

Astrophysique observationnelle

M. Antoine LABEYRIE, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

I. Cours et séminaires

Le cours de cette année a notamment porté sur les points suivants : la construction d'un hypertélescope au sol ; des versions « explosée » et mixte pour un « Extrêmement Grand Télescope » de 100 mètres qu'étudie l'Observatoire Européen Austral ; un coronographe actif à plusieurs étages pour la recherche d'exo-Terres ; l'essai envisagé d'un interféromètre en orbite géostationnaire ; les lentilles gravitationnelles diffractives et la faisabilité d'une recherche systématique de celles-ci.

Les trois derniers cours ont été effectués à l'Université de Nice-Sophia Antipolis, au Centre International de l'Observatoire de Nice.

II. Activités de recherche du Laboratoire d'Interférométrie Stellaire et Exo-planétaire (LISE)

La formation de recherche LISE associée à la chaire d'Astrophysique Observationnelle, dans le cadre d'une formation CNRS (FRE 2215) est hébergée à l'Observatoire de Haute Provence. Avec cet observatoire, l'observatoire de Marseille et le Laboratoire d'Astronomie Spatiale, elle constitue l'Observatoire Astronomique Marseille-Provence, associé à l'Université de Provence.

Le personnel du LISE comporte actuellement Ralph Krikorian (Directeur de Recherches au Collège de France), Cristina Arpesella (ATER du Collège de France), Hervé Le Coroller (ATER du Collège de France), Julien Dejonghe (technicien Collège de France), David Vernet (adjoint Technique Collège de France). Le LISE accueille actuellement quatre doctorants : Sophie Gillet, Ettore Pedretti (en co-direction à l'Université d'Harvard), Virginie Borkowski (boursière CIFRE Alcatel), Frantz Martinache (boursier BDI), ainsi qu'un agent administratif, Vanessa Olivo (emploi jeune).

Construction d'un hypertélescope précurseur (J. Dejonghe, D. Vernet, L. Arnold, S. Gillet, H. Le Coroller, A. Labeyrie)

Une mission a été effectuée dans le cratère éteint du Taburiente (La Palma, Canaries) par A. Labeyrie pour évaluer la possibilité d'y installer un hypertélescope. La qualité de turbulence, évaluée au fond du cratère avec un petit télescope portable, s'est avérée excellente pendant la période considérée en novembre 2002. Il semble possible d'installer quelques dizaines ou centaines de miroirs fixes, ayant un diamètre de l'ordre du mètre, sans affecter le caractère sauvage du site, lequel est un parc national. Cet instrument pourrait en principe être couplé interférométriquement avec de grands télescopes installés sur la crête, et notamment avec le Grantecan ou le EURO-50 dont l'étude est entamée.

Analyse d'onde pour ouvertures diluées (V. Borkowski, F. Martinache, A. Labeyrie)

Les simulations entreprises les années précédentes pour évaluer la méthode des « tavelures dispersées » ont été poursuivies par V. Borkowski et cela a permis de préciser les performances et notamment la magnitude limite.

F. Martinache a montré que le cube de données est la transformée de Fourier tri-dimensionnelle d'une fonction binaire de u, v et δ (la position sur l'ouverture et le chemin optique) représentant la forme de l'onde. Il en déduit des possibilités intéressantes pour reconstruire l'onde même dans le cas d'ouvertures redondantes.

Un montage expérimental a permis de commencer des essais en simulation de laboratoire.

Coronographie des exo-planètes (A. Labeyrie, S. Gillet, F. Martinache, en collaboration)

Trente ans après la proposition d'un coronographe sur le Télescope Hubble, destiné à rechercher des exo-planètes, la construction d'un télescope spatial dédié à cet usage est envisagée par la NASA, en attendant le stade des interféromètres. Des chercheurs du LISE participent aux études. L'idée de correction à plusieurs étages, exposée dans le cours de cette année, a ainsi fait l'objet de simulations par deux groupes américains qui ont confirmé le gain indiqué par les simulations faites en France par R. Soummer et par A. Labeyrie. La possibilité d'apodiser par contraste de phase a aussi été simulée par F. Martinache.

Travaux des groupes associés à la chaire

Exobiologie (J. Schneider, L. Arnold, O. Lardière, S. Gillet)

La lumière cendrée de la Lune, qui est réfléchiée depuis la Terre avant d'y retourner, a été observée en spectroscopie à basse résolution, pour tenter d'y

déceler la signature spectrale de la chlorophylle terrestre. Il s'agit d'évaluer la détectabilité de telles signatures biologiques sur des planètes circumstellaires. Le signal recherché dans la lumière cendrée lunaire a été détecté.

Relativité Générale (R. Krikorian)

Son activité de recherche a été, en particulier, consacrée à l'étude de certains problèmes d'hydrodynamique relativiste, fluide normal et superfluide, et de supraconductivité.

En hydrodynamique relativiste, il a poursuivi son étude de l'hydrodynamique dans un espace de Riemann, en adoptant l'approche anholonomique. Il a considéré le cas d'un fluide parfait chargé dans un champ électromagnétique donné. Les équations de l'hydrodynamique ont été écrites sous la même forme qu'en relativité restreinte avec des termes supplémentaires contenant l'objet d'anholonomie. La présence de cet objet géométrique est nécessaire pour que la théorie soit invariante lors du passage d'un repère naturel à un repère anholonomique. La formulation anholonomique de l'hydrodynamique peut être utilisée pour étudier, dans le cadre de la relativité restreinte, les fluides en rotation relativiste. La formulation anholonomique de l'électrodynamique a permis de résoudre certains paradoxes liés à la rotation.

Le cas superfluide

Selon Hill (Phys Rev 69, 488, 1946), dans le cas de la rotation relativiste, la relation donnant la vitesse en fonction de la distance à l'axe de rotation doit être non linéaire. En collaboration avec D. Sedrakian, il a appliqué l'approche de Hill à l'étude d'un superfluide en rotation relativiste.

Ils ont obtenu l'équation différentielle pour la fonction vitesse superfluide-distance. Cette équation a été obtenue en supposant que la densité des filaments de tourbillons est une constante donnée dans le référentiel au repos des filaments. Les cas limites de grande et petite distance à l'axe de rotation ont été examinés.

Supraconductivité

En collaboration avec D. Sedrakian, il a obtenu un système couplé d'équations aux dérivées partielles pour la détermination du champ électrique et du paramètre d'ordre des supra-électrons. Pour obtenir ces équations ils ont écrit une expression pour l'énergie libre des supra-électrons en présence d'un champ électrique, la minimisation de cette expression conduisant aux équations demandées.

Ils travaillent actuellement à la formulation de la supraconductivité dans les référentiels en rotation relativiste, en adoptant l'approche anholonomique.

Publications

Articles publiés dans des journaux à comité de lecture :

1. « Coronagraphic search for extra-terrestrial planets with a hypertelescope : I. In the thermal IR », P. Riaud, A. Boccaletti, S. Gillet, J. Schneider, A. Labeyrie, L. Arnold, O. Lardiere, J. Dejonghe & V. Borkowski, *Astron. Astrophys.*, **396**, 345-352, 2002.

2. « Imaging capabilities of hypertelescopes with a pair of micro-lens arrays », S. Gillet, P. Riaud, O. Lardière, J. Dejonghe, J. Schmitt, L. Arnold, A. Boccaletti, D. Horville & A. Labeyrie, *Astron. and Astroph.*, **400**, 393-396, 2003.

3. « Speckle Symmetry with High-Contrast Coronagraphs », Boccaletti, A., Riaud, P., Rouan, D., *PASP*, **114**, 792, pp. 132-136, 2002.

4. « A test for the search for life on extrasolar planets. Looking for the terrestrial vegetation signature in the Earthshine spectrum », Arnold, L., Gillet, S., Lardière, O., Riaud, P., Schneider, J., *Astronomy and Astrophysics*, v. 392, pp. 231-237, 2002.

5. « On Pulsar Electrodynamics in Rotating Frames », Sedrakian, D.M., Krikorian, R.A., *Astrophysics*, v. 44, Issue 4, pp. 469-475, 2001.

6. « Note on the tetrad formulation of relativistic hydrodynamics », R.A. Krikorian, soumis à *NuovoCimento B*.

7. « Note on the tetrad formulation of the equations of motion in general relativity », R.A. Krikorian (en préparation).

8. « The Four-Quadrant Phase-Mask Coronagraph. II. Simulations », Riaud, P., Boccaletti, A., Rouan, D., Lemarquis, F., Labeyrie, A., *PASP*, Volume 113, Issue 787, pp. 1145-1154, 2001.

9. « Search for spectroscopical signatures of transiting HD 209458b's exosphere », Moutou, C., Coustenis, A., Schneider, J., St Gilles, R., Mayor, M., Queloz, D., Kaufer, A., *Astronomy and Astrophysics*, v. 371, pp. 260-266, 2001.

10. « Snapshot coronagraphy with an interferometer in space », Boccaletti, A., Riand, P., Moutou, C., Labeyrie, A., *Icarus*, vol. 145, pp. 628-636, 2000.

11. « Diffusion velocity and reactive thermal conductivity for shock waves propagating in the hydrogen gas », H. Le Coroller, *A&A*, **393**, 693, 2002.

12. « On the tetrad formulation of the equations of motions in general relativity », R. Krikorian, à paraître, *Astrophysics*, 2003.

13. « A note on relativistically rotating superfluid », D. Sedrakian & R. Krikorian (en préparation).

14. « A note on time independent electric field in superconductors », D. Sedrakian & R. Krikorian (en préparation).

15. « Analysis of piston errors in multi aperture interferometers and hypertelescopes from multi-spectral image », V. Borkowski, F. Martinache, A. Labeyrie & D. Peterson (en préparation).

Articles publiés dans des actes de colloques :

1. « Imaging planetary systems with Eddington using a coronagraphic four-quadrants phase-mask », Riaud, P., Schneider, J., Gillet, S., Baudrand, J., Boccaletti, A., Rouan, D. In : *Proceedings of the First Eddington Workshop on Stellar Structure and Habitable Planet Finding*, 11-15 June 2001, Córdoba, Spain. Editor : B. Battrick, Scientific editors : F. Favata, I. W. Roxburgh & D. Galadi. ESA SP-485, Noordwijk : ESA Publications Division, ISBN 92-9092-781-X, 2002, pp. 147-152.

2. « Primitive life outside the solar system : generalized chlorophylls » ; Coliolo, F., Schneider, J., Labeyrie, A., Gastellu, J.Pe. In : *Exo-/astro-biology. Proceedings of the First European Workshop*, 21-23 May 2001, ESRIN, Frascati, Italy. Eds. : P. Ehrenfreund, O. Angerer & B. Battrick. ESA SP-496, Noordwijk : ESA Publications Division, ISBN 92-9092-806-9, 2001, pp. 321-323.

3. « La vie en dehors du système solaire les 50 prochaines années », Schneider, J., *L'Astronomie*, 115, 314-315, 2001.

4. « The French GDR Exobio », Raulin, F., Brack, A., Commeyras, A., Despois, D., Engrand, C., Forterre, P., Gautier, D., Guillemin, J.-C., Jaeger, L., Leach, S., Léger, A., Léon, S., Maurel, M.-C., Maurette, M., Prieur, D., Robert, F., Schneider, J., Westhof, E. In : *Exo-/astro-biology. Proceedings of the First European Workshop*, 21-23 May 2001.

5. « Detecting exo-Earths with hypertelescopes in space : the Exo-Earth Discoverer concept », Labeyrie, A., « *Astronomy with High Contrast Imaging* », May 13-16, 2002, Nice, France, EAS Publications Series, Claude Aime & Rémi Soumer (eds), 8, p. 327, 2003.

6. « A ground-based study for the 40 coronagraph », P. Riaud, A. Boccaletti, J. Baudrand and D. Rouan, « *Astronomy with High Contrast Imaging* », May 13-16, 2002, Nice, France, EAS Publications Series, Claude Aime & Rémi Soumer (eds), 8, p. 201, 2003.

7. « High-contrast coronagraphy with NGST in the mid-IR », A. Boccaletti, P. Riaud, D. Rouan & J. Baudrand, « *Astronomy with High Contrast Imaging* », May 13-16, 2002, Nice, France, EAS Publications Series, Claude Aime & Rémi Soumer (eds), 8, p. 159, 2003.

8. « Detecting the terrestrial vegetation while observing Earth as a single dot », L. Arnold, S. Gillet, O. Lardière, P. Riaud & J. Schneider, « *Astronomy with High Contrast Imaging* », May 13-16, 2002, Nice, France, EAS Publications Series, Claude Aime & Rémi Soumer (eds), 8, p. 17, 2003.

9. « Sites and adaptative phasing for 1-10 km hypertelescopes », O. Lardière, J. Dejonghe, P. Riaud, S. Gillet, L. Arnold, A. Labeyrie, IAU Site 2000, ASO Conf. Series, 266, pp. 608-615, 2002.

10. « Hypertelescope imaging : from exo-planets to neutron stars », A. Labeyrie, H. Le Coroller, J. Dejonghe, F. Martinache, V. Borkowski, O. Lardière, L. Koechlin, Proc. SPIE 4838, Hawaii, 2002.

11. « High Angular Resolution in 2010-2020 : a comparison between possible post-VLT/VLTI instruments », L. Arnold, A.M. Lagrange, D. Mourard, P. Riaud, M. Ferrari, S. Gillet, P. Kern, L. Koechlin, A. Labeyrie, O. Lardière, F. Malbet, G. Perrin, G. Rousset, M. Tallon, Proc. SPIE 4838, Hawaii, 2002.

12. « VIDA (Vlti Imaging with a Densified Array) : a densified pupil combiner proposed for snapshot imaging with the VLTI », O. Lardière, A. Labeyrie, D. Mourard, P. Riaud, L. Arnold, J. Dejonghe, S. Gillet, Proc. SPIE 4838, Hawaii, 2002.

13. « A wavefront analysis algorithm for multi-aperture interferometers and hypertelescopes », V. Borkowski, F. Martinache, D. Peterson, A. Labeyrie, « Earth-like planets and moons », ESLAB 36th Symp., p. 273, 3-8 June 2002, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-514, 2002.

14. « Coronagraphy study for Hypertelescope », S. Gillet, P. Riaud, A. Boccaletti, L. Arnold, O. Lardière, V. Borkowski, A. Labeyrie, « Earth-like planets and moons », ESLAB 36th Symp., p. 267, 3-8 June 2002, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-514, 2002.

15. « Ground demonstration of Hypertelescopes », S. Gillet, P. Riaud, O. Lardière, J. Dejonghe, A. Labeyrie, V. Borkowski, L. Arnold, « Earth-like planets and moons », ESLAB 36th Symp., p. 263, 3-8 June 2002, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-514, 2002.

16. « A test for life on exoplanets : Terrestrial vegetation detection in Earths-hine spectrum », L. Arnold, S. Gillet, O. Lardière, P. Riaud, J. Schneider, « Earth-like planets and moons », ESLAB 36th Symp., p. 259, 3-8 June 2002, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-514, 2002.

17. « Hypertelescopes and exo-Earth coronagraphy », A. Labeyrie, « Earth-like planets and moons », ESLAB 36th Symp., p. 245, 3-8 June 2002, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-514, 2002.

18. « Spaceborne hypertelescope controlled by solar sails », O. Lardière, A. Labeyrie, « Earth-like planets and moons », ESLAB 36th Symp., p. 51, 3-8 June 2002, ESTEC, Noordwijk, The Netherlands, ESA SP-514, 2002.

19. « Search for terrestrial extrasolar planets : visible versus infrared », J. Schneider, SF2A-2002 « Semaine de l'Astrophysique Française, Paris, France, June 24-29, 2002, Ed. by F. Combes, D. Barret, EDP-Sciences, conf. Series.

20. « The French Groupe de Recherche en Exobiologie », J. Schneider, SF2A-2002 « Semaine de l'Astrophysique Française, Paris, France, June 24-29, 2002, Ed. by F. Combes, D. Barret EDP-Sciences, conf. Series.

21. « VLT-planet finder : drivers and requirements for very high image quality instrumentation », D. Mouillet, J.-L. Beuzit, T. Fusco, A.-M. Lagrange, R. Soumer, L. Abe, P. Riaud, SF2A-2002 « Semaine de l'Astrophysique Française, Paris, France, June 24-29, 2002, Ed. by F. Combes, D. Barret EDP-Sciences, conf. Series.