

Astrophysique observationnelle

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

Cette année encore le cours a abordé différents problèmes concernant les progrès actuels en matière d'observations astronomiques à haute résolution angulaire.

Vitesses super-luminales

Il fut d'abord question du phénomène étonnant que présentent certaines radio-sources : l'éjection de globules à des vitesses qui semblent plusieurs fois supérieures à celle de la lumière. Une source plus proche que les autres, récemment détectée près du centre galactique montre un phénomène semblable. Pour ces différents objets, le dépassement apparent de la vitesse de la lumière n'est vraisemblablement qu'une illusion et ne contredit pas le point de vue d'Einstein selon lequel ni la matière ni l'information ne peuvent se déplacer plus vite que la lumière.

Un spot lumineux sur un écran cathodique, un rayon de laser dont la source est en rotation, l'éclairement vu par un oeil qui reçoit sur sa pupille l'image d'une source ponctuelle et pulsante, formée par une lentille, sont des exemples triviaux de situations où une tache lumineuse peut donner l'impression de se déplacer plus vite que la lumière. Mais ni l'énergie ni l'information ne sont propagées à vitesse « super-luminale » dans ces cas. Dans le cas des quasars et de leurs analogues galactiques beaucoup plus petits, on démontre classiquement que l'effet observé peut être produit par l'émission d'un jet rapide dirigé presque vers l'observateur. Une explication différente implique une lentille gravitationnelle variable, ou une onde gravitationnelle, perturbant l'image de l'arrière plan lointain. Les données spectroscopiques sur les objets connus semblent cependant exclure ce type de modèle.

La valse à trois d'Algol ABC : vers la résolution de A-B ?

Une étoile bien connue et pourtant restée mystérieuse, Algol, a été remarquée depuis plusieurs siècles en raison de son assombrissement périodique, tous les

2,87 jours. Pour expliquer le phénomène, on invoque classiquement la présence d'un compagnon stellaire plus sombre, Algol B, éclipçant une étoile brillante, Algol A. La spectroscopie renforce cette interprétation. Les chronométrages des éclipses effectués depuis plus d'un siècle ont montré que la période connaît une variation lente, selon une périodicité de plusieurs années. Cela fut attribué à la présence d'un second compagnon, plus lointain mais cependant invisible, que l'on baptisa Algol C. Utilisant dans les années 70 la méthode interférométrique dite des « tavelures » au télescope du Mont Palomar, j'avais pu détecter ce compagnon. Il reste à résoudre la binaire serrée Algol A-B, tâche difficile qui nécessite une résolution angulaire de l'ordre du millième de seconde d'arc.

Les observateurs utilisant le Grand Interféromètre à 2 Télescopes se sont attachés au problème. Lors d'une observation typique durant deux ou trois heures, la duplicité d'Algol A-B devrait se manifester par une variation lente et monotone du contraste des franges, superposée à une oscillation plus rapide qu'engendre le compagnon Algol C. Les données actuelles ne montrent pas encore cet effet de façon incontestable, mais les résultats préliminaires suggèrent qu'il soit effectivement possible de résoudre Algol A-B. Cela pourrait permettre d'élucider une controverse soulevée par de récentes observations optiques et radio : les orbites de Algol A-B et celle de Algol AB-C sont-elles coplanaires ou orthogonales ?

Lors des éclipses, d'autres effets intéressants se produisant dans les raies spectrales pourraient être observables, mais aucune observation d'éclipse n'a encore pu être faite.

Optique adaptative pour observer du sol les exo-planètes

La question des planètes extra-solaires est devenue à l'ordre du jour en Astronomie, compte tenu de ses implications concernant l'exobiologie et d'éventuelles civilisations extra-terrestres. La NASA engage un programme pour détecter et imager de telles planètes et en fait l'action prioritaire de son programme scientifique.

J'ai décrit l'année précédente une méthode d'observation, dite des « tavelures noires », destinée à obtenir des images d'étoiles proches avec leurs planètes éventuelles. Au même moment paraissait un article de R. Angel (Université d'Arizona) proposant d'atteindre le même but par une voie différente. Angel envisage une optique adaptative poussée, comportant 10 000 actuateurs et approchant les limites théoriques de performance définies par le bruit de photons. Le système corrige également les ombres volantes que crée la turbulence en haute altitude. Angel montre que quelques heures d'une pause longue suffisent en principe pour que l'image d'une planète devienne détectable près de l'image d'une étoile.

En utilisant au contraire des poses courtes pour combiner les principes de l'optique adaptative et de l'interférométrie des tavelures, la méthode des tavelures noires s'avère moins exigeante pour la qualité de l'optique adaptative. Elle s'avè-

re aussi plus sensible en principe, puisqu'elle pourrait permettre de détecter des planètes de type terrestre, 10^{10} fois moins lumineuses que leur étoile, alors que Angel n'espère pas dépasser le rapport 10^9 qui permettrait de détecter seulement des planètes semblables à Jupiter.

Approche de Shao et Malbet avec le télescope spatial

La méthode des tavelures noires semble aussi utilisable, sous une forme active, dans le cas du Télescope Spatial Hubble. En équipant ce télescope d'une caméra spéciale, il pourrait en principe permettre de détecter de telles planètes. Indépendamment, et dans le même but, Shao et Malbet ont proposé de créer un « trou sombre » dans les pieds de la fonction d'étalement de ce télescope. A partir de ces deux approches, légèrement différentes, il semble possible de rechercher une méthode encore mieux optimisée qui pourrait être proposée aux agences spatiales pour équiper une prochaine caméra destinée à rejoindre le télescope spatial.

Progrès actuels des interféromètres au sol

Malgré la complexité des instruments que sont les interféromètres optiques, leur usage ne cesse de se répandre. Le plus grand télescope du monde, en service depuis peu à Hawaii avec son miroir de 10 m, va bénéficier du couplage interférométrique avec un second télescope identique dont la construction est entamée.

Au plateau de Calern, le Grand Interféromètre à 2 Télescopes a bénéficié d'améliorations substantielles ces dernières années. Actuellement, une nouvelle version de l'optique centrale de recombinaison est en construction. Elle est prévue pour recevoir les faisceaux de 3 télescopes, pour corriger la rotation de champ, et pour alimenter plusieurs spectrographes. Les données obtenues ont permis d'élaborer des modèles plus contraignants pour expliquer le fonctionnement des atmosphères stellaires. Lorsque de véritables images à haute résolution seront fournies par les futurs interféromètres comportant de nombreuses ouvertures, on peut en espérer un progrès sensible dans notre compréhension de ces objets.

Les dernières mesures de la constante de Hubble et leurs conséquences en cosmologie.

Depuis plusieurs décennies s'affrontent deux écoles de cosmologistes qui trouvent, par l'observation, des valeurs différentes de la constante de Hubble, et en déduisent des modèles différents de l'Univers, notamment en ce qui concerne l'accélération de son expansion.

Les images, mieux résolues qu'au sol, obtenues par le télescope Hubble ont permis de distinguer des étoiles variables périodiques de type delta Céphée dans les galaxies proches. Ce genre d'étoile, dont la période est fonction de la lumi-

nosité absolue, avait été observé précédemment dans la Voie Lactée et servi d'indicateur de distance. Les récentes observations donnent une mesure beaucoup plus précise de la distance des galaxies proches. Cependant la controverse sur la valeur de la constante de Hubble ne semble pas encore résolue.

Y a-t-il un trou noir géant au centre de certaines galaxies ?

Données récentes du télescope Hubble

Les observations récentes du télescope Hubble ont fourni des spectres de galaxies à noyaux actifs avec une résolution angulaire améliorée qui a permis de préciser les vitesses radiales à proximité du noyau. Des vitesses très élevées ont été trouvées et cela semble prouver l'existence d'une masse centrale correspondant à des millions ou milliards de soleils. Mais il semble peu probable que cette masse soit formée d'un grand nombre d'étoiles appartenant aux types connus. L'hypothèse d'un trou noir massif est ainsi renforcée.

A. L.

SÉMINAIRES D'ASTROPHYSIQUE GÉNÉRALE AU COLLÈGE DE FRANCE :

Félix MIRABEL (*Service d'Astrophysique, Saclay*), « Micro quasar » dans la galaxie ».

Fabien MALBET (*Observatoire de Grenoble*), Coronographie améliorée pour la recherche d'exoplanètes.

Denis MOURARD (*Observatoire de la Côte d'Azur*), Un exemple d'observations à haute résolution angulaire avec le Grand Interféromètre à 2 Télescopes : les pulsations de delta Céphée.

Eric HUGUET (*Observatoire de Paris-Meudon*), Les ondes de choc radiatives : un processus physique des milieux circumstellaires.

Jean-François LESTRADE (*Observatoire de Paris-Meudon*), La binaire spectroscopique AB du système Algol résolue angulairement par radio interférométrie à longue base VLBI.

Sacha LOISEAU (*Centre National d'Etudes Spatiales de Toulouse*), Les grands projets d'interféromètres spatiaux.

Pierre CONNES (*Service d'Aéronomie du C.N.R.S.*), Détection spectroscopique des planètes extra-solaires.

Michel TALLON (*Observatoire de Lyon*), Les étoiles artificielles laser.

Jean HEIDMANN (*Observatoire de Paris*), Bio-astronomie : recherche de vie dans le cosmos.

CONFÉRENCIERS ÉTRANGERS INVITÉS

Francisco **XAVIER DE ARAÙJO**, Observatoire National du Brésil, a donné une série de cours sur le sujet suivant :

« *Les vents des étoiles chaudes – Une confrontation entre théorie et observations* »

1. Modèles à symétrie sphérique : étoiles OB lumineuses et étoiles centrales de nébuleuses planétaires.
2. Modèle à symétrie axiale : étoiles Be.
3. Modèle à symétrie axiale : étoiles Be supergéantes et étoiles Wolf-Rayet.
4. Problèmes ouverts dans la théorie des vents stellaires radiatifs.

LI ZHI FANG, Professeur à l'Université d'Arizona, a donné une série de cours sur le sujet suivant :

« *Topics of cosmology at high redshift* »

1. Primordial density fluctuations : quantum or thermal ?
2. A decomposition looking of Lyman α forest
3. Clustering and evolution of QSOs
4. Clusters and substructures in clusters.

Travaux de recherches effectués par le groupe d'interférométrie stellaire de l'observatoire de Calern

(Depuis le 1^{er} Janvier 1995, A. Labeyrie a partagé son temps entre l'observatoire de Calern et l'Observatoire de Haute Provence, du CNRS, dont il a été nommé directeur).

Observations interférométriques à Calern (Denis Mourard, Philippe Stée, Isabelle Tallon-Bosc, Farrokh Vakili, Laurent Koechlin, Daniel Bonneau, Frédéric Morand).

Ce travail d'observation et d'interprétation a été poursuivi, avec notamment la soumission d'un article sur le diamètre variable de l'étoile pulsante delta Céphée. Les variations périodiques de son diamètre, prédites par les modèles, n'avaient pu être observées jusqu'ici faute d'une résolution suffisante. Une valeur plus précise de la distance en résulte, en combinant les données angulaires avec la mesure spectroscopique des vitesses d'expansion.

Etude d'une nouvelle table interférométrique (D. Mourard, I. Tallon-Bosc, D. Bonneau, A. Blazit, en collaboration avec le Laboratoire d'Astronomie Spatiale et le département Fresnel de l'Observatoire de la Côte d'Azur).

Une nouvelle optique de recombinaison des faisceaux est étudiée pour le GI2T et le GI3T qui va être constitué avec l'arrivée prévue du troisième télescope, actuellement en construction.

Construction d'un troisième télescope (A. Labeyrie, C. Cazalé, J.P. Rambaut, J.J. Kessis, D. Pons, D. Vernet, L. Arnold, E. Schmidtlin, J. Pinel, en collaboration avec l'Observatoire de Haute Provence et le Laboratoire de Robotique et d'Intelligence Artificielle de Paris VII).

La construction entamée d'un télescope léger et compact, de dimension 1m50 et spécialement adapté aux besoins de l'interférométrie, se poursuit. Le polissage du miroir, effectué par D. Vernet, est bien avancé. Le support actif à 29 moteurs, calculé par L. Arnold dans le cadre de son travail de thèse, est en construction. Les premières observations sont espérées dans un an.

Pré-étude d'interféromètres en ballon stratosphérique
(D. Scigocki et A. Labeyrie en collaboration avec le CNES).

En attendant la construction de grands interféromètres dans l'espace, les progrès récents des ballons stratosphériques laissent envisager qu'il pourrait être possible de faire fonctionner, à des altitudes de l'ordre de 10 à 30 km, des interféromètres dont les dimensions pourraient atteindre une vingtaine ou une centaine de mètres.

Détection d'ondes et de bulles gravitationnelles (A. Labeyrie).

Il s'agit de préciser les calculs précédemment publiés par A. Labeyrie, qui laissent entrevoir la possibilité de détecter des ondes gravitationnelles en recherchant un clignotement des étoiles de l'arrière plan vues à proximité de la source. Un chercheur russe, S. Pogrebenko a confirmé ces calculs et entrepris de détecter des sources d'ondes gravitationnelles par cette méthode aux longueurs d'onde de radio. Etant donné la rareté des étoiles de l'arrière plan vues très près des sources supposées d'ondes gravitationnelles, il est utile de préciser comment varie l'amplitude de l'effet prévu avec la distance apparente des deux objets observés.

Détection d'exoplanètes à partir du sol et de l'espace (A. Labeyrie).

La méthode des « tavelures noires », proposée à l'occasion d'un des cours l'an dernier, fait l'objet d'une publication à paraître dans *Astronomy and Astrophysics*, et d'une présentation par A. Labeyrie au colloque « Detection and Study of Extra-Solar Terrestrial Planets: Techniques and Technology » de Boulder. Il semble se confirmer que cette méthode puisse permettre de détecter du sol des planètes semblables à Jupiter ou à la Terre, et situées près d'une étoile proche. Un montage optique a été étudié. Il sera essayé au moyen de simulations en laboratoire avec des sources lumineuses simulant une étoile et sa planète.

PUBLICATIONS

« Images of exo-planets obtainable from dark speckles in adaptive telescopes », Labeyrie A., *Astron. Astrophys.*, 298, 544-546 (1995).

« New photocathodes for fast gaseous detectors », G. Charpak, D. Lemenovski, V. Peskov, D. Scigocki, *Nucl. Instrum. Methods*, A310, 1991, p. 128.

« Investigation of operation of parallel plate avalanche chamber with CsI photocathode under high gain conditions », G. Charpak, P. Fonte, V. Peskov, F. Sauli, D. Scigocki, D. Stuart, *Nucl. Instrum. Methods*, A307, 1991, p. 63.

« Some studies of applications of CsI photocathodes in gaseous detectors », G. Charpak, I. Gaudaen, Y. Giomataris, V. Peskov, F. Sauli, D. Scigocki, D. Stuart, *Nucl. Instrum. Methods*, A333, 1993, p. 391.

« The relativistic rotation transformation and pulsar electrodynamics », S. Kichenassamy, R.A. Krikorian, *The Astrophysical Journal*, 431 : 715-717, 1994 August 20.

« Note on Maxwell's equations in relativistically rotating frames », S. Kichenassamy, R.A. Krikorian, *American Institute of Physics*, november 1994, *J.Math. Phys.* 35 (11).

« γ Cas Revisited by spectrally resolved interferometry », Stee Ph., Xavier de Araujo F., Vakili F., Mourard D., Arnold L., Bonneau D., Morand F., and Talon-Bosc I., *accepté A & A*, 24 janvier 1995.

« Optimized axial support topologies for thin telescope mirrors », Arnold L., *Optical Engineering*, 34 (2), 567-574, February 1995.

« A Lunar Optical Very Large Interferometer (LOVLI) with simplified optics », Arnold L., Labeyrie A., Mourard D., *Advances in Space Research*, *sous presse*.

« Uniform load and actuator influence functions of a thin or thick mirror with a central hole : application to active mirror support optimization », *soumis à Applied Optics*.

« The fiberless multislit spectrograph SFM », Foy R., Baranne A., Bentolina C., Blazit A., Foy F.-C., Leblondet R., Revest D., Thévenin F., Thiébaud E., Thom Ch., *Experimental Astronomy* 5 : 329-354, 1994, Kluwer Academic Publishers.

« First direct mass determination for a pre-main sequence star : DF Tau », E. Thiébaud, Y. Balega, I. Belkine, A. Blazit, J. Bouvier, and R. Foy, (*en préparation*).

« The companion of Z Canis Majoris detected in the visible », E. Thiébaud, J. Bouvier, A. Blazit, D. Bonneau, F.-C. Foy, and R. Foy, (*en préparation*).

« The pulsations of δ Cephei evidenced by optical long-baseline interferometry », D. Mourard, D. Bonneau, L. Koecklin, A. Labeyrie, F. Morand, Ph. Stee, I. Tallon-Bosc, F. Vakili, (*soumis à Nature*).

« Jet-like structures in β Lyr ? », The results of 1994 optical interferometry, spectroscopy and photometry, P. Harmanec, F. Morand, A. Blazit, H. Bozic, et al, (*en préparation*).

« Atmospheric path variations for baselines up to 80 m measured with the Sydney University Stellar Interferometer », J. Davis, P.R. Lawson, A.J. Booth, W.J. Tango and E.D Thorvaldson, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 273, L53-L58 (1995).

« Group-delay tracking in optical stellar interferometry with the fast Fourier transform », Peter R. Lawson, *J. Opt. Soc. Am. A/Vol.12, No. 2/February 1995*.

« Detectable lensing effects of gravitational pulses and waves », A. Labeyrie, (*en préparation*).

COMMUNICATIONS PRÉSENTÉES À DES CONGRÈS

« A balloon borne interferometer in the upper stratosphere with long flight duration capability : an alternative to a space-based interferometer », D. Scigocki, E. Schmidtlin and A. Labeyrie, *Proc. of « 30th COSPAR Plenary Meeting »*, Hamburg, Germany, 11-21 july 1994, *Advances in Space Research*, ed. B. Foing, 1994.

« Un Interféromètre simplifié pour la Lune : LOVLI (**L**unar **O**ptical **V**ery **L**arge Interferometer) », Arnold L., Labeyrie A.

« A high angular and high energy resolution gamma ray telescope for observations between 1 GeV and 1 TeV », D. Scigocki, to appear in *Proc. of « Trends in Astroparticle physics » Nuclear Physics B, Proceedings Supplements*, edited by L. Bergstrom, P. Carlson, P.O. Hulth and H. Snellman.

« Future Possibilities/Limitations from the Ground », A. Labeyrie.

Workshop on the Detection and Study of Extra-Solar Terrestrial Planets : Techniques and Technology, Boulder, USA, 15-17 may 95.

« Long baseline interferometry in space : the Lunar Optical Very Large Array (LOVLA) and the Lunar Optical Very Large Interferometer (LOVLI) », Arnold L. groupe SWT de l'Agence Spatiale Européenne, 9 janvier 1995, Observatoire de la Côte d'Azur à Calern.

« Eléments prototypes pour un très grand réseau optique », A. Labeyrie et al. Programme National Haute Résolution Angulaire en Astronomie, journée d'étude à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon, Lyon, octobre 1994.

« An improvement of our knowledge on B_c and $B_{[e]}$ stars with GAIA », *proc. workshop ESA, GAIA, Cambridge, 19-21 juin 1995, UK*.

L. Arnold, thèse, Université de Nice, juin 1995.

ORGANISATION D'UN COLLOQUE SUR
« LA DÉTECTION AU SOL DE PLANÈTES EXTRA-SOLAIRES »

Un colloque a été organisé par J. Schneider et A. Labeyrie, avec l'Institut Gassendi et l'Institut National des Sciences de l'Univers, à l'Observatoire de Haute Provence du 4 au 7 juillet 1995.