

## **Astrophysique observationnelle**

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

### **I. Cours et séminaires au Collège de France**

Les cours de cette année à Paris ont porté sur les sujets suivants :

1. Interférences à Hawaii et au Chili.
2. Étude en cours d'un essai d'interféromètre en orbite géostationnaire.
3. Optique adaptative pour les grands interféromètres : idées récentes.
4. Construction d'un hypertélescope au sol.
5. Observations cosmologiques avec des hypertélescopes : possibilités et limitations.
6. Coronographie optique et infra-rouge pour l'observation d'exo-planètes dans l'espace.

Ils ont été complétés par un cours à Marseille et deux cours à Nice portant sur des sujets apparentés. Les images projetées pendant le cours et plusieurs séminaires seront affichées sur le site Internet du Collège de France.

### **II. Activités de recherche**

L'équipe 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.

#### **Télescope interférométrique prototype pour un Optical Very Large Array (J. Dejonghe, L. Arnold, O. Lardière, D. Vernet)**

Les essais du télescope prototype de 1,5 m se poursuivent. Des difficultés ont été rencontrées avec le logiciel de pilotage qui avait été acquis, mais J. Dejonghe

a pu qualifier celui-ci et améliorer la correction des images, qui approche maintenant de la limite fixée par la turbulence atmosphérique.

**Étude d'un hypertélescope précurseur (J. Dejonghe, O. Lardière, D. Vernet, L. Arnold, S. Gillet, P. Riaud, H. Le Coroller, A. Labeyrie)**

Un montage d'essai sur le ciel a été construit pour expérimenter une optique d'hypertélescope. Visant l'étoile Polaire, il a permis de préciser les conditions d'utilisation de ce genre d'optique en vue d'un projet plus important, dont la définition est entamée.

Les oscillations d'un ballon captif à hélium, de 6 mètres de diamètre, ont été mesurées en août 2002. La recherche de sites possibles pour un grand hypertélescope de type « Carlina » a été entamée.

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

Les algorithmes usuels servant à analyser le bosselage d'une onde lumineuse, pour le corriger au moyen d'une optique adaptative, ne conviennent pas pour les ouvertures diluées. Après le travail effectué avec E. Pedretti pour résoudre ce problème, et son étude d'une méthode utilisant des triplets d'ouvertures groupées hiérarchiquement, A. Labeyrie a proposé une autre méthode, extrapolant celle jadis utilisée avec deux ouvertures par Michelson. Elle exploite une série d'images, enregistrées à des longueurs d'ondes différentes, par analyse de Fourier tri-dimensionnelle. L'algorithme correspondant a été écrit et utilisé pour des simulations numériques qui ont permis de vérifier les propriétés de la méthode, et notamment sa sensibilité qui semble suffisante. La comparaison avec d'autres méthodes doit maintenant être entamée. L'étude d'un montage optique est commencée.

**Imagerie hypertélescope au Chili avec le VLTI (O. Lardière, A. Labeyrie)**

L'obtention d'interférences avec les télescopes européens de 8 mètres au Chili nous a encouragés à proposer un instrument d'imagerie hypertélescope. Malgré le faible nombre des ouvertures, qui modère le gain en sensibilité apporté par un mode hypertélescope, celui-ci est suffisant pour justifier un tel mode, notamment pour la coronographie.

**Coronographie à plusieurs étages (A. Labeyrie, Soummer)**

La coronographie dans le visible exige une correction très poussée des résidus de turbulence. Cependant, il est apparu un moyen pour utiliser plusieurs étages en cumulant leurs atténuations : les résidus stellaires tavelés au foyer d'un coronographe peuvent être mis en phase par des actuateurs. Ceci fait apparaître un pic dans la pupille située en aval, lequel peut être masqué avant de ré-imager le

plan image. L'image de la planète est peu affectée. Le processus peut être itéré. Cette méthode exige que l'étoile ne soit pas résolue, et s'applique notamment aux sous-ouvertures d'un interféromètre visible.

**Proposition à la NASA d'une version hypertélescope pour le Terrestrial Planet Finder (A. Boccaletti, O. Lardière, P. Riaud, S. Gillet, J. Schneider, D. Rouan, A. Labeyrie)**

Des calculs et simulations numériques ont permis de préciser la sensibilité de la version « Exo-Earth Discoverer » proposée, et le gain de sensibilité qu'elle apporte par rapport au concept initialement exploré par l'Agence Spatiale Européenne et la NASA.

**Proposition à la NASA de miroirs à particules piégées par laser**

L'étude entamée s'est poursuivie en collaboration avec une équipe américaine et des équipes françaises. Le comportement de nano-sphères piégées dans des ondes stationnaires a été précisé par des simulations numériques. Les particules, échangeant des photons infra-rouges avec le fond galactique, oscillent avec une amplitude croissante dans leur piège et tendent à s'évader s'il n'y a pas d'amortissement.

L'amortissement pourrait être effectué de différentes façons : 1. par résonance optique, rendant la transmission de lumière laser sensible à la vitesse de la particule ; 2. par résonance électronique, en incluant des « boîtes quantique » dans les particules pour rendre également l'absorption sensible à la vitesse.

Plusieurs possibilités sont également étudiées pour charger le piège en particules. Des essais en laboratoire sont envisagés.

**Travaux des groupes associés à la chaire**

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

La lumière cendrée de la Lune, provenant de la Terre 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)**

Étudiant les pulsars, R. Krikorian a examiné certains problèmes théoriques dans les domaines suivants :

1. Hydrodynamique relativiste : Il a étudié certains aspects d'hydrodynamique en relativité générale en adoptant la méthode des repères anholonomiques. Les

équations de l'hydrodynamique peuvent se mettre sous la même forme qu'en relativité restreinte, avec des termes supplémentaires contenant l'objet d'anhonomie. La définition du tenseur de vorticité doit contenir cet objet pour une formulation cohérente de l'hydrodynamique dans un tel repère.

2. Dynamique relativiste : Van Dantzig a montré qu'en relativité générale, les équations de la dynamique peuvent s'écrire sous une forme invariante par rapport aux transformations arbitraires des coordonnées d'espace-temps et indépendantes de la métrique. J'ai montré que par rapport à un repère anholonomique l'équation du mouvement de Van Dantzig n'est équivalente à l'équation qui généralise à l'espace-temps courbe la loi de Heaviside-Lorentz que si le repère est ortho-normé.

3.  lectrodynamique-superfluidité. En collaboration avec D. Sedrakian, nous continuons notre travail sur l'électrodynamique des pulsars. Nous avons commencé à travailler sur une formulation des équations hydrodynamiques de la superfluidité en Relativité Générale indépendante de la métrique.

## **Publications**

### **Articles publiés dans des journaux à comité de lecture :**

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

Gillet, S., Riaud, P., Dejonghe, J., Lardière, O., Schmitt, J., Labeyrie, A., Arnold, L., Boccaletti, A. & Horville, D. Imaging capabilities of hypertelescopes. *Astronomy and Astrophysics* (2002), in print.

Riaud, P., Boccaletti, A., Gillet, S., Schneider, J., Labeyrie, A., Arnold, L., Lardière, O., Dejonghe, J. & Borkowski, V. « Coronagraphic search for extra-terrestrial planets with a hypertelescope : I — In the thermal IR », *Astronomy and Astrophysics* (2002), in print.

Sedrakian, D. & Krikorian, R. Rotation and pulsar electrodynamics. *Nuovo cimento B* (2002),   para tre.

Krikorian, R. Note on the tetrad formulation of relativistic hydrodynamics. *Nuovo Cimento B*, soumis.

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

### **Articles publi s dans des actes de colloques :**

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

Borkowski, V., Martinache, F., Peterson, D. & Labeyrie, A. « A Wavefront analysis algorithm for multi-aperture interferometers and Hypertelescopes », ESLAB 36, 2002.

Lardière, O., Labeyrie, A., Gillet, S. & Riaud, P. « Spaceborne hypertelescope : a spacecraft formation flying controlled by solar sails », Proc. of 2<sup>nd</sup> International Workshop on Satellite Constellations and Formation Flying, Haifa, p. 181-186 (2001). (Word file available from [lardiere@obs-hp.fr](mailto:lardiere@obs-hp.fr)).

Lardière, O. & Labeyrie, A. « Spaceborne hypertelescope controlled by solar sails », proc. EarthLike planets and moons symposium, ESLAB 36, 2002.

Labeyrie, A., « Hypertelescopes and exo-Earth coronagraphy », ESLAB 36, conf., 2002.