

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

Cette année encore, le cours a porté sur quelques résultats récents obtenus par différentes équipes, et notamment celle associée à la chaire, dans différents domaines de l'astrophysique, et notamment, des observations à haute résolution angulaire. Le cours a particulièrement décrit l'avancement, sur les plans théoriques et pratiques, des instruments de nouvelle génération que sont les hypertélescopes, leur impact prévisible pour l'observation astronomique à haute résolution et leur mise en œuvre avec la construction du prototype « hypertélescope Ubaye », qui a abordé une phase d'essais.

Les cours à Paris ont porté sur :

- Résultats récents de l'observation ;
- Des interféromètres aux hypertélescopes : quelle science ?
- Essais entamés pour l'hypertélescope Ubaye ;
- Concept pour un hypertélescope terrestre de 1 000 à 1 200 m ».

Des séminaires ont été donnés à Paris par D. Mourard sur « Des résultats astrophysiques récents en interférométrie optique aux futurs développements » ; par F. Combes sur « Évolution des galaxies au début de l'Univers » ; par N. Blind sur « Les binaires en interaction à très haute résolution angulaire » ; par J. Monnier sur « Imaging the surfaces of stars » ; par M. Benisty sur « Les régions de formation planétaire révélées par interférométrie » ; et par E. Alecian sur « Le champ magnétique et les magnétosphères des étoiles massives ».

Les cours et séminaires donnés cette année au Collège de France sont disponibles en vidéo sur le site internet du Collège de France (<http://www.college-de-france.fr/site/antoine-labeyrie/index.htm#|m=courselq=/site/antoine-labeyrie/course-2011-2012.html>).

Trois des cours et séminaires ont aussi été organisés cette année à l'université de Nice-Sophia-Antipolis, sur le site de l'observatoire de Nice, dans le cadre d'une école thématique du CNRS. Ils ont porté sur : « Hypertélescopes : prototype en Ubaye et perspectives », « Reconstruction d'images turbulées par triple corrélation,

images directes, coronographie, étoile guide laser », et « Extension à 1 000 ou 1 200 m en Himalaya : peut-on comparer la science ELT et hypertélescope à coût donné ? Quelle métrique ? ». Les séminaires ont été donnés par David Mary, sur « Stratégies pour la déconvolution d'images d'hypertélescopes » ; par Michael Bremer sur « Techniques de déconvolution pour l'imagerie interférométrique » et par Cédric Richard sur « Méthodes de démixage de données hyperspectrales ». Ces présentations font l'objet d'une publication.

Comme les années précédentes, certains auditeurs des cours ont répondu à l'invitation pour contribuer aux études et essais du projet « Hypertélescope Ubaye ». Plusieurs, venus sur le site de l'hypertélescope, ont apporté une contribution importante pour sa mise place et les essais, de jour et de nuit.

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

L'équipe LISE regroupe plusieurs techniciens et chercheurs, rattachés à la chaire et extérieurs. Elle été rejointe par M. Paul Nunez, post-doctorant, ATER du Collège de France. Les travaux ont été poursuivis sur les sujets suivants.

Hypertélescope prototype à l'observatoire de Haute-Provence

(J. Dejonghe, H. Le Coroller, équipe technique de l'OHP)

Après la validation en 2010 d'un dispositif de métrologie laser permettant d'ajuster avec une précision micrométrique la position des segments constituant le miroir primaire géant dilué, le travail s'est poursuivi pour achever la construction du prototype Carlina. Un système d'entraînement des câbles de la nacelle focale utilisant trois moteurs reliés à un ordinateur de pilotage a été réalisé. Par ailleurs, une structure en carbone constituant le châssis de la nacelle focale a été construite. L'ensemble des optiques, électroniques et mécanismes embarqués a été assemblé et testé en laboratoire, avant les premiers essais sur le ciel au printemps 2012. Les essais devraient se poursuivre durant l'hiver 2012-2013 pour essayer d'obtenir les franges stellaires à travers le densifieur de pupille.

Construction en Ubaye d'un hypertélescope à ouverture de 57-200 m

(A. Labeyrie, A. Rondi, J.P. Rochaix, D. Vernet, D. Mourard, J. Maillot, R. Prudhomme, M. Roussel, M. Meyran)

Les essais entamés l'année précédente dans le massif de l'Ubaye ont été poursuivis, dans des conditions améliorées par l'installation d'une tente-laboratoire et d'une liaison Internet par satellite. Grâce à la participation de collègues venus d'autres équipes et des services techniques de l'observatoire de Calern, pour l'installation des infra-structures et la réalisation d'éléments mécaniques et optiques, mais aussi d'astronomes amateurs et d'autres bénévoles, les principaux systèmes opto-mécaniques ont pu être installés et faire l'objet d'essais diurnes et nocturnes.

Un treuil électrique permet maintenant de lever et d'abaisser le câble de 1 200 m qui porte cette nacelle 100 m au-dessus du sol. Des logiciels ont été élaborés par D.M. et R.P. pour le pilotage, en position et orientation, de la nacelle focale et sa

poursuite de l'image stellaire focalisée par les éléments de miroir statiques fixés au sol. La précision de ce pilotage atteint la valeur prévue, de l'ordre du millimètre pendant les périodes de vent faible qui sont favorables à l'observation.

Des miroirs additionnels, portant à huit le nombre disponible pour garnir le « méta-miroir » primaire, ont été polis par D.V. Des tripodes rigides destinés à les porter ont été fabriqués à l'observatoire de Calern par l'atelier de mécanique avec J-P. R. Ce dernier a aussi installé sur le site de Haut-Ubaye une tente-laboratoire, équipée de mini-centrale solaire et Internet satellite. Il a apporté divers perfectionnements au montage et aux procédures de fonctionnement. Conformément aux accords passés avec le parc national du Mercantour, qui a autorisé l'implantation provisoire du système sur son territoire, il a également commencé à installer sur les câbles divers dispositifs lumineux pour la protection des oiseaux : Tétra Lyre, Gypaète Barbu, Grand Duc, et autres nocturnes.

La possibilité de renvoyer vers le sol la lumière de l'étoile observée, qui est focalisée sur la nacelle, a été vérifiée à l'aide d'un faisceau laser.

La cartographie précise du site, que l'IGN avait pu entamer depuis 2010 avec un GPS différentiel RTK, a été poursuivie en juillet 2012 par J.M. et M.R. pour préciser les possibilités d'agrandissement de la « méta-ouverture » à l'échelle de 200 m. Cette dernière a aussi entamé la réalisation d'un film pédagogique, notamment dans le but de familiariser les collaborateurs avec les procédures opératoires.

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

(R. Chakraborty, A. Rondi, T. Andersen, A. Enmark, M. Owner-Petersen, Y. Bresson, G. Fabron, A. Labeyrie)

Une modélisation numérique du pilotage de la nacelle focale, et de sa réponse dynamique, notamment sous l'effet du vent, a été menée par une équipe suédoise à l'université de Lund (Enmark *et al.*, 2011).

Un second prototype de nacelle focale a été construit et testé, après que la modélisation opto-mécanique ait été poursuivie. Une version optique utilisant un méta-miroir primaire parabolique déformable, plutôt que sphérique, a été étudiée par Y.B. Il semble possible que cette version puisse être mise en œuvre après la version sphérique, en motorisant, avec trois ou quatre actionneurs, chacun des miroirs primaires, et cela de façon réversible pour pouvoir exploiter l'une ou l'autre configuration.

Simulations numériques d'imagerie hypertélescope

(A. Surya, S.K. Saha, C. Aime, D. Mary, A. Labeyrie)

Les simulations entamées à Bangalore (Inde) par A.S. ont été poursuivies, montrant notamment que le transit d'une exo-planète devant son étoile mère peut-être visible dans l'image directe produite par un hypertélescope, si l'étoile et la planète ont un diamètre apparent compatible avec sa résolution. Avec des télescopes classiques, quelques cas d'occultation ou éclipse partielle d'une étoile par une de ses planètes ont pu être observés ces dernières années, 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 une exo-planète sous forme d'une tache sombre traversant la face de l'étoile. Lors de l'immersion et de l'émergence, il serait en principe possible de voir brièvement un arc lumineux, analogue à celui qui a pu être observé sur Vénus lors de son récent transit devant le Soleil, et qui résulte de la réfraction dans l'atmosphère de la planète. L'un et l'autre effet, observés en spectroscopie, seront susceptibles de préciser la composition de l'atmosphère exo-planétaire, et d'y rechercher par exemple des raies caractérisant la présence de vie. Les simulations par A.S. confirment la faisabilité de telles images, par « Hypertélescope Ubye » en mode co-phasé (Labeyrie *et al.*, 2012a).

La déconvolution d'images produites par des hypertélescopes, procédure qui a traditionnellement joué un rôle important en radio-astronomie pour améliorer l'interprétation des données, a été explorée par C.A. et D.M. En modifiant des algorithmes classiques pour les adapter au cas d'une pupille densifiée, ils ont démontré que le « Champ d'imagerie directe » (« *Direct Imaging Field* », aussi appelé « *Clean Imaging Field* ») peut être étendu.

Pré-étude d'un grand hypertélescope

Les essais entamés dans l'Ubye pour l'hypertélescope à ouverture de 57 m, extensible à 200 m, ont déjà pu indiquer que le concept est extrapolable, sur Terre, pour des dimensions supérieures pouvant dépasser 1 000 m. Plusieurs sites possibles, repérés dans l'Himalaya et dans les Andes (Labeyrie *et al.*, 2012b), pourraient convenir en attendant la création dans l'espace de flottilles de miroirs autorisant des dimensions bien supérieures, jusqu'à 100 000 km peut-être.

Hébergement de l'équipe « LISE- Hypertélescope » à l'observatoire de Nice

L'équipe, initialement hébergée par l'observatoire de Haute-Provence, est accueillie par l'observatoire de la Côte d'Azur dans le cadre d'une convention avec le Collège de France, notamment sur son site du Mont Gros à Nice où ses membres bénéficient d'un environnement scientifique et technique exceptionnel. Deux post-doctorants du Collège de France sont accueillis à Nice.

Mise à disposition d'un laboratoire par la municipalité de Barcelonnette

Après une visite de l'expérience « Hypertélescope Ubye », par M. Aubert, maire de Barcelonnette, celui-ci a attribué un laboratoire dans les locaux rénovés du centre SEOLANE. Une convention a été passée avec le Collège de France pour y installer une base logistique proche de la haute vallée ubayenne ou est installé l'instrument. Ce laboratoire pourra héberger une activité scientifique si les essais techniques entamés débouchent sur un programme d'observation. Il est prévu d'y organiser en septembre 2013 une école internationale d'interférométrie financée par l'Europe.

PUBLICATIONS

Enmark A., Andersen T., Owner-Petersen M., Chakraborty R. et Labeyrie A., « Integrated Model of the Carlina Telescope », proc. Kiruna conf, *SPIE*, 2012.

Labeyrie A., Allouche F., Mourard D., Bolgar F., Chakraborty R., Maillot J., Palitzyne N., Poletti J.R., Rochaix J.-P., Prud'homme R., Rondi A., Roussel M., Surya A., « Construction of a 57m hypertelescope in the southern Alps », proc. *SPIE*, Amsterdam, 2012.

Labeyrie A., Mourard D., Allouche F., Chakraborty R., Dejonghe J., Surya A., Bresson Y., Aime C., Mary D. et Carlotti A., « Concept study of an 'Extremely Large Hyper Telescope' (ELHyT) with 1200m sparse aperture for direct imaging at 100 micro-arcsecond resolution », proc. *SPIE* Amsterdam, 2012.

Labeyrie A., « Hypertelescopes: the challenge of direct imaging at high resolution », proc. EAS, 2012 (en preparation).

Labeyrie A., « Modified Laser Guide Star method for sensing phase errors in Earth-based hypertelescopes », (en preparation)

