

## **Astrophysique observationnelle**

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

### COURS ET SÉMINAIRES : EXO-PLANÈTES, ÉTOILES ET GALAXIES : PROGRÈS DE L'OBSERVATION

Le cours de cette année a porté sur les avancées récentes de l'observation astronomique, particulièrement en matière de haute résolution angulaire. Il a notamment décrit la construction entamée d'un nouveau type d'instrument « hypertélescope », qui devrait en principe accroître beaucoup cette résolution et la qualité des images célestes. Une meilleure compréhension du fonctionnement des étoiles et objets plus lointains en est attendue. En particulier, lorsque les planètes d'étoiles proches pourront être observées avec un hypertélescope à ouverture diluée de 100 km situé dans l'espace, leurs détails deviendront suffisamment visibles pour permettre d'y rechercher la présence de vie.

Le principe des hypertélescopes a été discuté depuis plusieurs années dans le cours, et son intérêt théorique pour l'observation astronomique s'est confirmé.

Une autre possibilité, éventuelle et non confirmée, présentée dans le cours a été l'utilisation des anneaux de Saturne, ou d'autres grandes structures naturelles diffusant la lumière d'une source d'arrière-plan, comme télescope géant.

Enfin, le concept déjà abordé l'année précédente d'un hypertélescope dans l'espace, formé de micro-miroirs piégés par laser a été précisé. L'essai entamé en laboratoire, sous ultra-vide, du piégeage d'un élément de miroir a été présenté.

Des séminaires ont été donnés à Paris par Anne-Marie Lagrange, Olivier Chesneau, Pierre Kervella, Anthony Boccaletti, Jean Schneider et Andrea Chiavassa.

Trois des cours et séminaires ont été organisés cette année encore à l'université Joseph Fourier de Grenoble par I. Joncour, dans le cadre de l'école doctorale, pendant trois jours, avec la participation de multiples intervenants et une table ronde.

Des cours de cette année au Collège de France ont été filmés et mis en ligne sur le site de la chaire ([http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast\\_obs/](http://www.college-de-france.fr/default/EN/all/ast_obs/)).

## ACTIVITÉS DE RECHERCHE DU LABORATOIRE D'INTERFÉROMÉTRIE STELLAIRE ET EXO-PLANÉTAIRE (LISE)

Depuis plusieurs années la faisabilité pratique d'hypertélescopes a été validée par des études techniques, des simulations, et la construction d'éléments. Cette année a vu commencer la construction dans une haute vallée de l'Ubaye d'un prototype de dimension suffisante, avec une ouverture diluée de 57 m, extensible à 200 m, pour entamer un programme scientifique inaccessible aux télescopes et interféromètres existants.

### **Hypertélescope prototype à l'observatoire de Haute-Provence**

(J. Dejonghe & H. Le Coroller)

Parmi les différentes architectures opto-mécaniques possibles pour les hypertélescopes, celle qui exploite la courbure naturelle d'une vallée ou d'un cratère pour y disposer des miroirs fixes présente un intérêt particulier, déjà démontré en radioastronomie par le radio-télescope d'Arecibo. Il comporte un miroir de 330 m en tôle d'aluminium, dont la forme approche celle d'une calotte sphérique avec une précision centimétrique. En optique, les miroirs dilués prévus pour atteindre une dimension comparable sont formés de centaines d'éléments séparés qui doivent être co-sphérisés avec une précision bien meilleure, de l'ordre du micron. Pour mesurer les erreurs de position, une technique interférentielle utilisant un laser blanc a été mise au point à l'observatoire de Haute-Provence. En 2011, une étape importante a été franchie avec les premiers essais concluants d'un système de métrologie laser « à frange blanche », destiné à positionner au micron près les petits miroirs espacés formant un miroir primaire géant dilué. Ceci a nécessité en outre la mise au point d'un système d'asservissement pour stabiliser un petit miroir, porté au centre de courbure par un ballon captif à hélium. Ce travail a été mené avec les équipes techniques de l'observatoire de Haute-Provence, sur le prototype d'hypertélescope dont la construction avait démarré en 2003. La validation complète de l'expérience est prévue pour 2012, avec des observations stellaires.

### **Construction entamée d'un hypertélescope à ouverture de 57-200 m**

(A. Labeyrie, A. Rondi, F. Allouche, R. Chakraborty, J.P. Rochaix, D. Vernet, D. Mourard, J. Maillot, F. Bolgar, R. Prudhomme, M. Roussel, E. Fossat, N. Palitzyne, J.R. Poletti, B. Tregon, M. Meyran)

Après avoir précisé de façon théorique, par calcul et simulation numérique de la formation des images, le gain de sensibilité et d'information prévisible avec les hypertélescopes, il a été entrepris cette année d'entamer des essais en vraie grandeur sur un embryon d'hypertélescope conçu pour pouvoir évoluer ultérieurement, en cas de succès, vers un instrument très puissant destiné à améliorer les observations astronomiques et donc notre compréhension des étoiles, galaxies, etc. Le concept d'opto-mécanique à géométrie sphérique est inspiré par le radio-télescope d'Arecibo (Porto Rico), mais son grand miroir sphérique est ici dilué pour privilégier la résolution angulaire des images.

Après les reconnaissances de sites possibles effectuées les années précédentes dans différents massifs montagneux (Caldeira de Taburiente aux Canaries, Haut-Atlas marocain, Pyrénées espagnoles), une profonde vallée du Haut-Ubaye, dans les Alpes du Sud, a été choisie pour sa courbure régulière, pour le climat favorable de ce massif, et pour la quasi-absence de vent nocturne pendant les périodes de beau temps.

Au sol, de petits miroirs fixes sont disposés sur des tripodes rigides, selon une forme d'ensemble sphérique précise. 100 m plus haut, sur la surface focale de la sphère, une caméra est suspendue à un câble qui traverse la vallée afin de recueillir l'image de l'étoile observée. Des haubans obliques pilotés par ordinateur permettent de déplacer la caméra, avec une précision millimétrique, pour suivre le mouvement de l'étoile. La dimension prévue de l'ouverture diluée est 57 m, extensible à 200 m (Allouche *et al.*, 2011).

Les essais entamés cette année n'ont utilisé que deux tripodes et miroirs, afin de mettre au point les modes opératoires, les méthodes d'alignement et pointage, etc. Il s'agit d'abord de vérifier la formation d'interférences sur une étoile brillante, avant d'ajouter des miroirs supplémentaires, dont le nombre pourrait à terme dépasser une centaine.

Le projet a bénéficié de nombreuses contributions de laboratoires extérieurs, d'astronomes amateurs et de bénévoles. Elles ont permis de mettre en place le montage de base en quelques mois, et d'évaluer ses caractéristiques. L'installation étant située en partie sur le territoire du Parc national du Mercantour, qui a autorisé le programme d'essais, des précautions particulières ont été prises pour protéger la faune aviaire, et notamment les tétras lyres susceptibles de se tuer en percutant des câbles.

Pour optimiser la disposition des miroirs et autres éléments, un levé topographique du site a été effectué par l'IGN au moyen d'un GPS différentiel donnant une précision de quelques centimètres.

### **Modélisation opto-mécanique de la nacelle d'hypertélescope et son pilotage**

(Collaboration avec l'université de Lund, Suède : T. Andersen, M. Owner-Petersen, A. Enmark, et avec R. Chakraborty, A. Rondi, A. Labeyrie)

Une collaboration a été menée avec des chercheurs de l'université de Lund qui ont effectué une modélisation dynamique, analytique et numérique du pilotage de la caméra suspendue à un câble traversant la vallée (Andersen *et al.*, 2011). Ils ont pu préciser les tolérances de position et d'orientation, ainsi que les solutions techniques nécessaires pour les atteindre.

### **Simulations numériques d'imagerie hypertélescope par « *speckle imaging* »**

(A. Surya, S.K. Saha et A. Labeyrie)

Une collaboration avec le Indian Institute of Astrophysics de Bangalore a permis de préciser la possibilité d'exploiter les images dégradées que forment les hypertélescopes lorsque la turbulence de l'atmosphère n'est pas corrigée. La

méthode « *speckle imaging* », souvent utilisée sur les grands télescopes classiques, s'avère applicable aux hypertélescopes, et cela devrait permettre de commencer à les exploiter avant qu'ils soient équipés d'optique adaptative, ou bien sur des étoiles faibles pour lesquelles elle est inutilisable en l'absence d'étoile guide laser.

### **Simulation numérique de transits exo-planétaires observés par un hypertélescope**

(A. Surya, S.K. Saha et A. Labeyrie)

Avec des télescopes classiques, quelques cas d'occultation ou d'éclipse partielle d'une étoile par une de ses planètes ont pu être observés par photométrie et spectroscopie. Cela a donné des indications précieuses sur la composition de l'atmosphère étendue de la planète.

Sur des étoiles proches dont le diamètre apparent est résolu par un hypertélescope, le film de tels événements pourrait permettre de voir la planète, sous forme d'une tache sombre traversant la face de l'étoile. L'analyse spectroscopique y gagnerait beaucoup en sensibilité. Des simulations par A. Surya confirment la faisabilité de telles images, par « hypertélescope Ubaye » en mode co-phasé (Allouch *et al.*, 2011).

### **Étude d'un hypertélescope dans l'espace utilisant des miroirs piégés par laser**

(U. Bortolozzo, S. Residori, A. Labeyrie)

Le concept d'un « hypertélescope fantôme » dans l'espace, abordé dans le cours, est expérimenté en laboratoire dans l'ultra-vide par U. Bortolozzo, à l'Institut non-linéaire de Nice. Cependant, une difficulté a été rencontrée : les faibles vibrations du bâtiment suffisent à perturber le piégeage par l'onde stationnaire laser du petit miroir suspendu.

## PUBLICATIONS

Allouche F., Bolgar F., Maillot J., Rondi A., Mourard D., Rochaix J.P., Prud'homme R., Roussel M. Surya A. & Labeyrie A., « Preliminary testing of Ubaye Hypertelescope, a prototype direct-imaging interferometer in the southern Alps, France », poster présenté à *ESO - 10 years of VLTI conference*, Garching, 2011.

Enmark A., Andersen T., Owner-Petersen M., Chakraborty R. et Labeyrie A., « Integrated Model of the Carlina Telescope », *Proc. Kiruna conf. Integrated modelling*, SPIE, 2011 (en cours d'impression).

Surya A., Saha S.K., Labeyrie A., « Speckle Imaging with Hypertelescope », soumis à *Mon. Not. R. Astron. Soc.*

En préparation :

Le Coroller H., Dejonghe J., Rabou P., Rondi A., Chakraborty R., Labeyrie A., « Design of a 200m spherical hypertelescope and larger space versions ».