais Mars Odyssey, Mars Reconnaissance Orbiter et MAVEN.

Un grand nombre de partenaires européens sont associés à la mission. Le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) ont livré le sismomètre SEIS, l'instrument principal de la mission sur lequel des contributions significatives ont été fournies par l'Institut Max Planck de recherche sur le système solaire en Allemagne, l'Institut de technologie de Zurich (ETHz) en Suisse, l'Imperial College et l'Université d'Oxford en Angleterre, et le Jet Propulsion Laboratory aux Etats-Unis. Le DLR a fourni le capteur de flux thermique HP³, et le Centre d'Astrobiologie de Madrid (CAB) en Espagne les capteurs météo.

Contacts :

- **Mark Wieczorek**, laboratoire Lagrange, mark.wieczorek@oca.eu
- **Lucie Rolland**, GéoAzur, lrolland@geoazur.unice.fr

Les évènements

Les Talents



Alessandro Morbidelli, Directeur de Recherche CNRS, Equipe Planétologie, Lagrange :
Prix de la Harold Jeffreys Lecture à la Royal Society 2018.



Alessandro Morbidelli, Directeur de Recherche CNRS, Equipe Planétologie, Lagrange :
Prix Janssen de la Société Astronomique de France (au titre d'astronome étranger).



Giorgio Krstulovic, Chargé de Recherche CNRS, Equipe Fluide, Lagrange : Prix 'Francois Frenkiel Award of the Division of Fluid Dynamics of the American Physical Society 2018' pour son papier: A. Villois, G. Krstulovic and D. Proment. Universal and nonuniversal aspects of vortex reconnections in superfluids. Phys. Rev. Fluids 2, 044701 (2017)



Denis Mourard, Astronome CNAP, Equipe Physique Solaire et Stellaire, Lagrange :
Promotion au grade d'officier des palmes académiques.



Farrokh Vakili, Astronome, Equipe Planétologie, nommé au grade de chevalier de l'ordre national de la Légion d'Honneur (décret présidentiel du 14 Avril 2017 du JO)



Patrick Michel, Directeur de Recherche CNRS et **Marco Delbo**, Directeur de Recherche CNRS, équipe Planétologie ont reçu La Médaille d'Argent de la NASA Silver Achievement Medal; deuxième plus haute distinction qui puisse être accordée par la NASA à un scientifique civil (non employé du gouvernement américain).



Patrick Michel, Directeur de Recherche CNRS et **Marco Delbo**, Directeur de Recherche CNRS, équipe Planétologie ont reçu L'OSIRIS-REx Group Achievement Award.



Frantz Martinache, présentation du projet d'instrument VIKING au concours d'innovation organisé par la SATT Sud-Est.

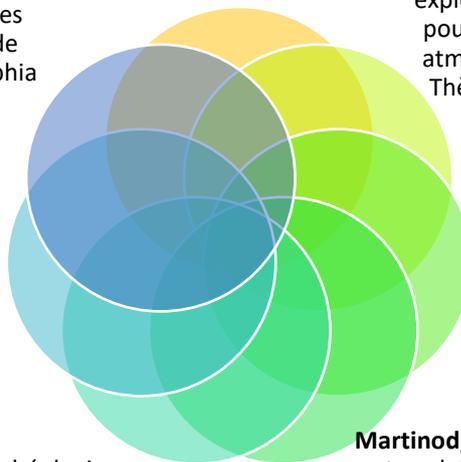
Thèses de Doctorat soutenues en 2018

Soulain, A. 'Étude des nébuleuses spirales de poussière autour des étoiles Wolf-Rayet', Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018)

Ricci, M. "Etude des propriétés optiques d'amas de galaxies détectés en rayons X: analyse multi-longueurs d'onde et implications pour les grands relevés du futur", Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018) .

Nandakumar, G. "L'archéologie galactique et son application au centre galactique", Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018).

Bolin, B. "Identification de familles d'astéroïdes âgées de plus de 2 milliards d'années", Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018).



Gonçalves, I. "Mise en œuvre et exploitation d'un spectromètre imageur pour l'étude sismique et la dynamique atmosphérique des planètes géantes", Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018).

Lisakov, S. "Les supernovae par effondrement gravitationnel et leurs progéniteurs", Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018).

Martinod, M.-A. « Développement et exploitation scientifique d'un nouvel instrument interférométrique visible en optique guidée », Thèse de Doctorat Université de Nice Sophia Antipolis (2018).

Thèses d'Habilitation à Diriger des Recherches en 2018



Carry, Benoît

'The small bodies of our solar system: 02 infini'



Crida, Aurélien

'Interactions planète-disque: applications à la formation des planètes et de leurs satellites '



Hill, Vanessa

'Archéologie Galactique dans le Groupe Local'



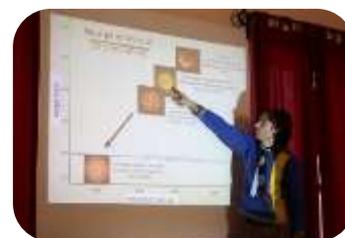
Lai, Olivier

'20 ans d'optique adaptative sur Maunakea'



Martinache, Frantz

'Repousser les limites de la diffraction pour l'astronomie à haute résolution angulaire'



Chiavassa, Andrea

"A Journey across the Hertzsprung-Russell diagram with 3D hydrodynamical simulations of cool stars"

Première promotion du MASTER MAUCA en 2018



Ce nouveau Master (2016) couvre un large spectre de thématiques astrophysiques ainsi que des projets instrumentaux, numériques et des missions spatiales



Juin 2018 : Première promotion de diplômés MAUCA. Sur les 6 étudiants cette promotion, cinq sont actuellement en thèse (à l'OCA à Nice, à l'IRAP à Toulouse et au CEA à Saclay) et un est en CDI dans l'industrie spatiale (Bruxelles).



Première promotion MAUCA et jury de fin de stage final de M2 au Mont-Gros, à l'OCA.

Temps fort :



En Hiver 2018, les étudiants de Master 2 sont partis en stage METEOR de deux mois dans des Universités partenaires à l'étranger (Glasgow, Thessalonique, Turin, Lièges, Bruxelles et l'Agence Spatiale Européenne aux Pays-Bas)

13 Mai 2018 :

Publication par un étudiant de M2 d'un article sur ses travaux de recherche lors de son stage METEOR au Département de Physique de l'Université de Thessalonique.



Séminaires Lagrange 2018

Organisés par Mamadou N'Diaye et Georges Kordopatis.



Date	Intervenant	Organisme
09/01/2018	Matteo Cerruti	LPNHE
16/01/2018	Anne-Lise Maire	MPIA
23/01/2018	Eric Lagadec	Lagrange
30/01/2018	Chrysa Avdellidou	ESA/ESTEC
06/02/2018	Fabien PATRU	LESIA
12/02/2018	Asa SKULADOTTIR	MPIA
13/02/2018	Gérard GRIMBERG	Universite Federale de Rio
20/02/2018	Roxanne Ligi	INAF
22/02/2018	Martin KILBINGER	CEA Saclay
13/03/2018	Frans Snik	Leiden
20/03/2018	Sergey Khoperskov	GEPI
27/03/2018	Nadine Neumayer	MPIA
03/04/2018	Alice Quillen	Université de Rochester
10/04/2018	Emma Fernandez-Alvar	Lagrange
17/04/2018	Francesca Primas	ESO
19-Apro-2018	Pierre Lena	Académie des Sciences
15/05/2018	Timothy BEERS	University of Notre Dame
22/05/2018	Matthieu CONJAT	Association Aquila
05/06/2018	Hans-Martin SCHMID	ETH Zurich
12/06/2018	Vladimir Airapetian	NASA Goddard,
19/06/2018	Vivien Parmentier	LAM
26/06/2018	Chris Wegg	MPIA
03/07/2018	Alain Chelli	Lagrange
04/09/2018	Chiara Mingarelli	CCA, USA
11/09/2018	Gioia RAU	NASA Godard
18/09/2018	Jerôme NOVAK	LUTH, Paris
25/09/2018	Chiara FERRARI	Lagrange
02/10/2018	Claire MICHAUT	LUTH, Paris
09/10/2018	Thierry LEHNER	LUTH, Paris
11/10/2018	Patrick Michel	Lagrange
16/10/2018	Frédéric MARIN	Observatoire de Strasbourg
06/11/2018	Laurence JOUVE	IRAP
20/11/2018	Pierre VERNAZZA	LAM
27/11/2018	Kordopatis/N'Diaye	Lagrange
04/12/2018	Jean-Noël Montagné	Nicelab
11/12/2018	Orlagh Creevey/B. Carry	Lagrange
12-Dec-2018	Rida LARAKI	LAMSADE

Les colloques

Date début	Resp.	Titre
Nov. 2018	S. Maurogordato	Annual meeting EUCLID 2018
Nov. 2018	L. Bigot	22 years of GOLF and VIRGO
Oct. 2018	E. Lega	First fargOCA meeting
Oct. 2018	A. Chiavassa	HoRSE: High Resolution Spectroscopy for Exoplanet atmospheres.
Sept. 2018	T. Guillot	Looking for Beta Pic b
Sept. 2018	A. Morbidelli	Prospective PNP18
Juin 2018	C. Theys	BasMatl 2 (Ecole thématique)
Mai 2018	D. Mourard	Journée 2018 OCA/Collège de France
Mars 2018	C. Ferrari	SKA: All-hands meeting du projet H2020 AENEAS
Janvier 2018	G. Libourel & P. Michel	Workshop Chocs et applications spatiales



Les nouveaux contrats

4 nouvelles ANR obtenues en 2018:

- **ANR GIANTE** 'Lagrangian Properties and Universality of quantum Turbulence', Resp. Krstulovic Giorgio.

La turbulence quantique est un phénomène hors équilibre montrant une grande séparation d'échelles spatiale et temporelle. Au cours des dernières années, des nouvelles techniques expérimentales ont permis d'utiliser des particules pour mettre en évidence les différences entre la turbulence classique et quantique. De nombreuses questions fondamentales restent ouvertes sur la dynamique de telles particules et sur leur interaction avec le superfluide. L'objectif de ce projet est d'étudier les propriétés Lagrangiennes de la turbulence quantique, en se concentrant sur les phénomènes physiques ayant lieu entre les échelles classiques et quantiques et de comprendre ses aspects universels. Il combine des simulations numériques à haute résolution de différents modèles de la turbulence quantique et emprunte des outils de la turbulence classique et de la mécanique statistique. Les résultats théoriques et numériques attendus aideront à la compréhension des expériences récentes.

- **ANR ORIGINS** 'A la recherche des planétésimaux de notre système solaire', Resp. Marco DELBO

La publication de l'astrométrie des étoiles et des astéroïdes obtenue par la mission Gaia (ESA) ouvre de nouvelles opportunités pour les observateurs au sol. Dans le cadre de ce projet, on propose de développer une plateforme collaborative sur internet, pour gérer la grande quantité de prédictions fiables d'occultations stellaires, à rendre disponibles pour des observateurs partout dans le monde. En récoltant les observations obtenues par une large communauté comprenant les professionnels, les amateurs et les enseignants, on sera en mesure d'aborder des problématiques majeures pour le Système Solaire, telles que la chronologie de la ceinture des astéroïdes et la structure interne de petits corps de différentes compositions. La plateforme SOONet a vocation à rester opérationnelle au-delà de la durée de la mission Gaia, en garantissant l'extension dans le temps de mesures astrométriques au même niveau de précision que la mission.

- **ANR Pristine** 'Pristine - Sondage des premières étoiles Galactiques', Resp. Vanessa HILL.

Les étoiles les plus pauvres en métaux sont aussi les plus anciennes et elles portent en elles les traces des premières supernovae. En tant que telles, elles nous informent sur la première génération d'étoiles, comment celles-ci ont enrichi leur environnement et produit les premières structures qui, par formation hiérarchiques, constitueront les briques des galaxies que l'on observe aujourd'hui. Afin de pouvoir trouver ces étoiles d'une grande rareté, nous avons mis en place la collaboration internationale Pristine. Celle-ci s'appuie sur un grand relevé photométrique en bande étroite observé à partir du CFHT, suivi d'une grande campagne spectroscopique, tout d'abord en observant les étoiles une par une sur des télescopes de la classe de 2m (INT@ING, SOPHIE@OHP,

...), qui est amené à prendre toute son ampleur avec les relevés Galactiques qui seront menés par WEAVE@WHT, et dans lesquels l'équipe au laboratoire Lagrange ont d'importantes responsabilités. Nous avons d'ores et déjà montré que Pristine est significativement plus efficace que les campagnes précédentes pour trouver les étoiles déficientes en métaux. L'ANR Pristine a pour objet de soutenir le projet Pristine, et s'assurer que la partie française de la collaboration ait les moyens d'une production scientifique de qualité.

Au laboratoire Lagrange, les participants sont V. Hill, M. Schultheis et G. Kordopatis, et un postdoc devrait arriver en 2019, pour prendre en charge notamment une adaptation des pipelines d'analyse automatique des spectres développés dans le groupe d'Archéologie Galactique de Lagrange, pour les spectres d'étoiles primitives de WEAVE.

- **ANR GEPARD** 'Croissance et évolution de planètes dans les disques protoplanétaires', Resp. Aurélien Crida.

Aujourd'hui, plus de 2600 systèmes exoplanétaires ont été découverts, qui contiennent en tout plus de 3500 planètes. Les observations débiaisées montrent que les planètes les plus abondantes sont les "Super-Terres" (des planètes de 1 à 20 fois la masse de la Terre) ayant des périodes orbitales inférieures à 100 jours. Elles sont suivies par le groupe des planètes géantes à 1-3 unité astronomique (UA) de leur étoile hôte. Ce type de planète est en fait au moins 10 fois plus abondant que les Jupiters chauds (situés à ~0.1 UA de leur étoile). La distribution des masses des planètes géantes atteint un maximum vers 1-3 masses de Jupiter ; des planètes plus massives existent mais sont assez rares. D'un point de vue théorique, ces observations sont difficiles à comprendre. En effet la migration planétaire vers l'étoile peut expliquer aisément l'existence des super-Terres proches de leur étoile, mais pose problème pour expliquer pourquoi seule une minorité de planètes géantes a atteint des orbites intérieures à 1 UA. Autre problème: l'accrétion de gaz sur des coeurs solides devrait être très rapide. Ainsi, la raison qui a empêché les super Terres de devenir des planètes géantes est inconnue, de même que le processus qui a pu limiter la croissance des planètes géantes à seulement quelques masses de Jupiter. Ce projet est fondé sur l'idée que les problèmes rencontrés pour comprendre la distribution en masse et rayon orbital des exoplanètes proviennent d'hypothèses incorrectes concernant la structure du disque proto-planétaire dans lequel elles se forment. Le schéma classique d'un disque visqueux, avec une viscosité générée par une forte turbulence causée par l'instabilité magnéto-rotationnelle est remis en cause par les simulations magnéto-hydrodynamiques récentes. Les disques sont probablement bien moins visqueux qu'on le pensait. Toutefois, les disques ne peuvent pas être totalement dépourvus de viscosité, une viscosité minimale étant causée par l'instabilité de cisaillement vertical (VSI). De plus, les vents de disque extraient du moment cinétique de fines couches superficielles des disques proto-planétaires, ce qui engendre un transport radial rapide de gaz vers l'étoile centrale dans ces couches. Notre projet est (i) de construire un modèle réaliste de disque proto-planétaire qui prend en compte à la fois la VSI et les vents de disques, et reproduise ainsi les taux accrétion stellaire observés, et (ii) d'étudier l'accrétion du gaz et la migration des planètes dans ces disques.

2 ERC MARIE CURIE

- **COSMO BLOW UP** : Cornelius Rampf / Oliver Hahn — 01/12/2018 – 30/11/2020

À grande échelle cosmologique, la matière sombre se comporte comme un fluide cosmologique. En raison des interactions gravitationnelles, ce fluide de matière s'effondre, entraînant des densités infinies. Ces infinités reflètent la limite des équations utilisées plutôt que la réalité physique. Dans ce projet, nous développons de nouveaux outils qui s'appuient sur des descriptions analytiques exactes et qui nous permettent ainsi de contrôler ces infinis. En contrôlant cet instant critique, nous obtenons des informations précieuses que nous utiliserons pour améliorer les simulations à N-corps (qui sont très utilisées dans la communauté).

- **TOMMY** : Chris Wegg / Mathias Schultheis 01/11/2018 -31/10/2020

Avec ce projet, nous visons à sonder la galaxie intérieure avec les mouvements propres de la mission Gaia. En combinant des sondes classiques telles que des étoiles de "red clump", nous allons également tracer le potentiel de la Voie Lactée et contraindre pour la première fois le profil de la matière noire dans notre Galaxie.

Les temps forts institutionnels

Signature d'un partenariat avec Thales Alenia Space

L'Observatoire de la Côte d'Azur (OCA), Le CNRS et l'Université de Nice Sophia Antipolis (UNS) ont créé un laboratoire de recherche commun avec Thales Alenia Space (TAS). La convention de partenariat a été signée le mercredi 10 octobre 2018 sur le site du Mont-Gros de l'Observatoire en présence des représentants des quatre établissements et de Jeanick Brisswalter, Vice-président Recherche d'Université Côte d'Azur dont l'OCA, le CNRS et l'UNS sont membres.



L'objectif de ce partenariat est de faciliter le développement de recherches en commun entre les parties, de faciliter la valorisation des travaux de recherche, le développement de logiciels et de méthodes applicables à des réalisations industrielles avancées, de mettre en avant une équipe forte pour la participation à des programmes de recherche nationaux et internationaux. Ce laboratoire commun sera piloté par un comité comportant un représentant de chaque établissement, (OCA, CNRS, Université Nice Sophia Antipolis) et de trois représentants de Thales Alenia Space.

Si un budget spécifique n'est pas attribué à ce partenariat, il permettra de gérer au mieux des contrats de recherche, des thèses, des collaborations technologiques ou de formation. A titre d'exemple, un contrat de recherche avec Thales Italie a fait l'objet d'une thèse dans le cadre du projet LISA sur l'analyse de données. Un autre contrat a été signé avec l'Agence Spatiale Européenne au sujet des grands télescopes du futur. Par ailleurs, les personnels de Thales Alenia Space interviennent dans le master MAUCA dont 90% des étudiants ont exprimé leur intérêt pour assister à ces interventions : introduction aux missions spatiales, initiation aux systèmes spatiaux, management des projets spatiaux, instruments d'optique spatiaux, télédétection. Des étudiants pourront être accueillis en stage par TAS. A ce jour, cinq thèses sont financées dans le cadre de cette convention de partenariat. Et d'autres sont à venir.

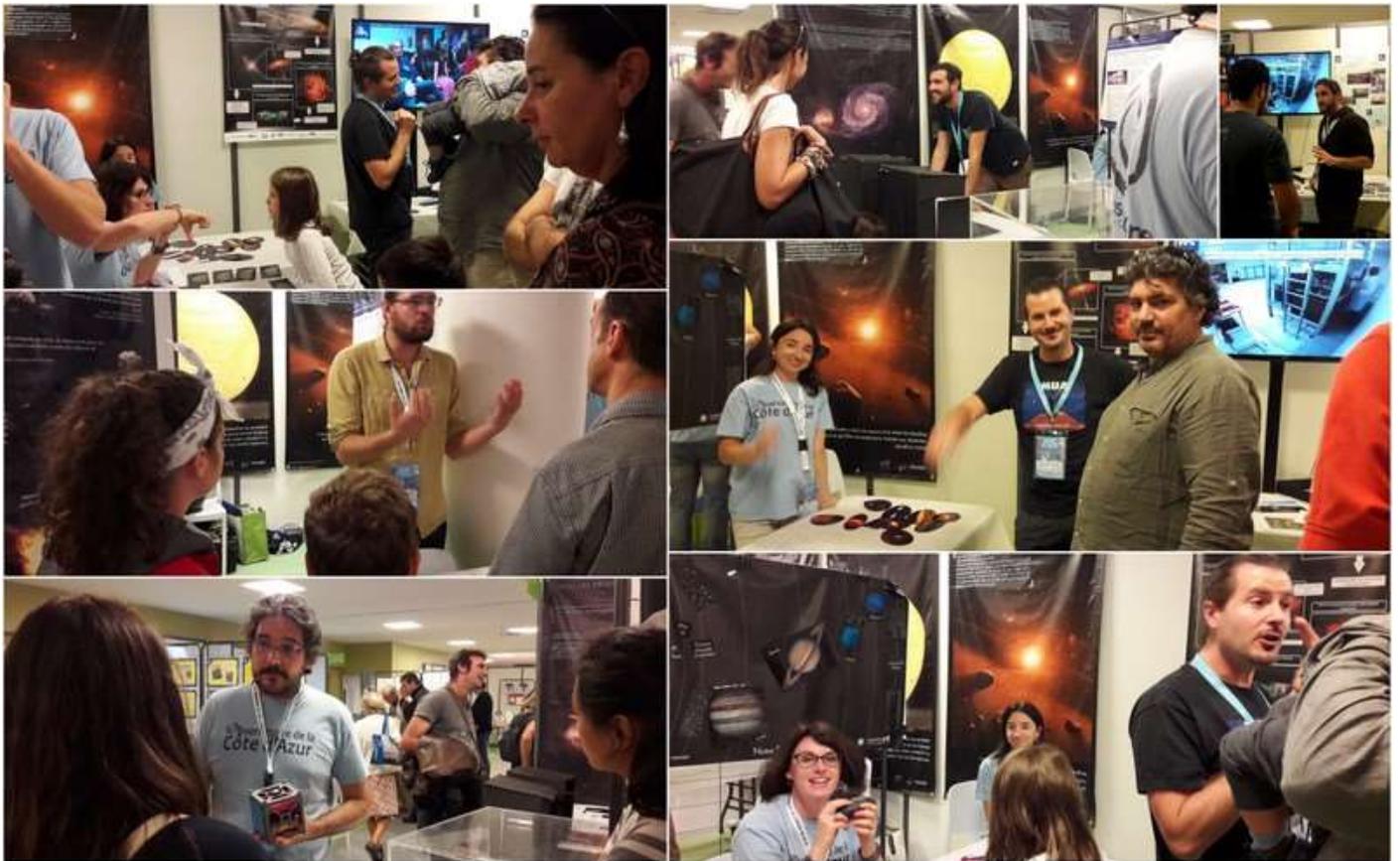
Des thématiques précises de coopération ont déjà été identifiées, et parmi elles :

- Les nouvelles structures de réseaux de satellites ;
- Des missions scientifiques telles que AIM1 (« Asteroid Impact Mission) ou LISA (observatoire spatial d'ondes gravitationnelles) ;
- La combinaison des données spatiales avec d'autres capteurs pour de nouvelles applications d'observation comme les écosystèmes côtiers ;
- Des études optiques de caractérisation de la lumière parasite ou de nouveaux concepts d'instruments pour grands télescopes.

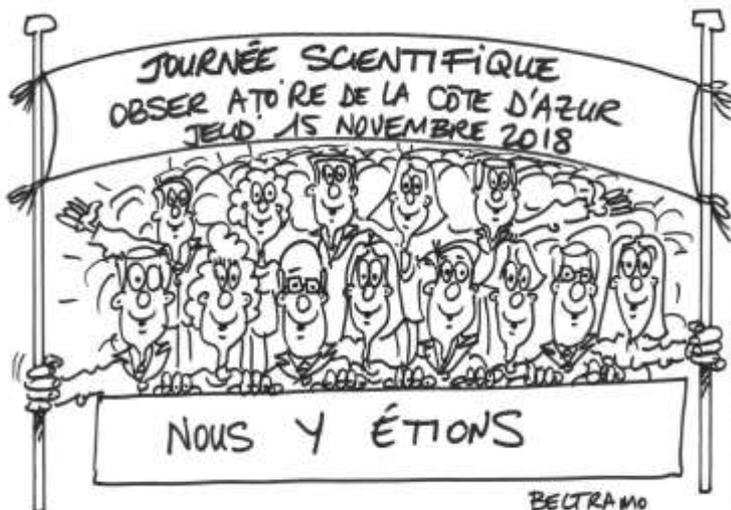
Certaines d'entre elles font déjà l'objet de collaborations, notamment à travers l'accueil et la formation de doctorants.

© PHOTO service communication OCA - De gauche à droite : Marc-Henri Serre, directeur domaine Observation Optique & Science chez Thales Alenia Spcace, Emmanuel Tric, président de l'Université de Nice Sophia Antipolis, Thierry Lanz, directeur de l'OCA, Marjorie Nanteuil, déléguée régionale adjointe CNRS Côte d'Azur.

Fête de la Science



Journée Scientifique de l'OCA





Inauguration du télescope Viscardy

Le 22 novembre 2018, le laboratoire Lagrange a voulu officiellement rappeler Georges Viscardy, amateur éclairé et observateur expert, qui avait bâti son observatoire sur les hauteurs de Saint Martin de Peille. M. Viscardy a été un observateur constant et passionné par la photographie des planètes et de la Lune, rendu célèbre par son atlas photographique lunaire. Après son décès, M.me Solange Viscardy, son épouse, a souhaité proposer à l'observatoire (notamment à Marco Delbo', Alessandro Morbidelli et Paolo Tanga) de récupérer ses deux télescopes, de 30 et 52 cm de diamètre. Les deux instruments ont été restaurés et mis en condition de travailler à nouveau sur le ciel, et la cérémonie du 22 novembre a été l'occasion pour les présenter, au laboratoire et à la famille Viscardy. Le télescope de 30 cm sera exposé et visible dans la halle du bâtiment Fizeau à Valrose, tandis que le 52 cm pourra être exploité pour des observations des astéroïdes (Lune et astéroïdes).



Les visites

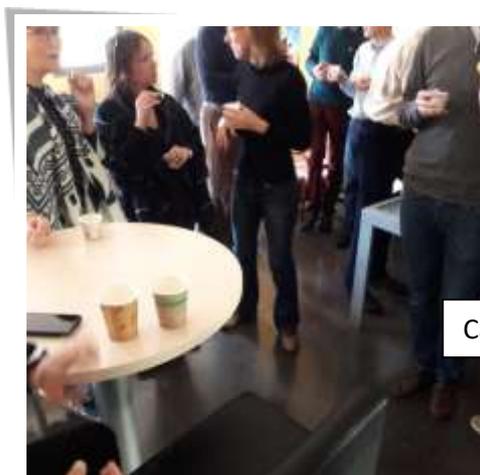


Visite de C. Coudroy, DGDR du CNRS



Visite du SPV de la DR20

Autres moments



Café du D.U.



Journée de Lagrange



Recrutement d'un apprenti



Midi musical avec le MusOCA



Repas de Noël à l'OCA



Laboratoire J.-L. LAGRANGE

Boulevard de l'Observatoire

CS 34229

06304 NICE Cedex 4

Édité en Janvier 2019.