

Titre du projet : Caractérisation de SPHERE pour l'étude des disques circumstellaires

Volet : Thèses

Doctorant : Julien Milli, IPAG, Oct. 2011- Oct. 2014

Direction : David Mouillet (CNAO, IPAG) et Dimitri Mawet (ESO)

Financement : 33% Labex, 66% ESO

Bilan de la thèse

Bilan (en français)

Les vingt-cinq dernières années ont connu une véritable révolution dans notre connaissance des systèmes planétaires avec plus de 1800 planètes extrasolaires connues à ce jour. L'étude observationnelle des disques de débris constitue l'approche proposée dans ce travail de thèse pour éclairer les processus de formation et d'évolution des systèmes planétaires. Ces disques circumstellaires sont constitués de particules de poussière générées par des collisions de petits corps appelés planétésimaux, en orbite autour d'une étoile de la séquence principale. La lumière stellaire qu'elles diffusent représente une observable particulièrement riche en informations sur l'architecture du système, mais difficile d'accès en raison du contraste élevé et de la faible séparation angulaire avec leur étoile. Le développement récent de nouveaux instruments à haut contraste équipés d'optique adaptative extrême représente un formidable potentiel pour l'étude de ces systèmes. Cette thèse se place dans le cadre de ces nouveaux développements et porte sur la caractérisation des disques de débris grâce à deux instruments qui équipent le VLT (Very Large Telescope) : NaCo et SPHERE (Spectro Polarimetric High contrast Exoplanet REsearch). NaCo est en opération depuis plus de 10 ans et a connu plusieurs améliorations successives. SPHERE a été conçu et développé dans la même période, testé intensivement en laboratoire en 2013 et est actuellement en cours de vérification opérationnelle sur le télescope. Le caractère novateur de ce travail consiste à associer à l'étude des propriétés physiques des disques de débris, une expertise instrumentale poussée pour tirer le meilleur profit des observations. La première partie vise à développer et caractériser des méthodes de réduction de données innovantes adaptées aux observations de disques en lumière diffusée et au comportement de l'instrument. En particulier les atouts, performances et biais des techniques d'imagerie différentielle angulaire, polarimétrique et de soustraction de référence sont quantifiés. Ces méthodes sont appliquées, dans une seconde partie, à l'étude et la caractérisation de deux prototypes de disques de débris entourant les étoiles β Pictoris et HR 4796A. Elles permettent une analyse poussée de la morphologie de ces disques et révèlent de nouvelles asymétries, interprétées en terme de perturbateurs gravitationnels ou de propriétés de diffusion de la lumière par la poussière. Enfin une évaluation prospective des performances attendues et observées avec l'instrument SPHERE est détaillée dans la dernière section, basée sur des simulations et des mesures en laboratoire ou sur le ciel. Une comparaison avec NaCo révèle les points forts de SPHERE avant de conclure sur les questions scientifiques auxquelles les observations de disques de débris avec SPHERE pourront apporter des réponses.

Après sa thèse, Julien Milli effectue son postdoctorat au Chili. Il poursuit et élargit les doubles compétences acquises avec : i/ une forte expertise en instrumentation et analyse d'images à grand contraste, en première ligne sur l'opération optimale et l'exploitation du nouvel instrument SPHERE maintenant en service, et ii/ l'étude des disques planétaires, non seulement en optique mais aussi aux longueurs d'onde radio avec ALMA et des collaborations fructueuses pour la modélisation du gaz et de la poussière.

Bilan *(en anglais)*

Over the last two and a half decades, the discovery of more than 1800 exoplanets has been a major breakthrough in our understanding of planetary systems. To shed light on the formation and evolution processes of such systems, I have chosen an observational approach based on the study of debris discs. These circumstellar discs are composed of dust particles constantly generated by collisions of small rocky bodies called planetesimals, orbiting a main-sequence star. The stellar light they scatter can be studied from the Earth and reveal a wealth of information on the architecture of the system. These observations are challenging because of the high contrast and the small angular separation between the disc and the star. The recent developments of new high-contrast instruments with extreme adaptive optic systems are therefore bringing new expectations for the study of these systems and set the framework of this PhD thesis. My work aims at characterising debris discs thanks to two instruments installed on the Very Large Telescope: NaCo and SPHERE (Spectro Polarimetric High contrast Exoplanet REsearch). NaCo has been in operation for more than a decade and has undergone many improvements. SPHERE has been designed and assembled in the same period, was intensively tested in laboratory in 2013, and is currently being commissioned on the telescope. The innovative approach of this PhD work is to combine the study of debris discs with strong instrumental expertise to get the best science results from the observations. The first part of the study aims at developing innovative data reduction techniques adapted to the observations of discs in scattered light and to the behaviour of the instrument. I quantify in particular the performances, advantages, and biases of the angular, polarimetric and reference-star differential imaging technique. In a next step, I apply those techniques to characterise two prototypes of debris discs, around the stars β Pictoris and HR 4796A. A detailed analysis of the morphology is carried out, which reveals new asymmetries interpreted in terms of gravitational perturbers or of dust scattering properties. Lastly, I detail the expected and measured performances of SPHERE, from simulations, laboratory and on-sky measurements. A comparison with NaCo reveals the assets of SPHERE and I conclude with the scientific questions SPHERE will be able to answer with new debris disc observations.

Production scientifique *(articles scientifiques, actes de congrès...)*

Revue à comité de lecture

- Milli, J. ; Mawet, D. ; Pinte, C. ; Lagrange, A.-M. ; Mouillet, D. ; Girard, J.H. ; Augereau, J.-C.; De Boer, J.; Choquet, E. New constraints on the dust surrounding HR 4796 A, soumis à A&A
- Milli, J. ; Lagrange, A.M. ; Mawet, D. ; Absil, O. ; Mouillet, D. ; Girard, J. H. ; Augereau, J.-C., Very deep images of the innermost regions of the β Pictoris debris disk at L', A&A, 556, 64 (2014)

- Mawet, D. ; Milli, J. ; Wahhaj, Z. ; Pelat, D. ; Absil, O. ; Delacroix, C. ; Boccaletti, A. ; Kasper, M. ; Kenworthy, M. ; Marois, C. ; Mennesson, B. ; Pueyo, L. ; Fundamental limitations of high contrast imaging set by small sample statistics, ApJ (2014)
- Ertel, S. ; Absil, O. ; Defrère, D. ; Le Bouquin, J.-B. ; Augereau, J.-C. ; Marion, L. ; Blind, N. ; Bonsor, A. ; Bryden, G. ; Lebreton, J. ; Milli, J. ; A near-infrared interferometric survey of debris-disc stars. IV. An unbiased sample of 92 southern stars observed in H-band with VLT/PIONIER, soumis à A&A
- Reggiani, M. ; Quanz, S. Meyer, M. ; Pueyo, L. ; Absil, O. ; Amara, A. ; Anglada, G. ; Avenhaus, H. ; Girard, J.H. ; Carrasco Gonzalez, C. ; Graham, J. ; Mawet, D. ; Meru, F. ; Milli, J. ; Osorio, M. ; Wolff, S. ; Torrelles, J.-M. ; Discovery of a substellar candidate in the HD 169142 transition disk and the possibility of multiple planet formation, soumis à ApJ
- Faramaz, V. ; Beust, H. ; Thébault, P. and Augereau, J.-C. ; Bonsor, A. ; del Burgo, C. ; Ertel, S. ; Marshall, J. P. ; Milli, J. ; Montesinos, B. ; Mora, A. ; Bryden, G. ; Danchi, W. ; Eiroa, C. ; White, G. J. ; Wolf, S. ; Can eccentric debris disks be long-lived?. A first numerical investigation and application to $\zeta 2$ Reticuli, A&A (2014)
- Milli, J. ; Mouillet, D. ; Mawet, D. ; Schmid, H. M. ; Bazzon, A. ; Girard, J. H. ; Dohlen, K. ; Roelfsema, R., Prospects of detecting the polarimetric signature of the Earth-mass planet α Centauri B b with SPHERE/ZIMPOL, A&A, 556, 64 (2013)
- Absil, O. ; Milli, J. ; Mawet, D., Lagrange, A.M. ; Girard, J. ; Chauvin, G. ; Boccaletti, A. ; Delacroix, C. ; Surdej, J., Searching for companions down to 2 AU from β Pictoris using the L'-band AGPM coronagraph on VLT/NACO, A&A (2013)
- Rameau, J. ; Chauvin, G. ; Lagrange, A.-M. ; Thébault, P. ; Milli, J. ; Girard, J. H. ; Bonnefoy, M. , High-contrast imaging of the close environment of HD 142527, A&A, 546, 24 (2012)
- Mawet, D. ; Absil, O. ; Delacroix, C. ; Girard, J. H. ; Milli, J. ; O'Neal, J. ; Baudoz, P. ; Boccaletti, A. ; Bourget, P. ; Christiaens, V. ; Forsberg, P. ; Gonté, F. ; Habraken, S. ; Hanot, C. ; Karlsson, M. ; Kasper, M. ; Lizon, J.-L. ; Muzic, K. ; Olivier, R. ; Peña, E. ; Slusarenko, N. ; Tacconi-Garman, L. E. ; Surdej, J. , L'-band AGPM vector vortex coronagraph's first light on VLT/NACO. Discovery of a late-type companion at two beamwidths from an F0V , A&A, 552, 13 (2013)
- Milli, J. ; Mouillet, D. ; Lagrange, A.-M. ; Boccaletti, A. ; Mawet, D. ; Chauvin, G. ; Bonnefoy, M. Impact of angular differential imaging on circumstellar disk images, A&A, 545, 111 (2012)
- Lagrange, A.-M. ; Milli, J. ; Boccaletti, A. ; Lacour, S. ; Thebault, P. ; Chauvin, G. ; Mouillet, D. ; Augereau, J.C. ; Bonnefoy, M. ; Ehrenreich, D. ; Kral, Q. An insight in the surroundings of HR 4796, A&A, 546, 38 (2012)
- Lagrange, A.-M. ; Boccaletti, A. ; Milli, J. ; Chauvin, G. ; Bonnefoy, M. ; Mouillet, D. ; Augereau, J. C. ; Girard, J. H. ; Lacour, S. ; Apai, D. The position of β Pictoris b position relative to the debris disk, A&A, 542, 40 (2012)
- Boccaletti, A. ; Augereau, J.-C. ; Lagrange, A.-M. ; Milli, J. ; Baudoz, P. ; Mawet, D. ; Mouillet, D. ; Lebreton, J. ; Maire, A.-L. Morphology of the very inclined debris disk around HD 32297, A&A, 544, 85 (2012)

Revues sans comité de lecture

- Mawet, D. ; Absil, O. ; Girard, J. H. ; Milli, J. ; O'Neal, J. ; Delacroix, C. ; Baudoz, P. ; Boccaletti, A. ; Bourget, P. ; Christiaens, V. ; Forsberg, P. ; Gonté, F. ; Habraken, S. ; Hanot, C. ; Karlsson, M. ; Kasper, M. ; Lagrange, A. ; Lizon, J. ; Muzic, K. ; Peña, E. ; Olivier, R. ; Slusarenko, N. ; Tacconi-Garman, L. E. ; Surdej, J. High Contrast Imaging with the New Vortex Coronagraph on NACO, The Messenger, vol. 152 (2013)

Actes de conférence

- De Boer, J. ; Girard, J. H. ; Mawet, D. ; Snikb, F. ; Keller, C. ; Milli, J. ; Characterizing Instrumental Effects on Polarization at a Nasmyth focus using NaCo, Proceedings of the SPIE conference , Montreal (2014)
- Schmid, H.-M. ; Roelfsema, R. ; Mouillet, D. ; Milli, J. ; De Boer, J. ; Gisler, D. ; Bazzon, A. ; Pragt, J. ; Beuzit, J.-L. ; Costille, A. ; Dohlen, K. ; Dominik, C. ; Feldt, M. ; Kasper, M. ; Keller, C. ; Mawet, D. ; Puget, P. ; Salasnich, B. ; Thalmann, C. ; Wildi, F. ; Differential polarimetric beam shifts in the high contrast imaging polarimeter ZIMPOL / SPHERE, Proceedings of the SPIE conference , Montreal (2014)
- Langlois, M. ; Milli, J. ; High contrast polarimetry in the infrared with SPHERE on the VLT, Proceedings of the SPIE conference , Montreal (2014)
- Milli, J. ; Mawet, D. ; Absil O. ; Lagrange A.-M. ; Mouillet D. ; Augereau J.-C. ; Girard, J. H. ; First high resolution L' images of the β Pictoris debris disk with NaCo/VLT, Proceedings of the IAU Symposium 299, Victoria, Canada (2013)
- Mawet, D. ; Absil, O. ; Milli, J. ; Baudoz, P. ; Boccaletti, A. ; Chauvin, G. ; Delacroix, C. ; Girard, J. H. ; Lagrange, A. M. ; O'Neal, J. ; Bourget, P. ; Forsberg, P. ; Gonté, F. ; Habraken, S. ; Hanot, C. ; Karlsson, M. ; Kasper, M. ; Lizon, J.-L. ; Muzic, K. ; Olivier, R. ; Pena, E. ; Slusarenko, N. ; Tacconi-Garman, L. E. ; Surdej, J. ; Companion search around β Pictoris with the newly commissioned L' band vector vortex coronagraph on VLT/NACO, Proceedings of the IAU Symposium 299, Victoria, Canada (2013)
- Patru, F. ; Antichi, J. ; Rabou, P. ; Giro, E. ; Mawet, D. ; Milli, J. ; Girard, J. H. ; Discret aperture mapping with a micro-lenses array for interferometric direct imaging, Proceedings of the Third AO4ELT Conference, Venice, Italy (2013)
- Mawet, D. ; Pueyo, L. ; Lawson, P. ; Mugnier, L. ; Traub, W. ; Boccaletti, A. ; Trauger, J. T. ; Gladysz, S. ; Serabyn, E. ; Milli, J. ; Belikov, R. ; Kasper, M. ; Baudoz, P. ; Macintosh, B. ; Marois, C. ; Oppenheimer, B. ; Barrett, H. ; Beuzit, J.-L. ; Devaney, N. ; Girard, J. ; Guyon, O. ; Krist, J. ; Mennesson, B. ; Mouillet, D. ; Murakami, N. ; Poyneer, L. ; Savransky, D. ; Vérinaud, C. ; Wallace, J. K. Review of small-angle coronagraphic techniques in the wake of ground-based second-generation adaptive optics systems Proceedings of the SPIE conference 8442, Amsterdam (2012)

Contributions à des conférences

- Poster : Very deep images of the disk of β Pictoris with VLT/NaCo at L', Thirty years of beta Pic and debris disk studies, IAP Paris, France Septembre 2014
- Présentation orale flash (2min) : HR4796 and β Pictoris observed with NaCo, 2014 Sagan Exoplanet Summer Workshop, NASA JPL Pasadena, USA Juillet 2014
- Poster : Very deep images of the disk of β Pictoris with VLT/NaCo at L', 2014 Sagan Exoplanet Summer Workshop, NASA JPL Pasadena, USA Juillet 2014
- Présentation orale : Reconnaissance of the β Pictoris system down to 2 AU with VLT/NaCo, EPSC, London Septembre 2013
- Poster : First high resolution L' images of the β Pictoris debris disk with NaCo/VLT, IAU Symposium 299, Victoria, Canada Juin 2013
- Présentation orale : Data reduction of high-contrast circumstellar disk images, Observing Planetary Systems II, Santiago, Chile March 2012
- Poster : Angular Differential Imaging of Disks and application to β Pictoris, Signposts of planets, NASA GSFC Baltimore, USA Octobre 2011