

## **Astrophysique observationnelle**

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

### **I. Cours et séminaires**

Le cours de cette année a concerné divers aspects des projets d'hypertélescopes, la future génération d'interféromètres capables de former des images directes à haute résolution. Les grands projets actuels de « Very Large Telescopes » étudiés par différentes institutions astronomiques comportent un miroir mosaïque asservi dont le diamètre atteindrait 30 ou 40 mètres. Mais vaut-il mieux fractionner la monture en plusieurs télescopes fonctionnant ensemble par couplage interférométrique ? Ou encore diviser davantage l'ouverture selon la logique des hypertélescopes ?

La comparaison théorique de la science produite avec ces différentes options, à surface collectrice égale, favorise la voie des hypertélescopes. Leur résolution accrue reste compatible avec l'observation de sources et champs complexes, sans perdre en magnitude limite. Leur mise en œuvre soulève cependant des problèmes techniques nouveaux, tant au sol que dans l'espace. Ces différents points ont été abordés dans le cours, et certains l'ont été dans les séminaires de Denis Mourard, Olivier Chesneau, Rémi Soummer, Marc Guillon, Virginie Lousse, Frantz Martynache, Claude Aime, Alexis Carlotti, Anthony Meilland.

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

Le groupe de recherche LISE associé à la chaire d'Astrophysique observationnelle est hébergé à l'Observatoire de Haute-Provence et à l'Observatoire de la Côte d'Azur.

#### **Hypertélescope prototype Carlina-1 (J. Dejonghe & H. Le Coroller)**

Après les premiers essais d'interférence qui ont validé partiellement le concept dit Carlina d'hypertélescope, J. Dejonghe et H. Le Coroller, revenu de séjour

post-doctoral à Hawaii, ont augmenté le prototype en installant un troisième miroir collecteur, et un correcteur focal à deux miroirs. Ils ont aussi, avec l'aide de stagiaires, fait un montage d'essai du système de métrologie à laser servant à co-sphériser les miroirs collecteurs avec une précision de l'ordre du micron. Ils préparent des observations de franges à trois ouvertures, en attendant un plus grand nombre. Une caméra à comptage de photons, permettant des temps de pause très courts afin de « figer » la turbulence, a été construite en collaboration avec l'Observatoire de la Côte d'Azur. Le densifieur de pupille, dispositif optique destiné à concentrer la lumière sur un nombre réduit de franges, a été étudié à l'aide du logiciel de simulations optiques Zemax et est en cours de construction à l'Observatoire de Haute-Provence. Enfin, un système d'asservissement permettant de stabiliser le trépied de câbles du ballon à hélium et ainsi d'améliorer la stabilité de l'ensemble du dispositif optique de l'hypertélescope est actuellement réalisé par des techniciens et ingénieurs de l'Observatoire de Haute-Provence.

**Prospection de sites pour Carlina-2 dans les Alpes du Sud, les Pyrénées espagnoles et le Haut-Atlas marocain** (Labeyrie, Dejonghe, Le Coroller, Vernet, Lardière)

L'architecture Carlina pour les hypertélescopes devrait en principe ouvrir des possibilités nouvelles pour l'observation à haute résolution des étoiles et autres objets. Mais la mise en œuvre dépend de façon critique des sites qui pourront être trouvés, possédant une topographie proche de la surface sphérique théorique, en plus des qualités d'atmosphère traditionnellement recherchées pour implanter de grands télescopes. À ces qualités, il faut ajouter la vitesse de la turbulence atmosphérique, que l'on souhaite aussi faible que possible pendant les nuits où l'observation est favorable.

Un cratère ou une vallée profonde, permettant de suspendre l'optique focale à un câble tendu en travers, peuvent convenir particulièrement. Les sites des grands observatoires modernes au Chili, à Hawaii, et aux Canaries, n'ont pas de telles caractéristiques. L'investissement plus modéré que représenterait un hypertélescope ayant une ouverture optique de l'ordre de 100 à 200 m peut justifier l'utilisation d'un site moins éloigné. Nous avons recherché sur Google Earth les sites possibles dans différents massifs de montagnes, puis visité certains d'entre eux :

1. Dans les Alpes du Sud, les vallées de Ondres, Dormillouse, Vauplane ont été visitées.
2. Sur le versant espagnol des Pyrénées, moins nuageux que le versant français et moins affecté que les Alpes par les traînées de condensation de l'aviation commerciale, les vallées d'Anisclo, Pineta, Estos et Barrosa ont aussi été visitées. Cette dernière, située à l'orée du tunnel de Bielsa, est particulièrement favorable par sa topographie.
3. Dans le Haut-Atlas marocain, à l'occasion de l'école LOISA ou A. Labeyrie a été invité à faire un enseignement à l'observatoire de l'Oukaimedem lors de

son inauguration, celui-ci a pu visiter plusieurs hautes vallées dans le massif du M'Goun. Ce massif, dominant à 4 100 m d'altitude la limite du Sahara, possède une topographie favorable et une qualité atmosphérique remarquable affectée cependant par la fréquence de vents en altitude, trois fois plus rapides en moyenne que ceux des Alpes et des Pyrénées, qui réduisent la durée de vie des interférences. La vallée intercalée dans la double crête sommitale, en aval des gorges de Wandras, présente plusieurs sites ayant une topographie exploitable pour implanter un grand miroir Carlina, donnant une ouverture effective dépassant une centaine de mètres. Mais l'accès en est difficile.

Pour les sites visités qui ont paru les plus favorables, ces prospections devront être complétées par des mesures de turbulence et des relevés topographiques par photogrammétrie aérienne avant de consulter les autorités locales et nationales, avec les astronomes de ces pays, pour définir un projet en collaboration.

### **Proposition d'un hypertélescope spatial à l'Agence Spatiale Européenne**

En réponse à l'appel de l'Agence Spatiale Européenne pour des propositions de missions spatiales, dans le cadre de son programme « Cosmic Vision », une proposition « Luciola Hypertelescope Observatory » a été soumise par A. Labeyrie, H. Le Coroller, J. Dejonghe, O. Lardièrre, C. Aime, K. Dohlen, D. Mourard, R. Lyon, K. Carpenter. Les deux derniers co-proposants, travaillant à la NASA au Goddard Space Flight Center, avaient déjà proposé l'interféromètre « Stellar Imager », étudié par la NASA. La possibilité d'inclure cet instrument dans l'hypertélescope Luciola, sous la forme d'une station focale spécialisée pour l'imagerie stellaire, a motivé leur participation.

### **Miroirs piégés par laser (M. Guillon, A. Labeyrie, en collaboration avec R.V. Stachnik et J.M. Fournier)**

L'exploration de cette voie prospective, proposée pour engendrer dans l'espace de grands miroirs, formés d'une nappe de nano-particules, est poursuivie en collaboration avec plusieurs équipes étrangères. Marc Guillon a soutenu le 9 juillet 2007 sa thèse intitulée : Piégeage et cohésion optique : étude de faisabilité d'un « Laser Trapped Mirror ».

L'utilisation de nano-particules pour former une membrane réfléchissante piégée par laser reste un problème difficile. Une grande diversité de nano-particules sont éventuellement utilisables. L'utilisation de particules macroscopiques, sous forme de petits miroirs minces dont le diamètre atteindrait quelques centimètres, pourrait permettre de faire un miroir dilué, exploitable selon le principe des hypertélescopes. Dans ce cas, le piégeage par deux faisceaux lasers formant des ondes stationnaires devrait aussi piéger latéralement les miroirs, ce qui semble possible si leur largeur correspond à celle des faisceaux laser. Cette approche fait l'objet d'un article en préparation.

### **Astrophysique théorique et relativité générale (R. Krikorian)**

R. Krikorian poursuit l'étude de certains aspects de la superfluidité et de la supraconductivité dans un espace-temps riemannien. La motivation première est que ces processus physiques permettent d'engendrer des champs électriques et magnétiques. L'existence de tels champs dans un supraconducteur au repos dans un champ gravitationnel semble avoir été établie pour la première fois par De Witt. Les expressions des vecteurs champ électrique et champ magnétique étant obtenues à partir de l'Hamiltonien décrivant les électrons dans un champ gravitationnel faible à l'aide de la théorie BCS. Nous avons étudié ce problème à l'aide de la théorie de London et en adoptant la méthode des tétrades.

Les équations phénoménologiques de London sous forme covariante ont été écrites en repère orthonormé, adapté au caractère stationnaire de l'espace-temps. L'influence de la gravitation étant décrite par l'objet d'anholonomie  $C$ . Les vecteurs champ électrique et champ magnétique sont définis à l'aide des composantes invariantes du tenseur champ électromagnétique sur le repère orthonormé et sont déterminés par les composantes non nulles de  $C$ . Dans le cas limite d'un champ gravitationnel faible, les expressions obtenues présentent une ressemblance formelle avec les relations du premier ordre obtenues par De Witt. Notons que dans le cas des supraconducteurs de type II, non seulement le champ gravitationnel, mais aussi les vortex contribuent à la génération du champ électromagnétique.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus en adoptant la méthode des projections de Cattaneo pour l'interprétation physique de la théorie de la relativité générale. Ce dernier travail fait l'objet d'un article en cours de rédaction.

### **III. Publications**

Krikorian, R.A., 2007, « Superconductivity in curved spacetime and the object of anholonomy », *Nuovo Cimento B* (à paraître).

Krikorian, R.A. & Sedrakian, D.M., 2007, « Tetrad formulation of the basic equations of type II superconductors in curved space-time », *Astrophysics* (à paraître).

Sedrakian, D.M. & Krikorian, R.A., « Covariant formulation of the dynamical equations of quantum vortices in type II superconductors », à paraître dans *Phys. Rev B*.

Labeyrie, A., 2007, « Comparison of ELTs, interferometers and hypertelescopes for deep field imaging and coronagraphy », à paraître dans « Optical techniques for direct imaging of exoplanets », CRAS (Physique).

Guillon, M., 2007, thèse « Piégeage et cohésion optique : étude de faisabilité d'un Laser Trapped Mirror », Université de Marseille.

**Conférences publiques**

« Imaging extra-solar planets and their vegetation patterns with a 100 km hypertelescope », Labeyrie, A., Conférence publique à l'occasion du 90<sup>e</sup> anniversaire de Charles Townes, Berkeley, Oct. 2006.

**Enseignement**

Cours (3 h) donnés par A. Labeyrie à la première École d'Astrophysique de l'Oukaimedem (Maroc).

