

Astrophysique observationnelle

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

I. Cours

Le cours de cette année, intitulé « Exo-planètes, étoiles et galaxies : progrès de l'observation » prolonge celui des années précédentes et évoque les nouveaux projets dans le domaine de la haute résolution optique. La notion d'interféromètre à pupille densifiée, maintenant baptisé « hyper-télescope », dont la première description avait été donnée dans le cours quelques années plus tôt, a pris une place importante en raison des nouveaux projets qui en découlent. Permettant la formation d'images directes à haute résolution au foyer d'interféromètres hautement dilués, elle apparaît comme un moyen privilégié d'obtenir des images résolues de planètes extra-solaires.

II. Activités de recherche

La possibilité théorique de rechercher la vie sur des planètes extra-solaires, à partir d'images résolues où l'on tenterait de distinguer des taches vertes, a fait l'objet de simulations. Celles-ci (Labeyrie, Science, 17 septembre 1999 ; Labeyrie, La Recherche, mars 2000) confirment que de telles taches sont détectables si l'on utilise un hyper-télescope de 150 km au moins, et comportant au moins 150 ouvertures de 3 mètres. L'interprétation de telles taches colorées, qui ne sont pas nécessairement vertes, comme indices de vie photosynthétique nécessitera des précautions supplémentaires : il faudra essayer de repérer les variations saisonnières et autres permettant de distinguer des colorations minérales.

Outre l'imagerie directe utilisant le principe de la pupille densifiée, de telles observations nécessiteront une élimination très poussée de la lumière provenant de l'étoile mère. Les techniques de coronagraphie, récemment perfectionnées par F. Roddier et par D. Rouan, s'avèrent utilisables sur les hyper-télescopes.

Des hyper-télescopes de première génération sont envisagés pour le sol et l'espace. Après l'essai sur le ciel d'un hyper-télescope miniature (Pedretti et al., 2000), il est envisagé d'entamer des essais au radio-télescope d'Arécibo, en y installant des éléments de miroir optique. Le concept d'un équivalent optique terrestre, plus grand mais dilué et incorporant le principe des hyper-télescopes, est étudié sous le nom de CARLINA (emprunté à une fleur alpine composée) et pourrait faire l'objet d'une proposition à l'Observatoire Européen Austral.

Pour l'espace, des hyper-télescopes beaucoup plus puissants sont proposés aux agences spatiales.

Télescope interférométrique prototype (J. Dejonghe, L. Arnold, O. Lardière, D. Vernet, C. Cazalé)

Les premiers essais sur le ciel ont permis de vérifier partiellement le fonctionnement de l'optique active. La fiabilité des capteurs de force s'est cependant avérée insuffisante, et il a fallu les remplacer, ce qui a fourni l'occasion de diverses améliorations mécaniques.

Essai sur le ciel d'un hyper-télescope miniature (E. Pedretti, A. Boccaletti, L. Arnold, A. Labeyrie)

Le principe de l'interféromètre imageur à pupille densifiée ou hyper-télescope semble ouvrir une voie évolutive pour les futurs interféromètres au sol et dans l'espace. Après l'analyse théorique et les simulations numériques, il importait d'en construire une version miniature et de l'essayer sur le ciel après des essais en laboratoire. Ces essais, effectués dans le cadre de sa thèse par E. Pedretti avec l'aide d'autres chercheurs, ont confirmé la théorie (Pedretti et al., 2000).

Étude d'un grand hyper-télescope terrestre à géométrie sphérique
(E. Pedretti, P. Riaud, A. Boccaletti, S. Gillet, L. Arnold, O. Lardière, A. Labeyrie)

Il devient envisageable de construire un hyper-télescope dont le diamètre pourrait atteindre un kilomètre, qui utiliserait des éléments de miroir primaire fixes et une optique focale mobile, portée par un ballon.

Projet d'essai d'un hyper-télescope optique utilisant le radio-télescope d'Arécibo (E. Pedretti, P. Riaud, A. Boccaletti, S. Gillet, L. Arnold, O. Lardière, A. Labeyrie)

Parmi les différents sites terrestres envisagés pour faire un essai d'hyper-télescope, celui du radio-télescope d'Arécibo offre l'avantage d'être équipé pour poursuivre l'image d'une étoile. Après une visite exploratoire, une demande de temps a été soumise pour un essai relativement modeste, mais qui pourrait en cas de succès déboucher sur un renforcement progressif, en ajoutant des éléments

de miroir. La configuration optique calculée est proche de celle proposée pour les versions spatiales (voir ci-dessous), et pourrait donc permettre de vérifier le fonctionnement de ces versions. Les essais permettront aussi d'évaluer la version terrestre kilométrique CARLINA qui pourrait ultérieurement être proposée.

Proposition à l'Agence Spatiale Européenne d'un « hyper-télescope » spatial (A. Boccaletti, C. Moutou, F. Vakili, L. Abe, L. Arnold, O. Lardière, P. Riaud, E. Pedretti, J. Schneider, A. Labeyrie)

En réponse à l'appel à propositions de l'Agence Spatiale Européenne, le concept d'un hyper-télescope précurseur a été soumis. Incorporant le principe de l'imagerie à pupille densifiée, l'instrument baptisé EPICURUS comporte une flottille de petits miroirs, reconstituant « en pointillés » un miroir sphérique dilué et alimentant une ou plusieurs stations focales. Les éléments sont propulsés par des voiles solaires, et par des fusées ioniques pour les stations focales. La proposition n'a pas été sélectionnée par l'Agence, mais est resoumise sous une forme modifiée à la NASA (voir ci-après).

Contribution à l'étude entamée par la NASA pour le Terrestrial Planet Finder (A. Boccaletti, A. Labeyrie, F. Vakili, L. Abe, L. Arnold, O. Lardière, P. Riaud, S. Gillet, J. Schneider, D. Rouan, R. Kaiser, A. Labeyrie)

Sollicité par deux équipes américaines pour contribuer à l'étude de cet instrument. A. Labeyrie a entamé avec l'une d'elles, associée à un consortium industriel américain, une collaboration à laquelle participent des chercheurs rattachés à la chaire et à d'autres laboratoires français (Laboratoire d'Astronomie Spatiale, Observatoire de Marseille, Observatoire de Meudon). L'apport de l'équipe LISE est la proposition d'une version « hyper-télescope » de ce grand projet d'interféromètre spatial, qui permet en principe d'améliorer la sensibilité de détection des exo-planètes.

A. L.

Travaux des groupes associés à la chaire

Grand Interféromètre à 2 Télescopes (Denis Mourard, Farokh Vakili, Daniel Bonneau, Alain Blazit)

L'installation d'un nouveau combineur d'images a été effectuée, et les essais d'observation ont repris. Simultanément, l'analyse de données antérieures a été poursuivie et donné lieu à plusieurs articles.

Astrophysique théorique (Ralph Krikorian)

Étudiants en thèse et DEA

— Anthony Boccaletti : « Coronagraphie et speckles noirs pour l'imagerie de planètes extra-solaires », thèse soutenue en septembre 1999.

— Olivier Lardière : « Télescopes automatiques et grands interféromètres optiques : architecture électronique et logicielle », thèse soutenue le 16 juin 2000.

— Ettore Pedretti : Thèse entamée sur les techniques de mise en phase pour les interféromètres à ouvertures multiples. Elle va être poursuivie à Harvard (Center for Astrophysics).

— Sophie Gillet : Stage de DEA effectué sur la simulation d'imagerie par hyper-télescope, et thèse entamée en juin 2000.

Création du Laboratoire d'Interférométrie Stellaire et Exoplanétaire (LISE)

Le CNRS a créé le LISE, placé sous la direction de A. Labeyrie qui n'a pas souhaité renouveler son mandat de directeur de l'Observatoire de Haute Provence, et associé au Collège de France ainsi qu'au nouvel OSU Marseille-Provence regroupant également l'Observatoire de Marseille, l'Observatoire de Haute Provence et le Laboratoire d'Astronomie Spatiale. Installé dans un bâtiment rénové à l'Observatoire de Haute Provence, le LISE contribue aux projets interférométriques au sol et dans l'espace.

Publications majeures

1. « A hierarchical phasing algorithm for multi-element optical interferometers », Pedretti, E. & Labeyrie, A., 1999, *A&AS* **137**, 1.

2. « Snapshot coronagraphy with an interferometer in space », Boccaletti, A., Riaud, P., Moutou, C. & Labeyrie, A., *Icarus*, vol. 145, p. 628-636, May 2000.

3. « Snapshots of alien worlds the future of interferometry », Labeyrie, A., *Science*, 17 September 1999.

4. « First images on the sky from a hyper telescope », Pedretti, E., Labeyrie, A., Arnold, L., Thureau, N., Lardière, O., Boccaletti, A. & Riaud, P., *A&A*, 2000 (à paraître).

5. « The Four-quadrant Phase Mask Coronagraph. I. Principle »,

6. Rouan, D., Riaud, P., Boccaletti, A., Clénet, Y. & Labeyrie, A., *Pub. Astron. Soc. Pacific* (à paraître).

7. « On the Weierstrass and Legendre conditions in Lagrangian relativistic dynamics », Krikorian, *Nuovo Cimento B* 115, 427, 2000.

8. « On the rotation of fluids in a relativistically rotating container », Sedrakian, Krikorian, soumis à *Nuovo Cimento*.

9. « Rotation and pulsars electrodynamics », Sedrakian, Krikorian, soumis à MNRAS.

Communications avec actes

10. « A coronagraphic Dark-Speckle Imager for the NGST », Moutou, C., Boccaletti, A. & Labeyrie, A., 1998, in the *Next Generation Space Telescope : science drivers and technological challenges*, CR du 34^e Colloque International Astrophysique de Liège, 15-18 juin, p. 121.

11. « Dark-Speckle Coronagraphy in the Infrared », Moutou, C., Boccaletti, A., Mouillet, D., Lagrange, A.M. & Labeyrie, A., VLT Symposium, Antofagasta, in preparation.

12. « Feasibility of laser-trapped membrane mirrors in space », Labeyrie, A., in Proc. of « *Ultralight space optics challenge workshop* », Napa Valley, march 24-25, 1999.

13. « Exo-Earth Imager for exo-planet snapshots with resolved detail », Labeyrie, A., proc. conf. *Working on the Fringe*, Dana Point, USA, may 1999, PASP 2000.

14. « Réseaux Imageurs post-VLTI », Labeyrie, A., Forum du Programme National de Haute Résolution Angulaire en Astronomie, Grenoble, 14-16 juin 1999.

15. « Visible and infra-red imaging with DARWIN : feasibility of a visible precursor » Labeyrie, A., Schneider, J., Boccaletti, A., Riaud, P., Moutou, C., Abe, L. & Rabou, P., ESA coll., Stockholm, Nov. 1999.

16. Lardièrre, P. et al., SPIE, Munich 2000.

Autres publications

17. « Des miroirs géants en pointillés », A. Labeyrie, La Recherche, mars 2000.

Activités internationales

Participation à l'étude du Next Generation Space Telescope (NASA et ESA) : proposition et étude d'un coronographe pour la détection d'exo-planètes.

Proposition d'interféromètre spatial EPICURUS à l'Agence Spatiale Européenne, non sélectionnée pour le stade actuel mais envisagée pour une étape ultérieure.

Participation à l'étude de Terrestrial Planet Finder (NASA) : 1. proposition et étude d'un concept hyper-télescope ; 2. proposition de miroirs piégés par laser.

Proposition d'observation optique en mode hyper-télescope au radio-télescope d'Aréçibo (Porto Rico, États-Unis).

Information et diffusion, cours et conférences

- A. Labeyrie, août 1999, Cours à l'Institute of Space Science, L'Aquila, Italie.
- A. Labeyrie, conférence de remise de la médaille Benjamin Franklin attribuée par le Franklin Institute (Philadelphie, avril 2000).
- A. Labeyrie, conférence au Centre Astronomique de Saint-Michel l'Observatoire (juillet 2000).
- A. Labeyrie, conférence au Centre d'Études Nucléaires de Cadaraches (juin 2000).