

Astrophysique observationnelle

M. Antoine LABEYRIE, professeur

Cours : *Vers l'observation optique à haute résolution (suite)*

Etant donné l'importance des communautés astronomiques en Provence, notamment à Nice et à Toulouse, il a été tenté cette année de répartir les cours et séminaires entre Paris et les universités de ces deux dernières villes.

1. Une première série de 3 cours donnés à Paris a porté sur *les effets optiques des lentilles gravitationnelles fixes et variables*.

Outre les télescopes construits par l'homme, la nature semble mettre à la disposition des astronomes les éléments de télescopes géants que sont les lentilles gravitationnelles, et dont ils commencent à exploiter les propriétés de focalisation géométrique. Il y a lieu de se demander si les effets de diffraction associés à cette focalisation sont potentiellement exploitables.

Théorie géométrique élémentaire des lentilles gravitationnelles

On rappelle comment une masse ponctuelle défléchit les rayons de lumière qui s'en approchent, selon la théorie de la Relativité Générale. La déflexion est inversement proportionnelle à la distance d'approche du rayon, de sorte qu'il n'existe pas de foyer véritable, où viendraient se croiser tous les rayons. Ce foyer est réparti le long de l'axe, à des distances qui augmentent avec le diamètre de l'anneau considéré dans le plan de la pupille. Les rayons sont tangents à une surface caustique, en forme de trompette. Pour une source ponctuelle, située dans l'arrière plan au delà de la lentille, l'onde lumineuse qui émerge de la lentille acquiert un profil logarithmique. Un observateur situé sur l'axe doit en principe voir un anneau brillant, celui dont le foyer se situe sur sa pupille, et que l'on appelle d'habitude l'anneau d'Einstein bien qu'il semble avoir été d'abord décrit par Chwolson en 1924. Depuis quelques

années, les observations effectuées par différents groupes en direction d'amas de galaxies lointaines ont fourni des images spectaculaires d'arcs qui semblent être de tels anneaux, déformés par un alignement imparfait de l'observateur. Les lentilles gravitationnelles dans ces cas seraient les amas situés au centre de ces arcs, à quelques centaines de mégaparsecs.

Effets de diffraction : sont-ils exploitables ?

L'effet de diffraction que l'on peut attendre de lentilles gravitationnelles parfaites, ponctuelles par exemple, ressemble à la tache d'Airy classique. Le fait que l'ouverture effective vue par un observateur axial se ramène à un mince anneau introduit cependant une différence notable par rapport à la tache d'Airy qu'engendrerait une ouverture entière : les anneaux de diffraction sont plus brillants relativement au pic central, et leur position diffère quelque peu. Un calcul rigoureux, par une transformée de Fourier appliquée à l'onde, montre que le modèle approché d'une ouverture annulaire très mince est satisfaisant. En raison de l'absence d'un foyer le long de la caustique, la tache de diffraction est presque insensible à la distance de l'observateur. Seule varie son échelle.

Comme dans le cas des lentilles ordinaires, la tache de diffraction projetée par exemple sur le sol de la planète où se trouve l'observateur devient convoluée avec la fonction objet si la source n'est plus ponctuelle. C'est donc une image de cette source lointaine qui est projetée sur la planète.

De tels effets n'ont encore jamais été observés, ni recherchés semble-t-il, mais sont-ils potentiellement observables ? Le calcul montre que des masses sphériques comparables à celle de la Terre ou de Jupiter, et éloignées de quelques dixièmes de parsec, projettent sur Terre une image de l'arrière plan, intensifié d'un facteur 100 000. Les taches de diffraction ont une largeur de quelques mètres. Pour tenter de les observer, une première difficulté pratique provient du déplacement rapide de l'observateur, entraîné à 30 km/s par le mouvement orbital s'il se trouve sur Terre. Pour un télescope dont le champ d'observation contiendrait de telles lentilles, obscures et jusqu'ici non détectées, des étoiles de l'arrière-plan lointain, trop éloignées pour être individuellement détectables, apparaîtraient sous forme d'une brève impulsion lumineuse lorsque le mouvement de la Terre les amène dans l'alignement exact de la lentille. La probabilité d'observer de tels événements n'est pas négligeable s'il existe des masses ayant une forme sphérique suffisamment précise pour que les taches de diffraction ne soient pas dégradées. Une telle masse comparable à la Terre, située à quelques centièmes de parsec, donnerait lieu à un événement détectable toutes les cent heures en moyenne s'il se trouve dans l'arrière plan une galaxie lointaine. Ces brefs événements, durant seulement quelques millisecondes, fourniraient en moyenne quelques dizaines de photons seulement dans un télescope de 15m limité par la diffraction.

Il se peut qu'une partie de la masse cachée dans la Galaxie soit constituée de tels corps obscurs, que l'on pourrait ainsi mettre en évidence. Une telle méthode serait complémentaire de celle qui utilise les effets géométriques de lentilles, et qui permettrait elle de détecter des objets obscurs situés au bord de notre galaxie. Cette méthode a été exposée par A. Vidal Madjar lors d'un séminaire.

2. Une seconde série de 3 cours a été donnée à Nice sur les *interféromètres dans l'espace pour l'astrométrie et l'astrophysique*.

L'Astrométrie est la branche de l'Astronomie qui se consacre à la mise en évidence des mouvements des astres, notamment de ceux qui ne sont pas angulairement résolus. L'observation des étoiles doubles, triples ou quadruples, montre le ballet de ces couples, trios ou quartettes, et fournit des informations très directes et précises sur les masses des partenaires, notamment lorsque des données spectroscopiques complètent le tableau en dévoilant, grâce à l'effet Doppler, la composante radiale des mouvements. En quelque sorte, le film obtenu est alors en relief. Il pourrait un jour permettre de détecter des compagnons invisibles, par exemple des planètes qui pourraient être en orbite autour de certaines composantes, et dont la présence serait trahie par les distorsions des orbites Képlériennes d'étoiles binaires par exemple. Dans le système solaire, c'est ainsi que Neptune fut découverte par Le Verrier et Adams, et Pluton par Lowell. Les mouvements des étoiles dans notre galaxie sont également étudiés par les techniques de l'astrométrie. Ces techniques ont récemment progressé grandement, d'une part grâce au satellite Hipparcos qui a observé plusieurs années 150 000 étoiles, d'autre part grâce à l'interféromètre Mark III du Mont Wilson. L'interférométrie semble appelée à un rôle croissant dans ce domaine, au sol et dans l'espace.

Au sol, les effets de l'atmosphère dégradent de façon catastrophique la précision astrométrique que pourraient fournir de grandes ouvertures. Mais les travaux de M. Shao et son groupe au Mont Wilson montrent que l'observation simultanée en plusieurs couleurs permet de récupérer en partie la précision. Cette voie semble extrapolable à des bases multiples de grande dimension, et peut-être au cas de grandes ouvertures monolithiques.

Pour le comprendre, on peut imaginer un prisme d'angle petit et variable, modélisant un morceau d'atmosphère plus petit que r_0 , l'échelle caractéristique de la turbulence. Son effet sur l'image d'une étoile observée à travers est un déplacement accompagné d'une dispersion. L'image est donc un petit spectre, rapidement variable en orientation et en dispersion. S'il est enregistré en couleurs, la mesure de son étalement permet de calculer le déplacement, connaissant les caractéristiques de dispersion de l'air. Le raisonnement s'applique aussi au cas de 3 petites ouvertures constituant un interféromètre, même

si leur espacement est beaucoup plus grand que r_0 , pourvu qu'elles-mêmes soient plus petites que r_0 . Dans ce cas, c'est toute la figure d'interférence en forme de nid d'abeilles qui est déplacée et dispersée. Mesurée par exemple sur le pic central, la dispersion fournit l'angle du prisme géant couvrant les trois ouvertures. Ce prisme est tout bosselé de turbulence, mais son angle moyen pour les 3 ouvertures est défini de façon précise si celles-ci sont plus petites que les bosses. Si l'on passe à 4 ouvertures et davantage, ce raisonnement ne convient plus car un plan d'onde n'est plus défini par 4 points déphasés de façon aléatoire. Mais l'on peut toujours ramener à un groupe de triplets un nombre quelconque d'ouvertures, et ainsi obtenir des mesures indépendantes de la position de la source.

Dans le cas d'une grande ouverture, l'image est tavelée. Enregistrée en lumière blanche, elle présente des alignements radiaux qui semblent définir de façon assez précise un centre. Il se peut que des méthodes appropriées d'analyse statistique des tavelures en plusieurs couleurs permettent ainsi d'exploiter astrométriquement les futurs grands télescopes terrestres en fournissant des positions précises par rapport à un pilier de référence. Avec deux ou trois petites ouvertures, le support rigide de référence devient superflu si l'on parvient à observer simultanément deux étoiles.

Dans l'espace, divers concepts d'interféromètres astrométriques ont été présentés au congrès de Beaulieu organisé en Octobre 1992 par l'Agence Spatiale Européenne. L'un de ceux applicables à court terme est une extension du concept Hipparcos. Il comporte deux interféromètres Fizeau qui sont des morceaux de deux miroirs paraboliques confocaux, visant des directions différentes. Une variante utilisant des miroirs plans, comportant deux interféromètres de Michelson, bénéficie aussi de cet avantage mais nécessite un disperser pour maintenir la cohérence temporelle dans un large champ. Contrairement aux systèmes d'interféromètres astrométriques proposés antérieurement pour l'espace, ces structures ont la propriété d'être insensibles, au premier ordre, aux flexions de la poutre qui les porte.

3. Les 3 cours donnés à Toulouse concernaient les télescopes à *synthèse d'ouverture dans l'espace et les grandes structures déployables qu'ils nécessitent.*

Alors que les bases des interféromètres optiques sur Terre atteindront bientôt 600m de longueur, il serait pénalisant pour leurs équivalents spatiaux qu'ils soient limités à des dimensions comparables à celles des fusées qui les emporteront dans leurs soutes.

Il est donc très important d'étudier des structures déployables, en orbite ou sur la Lune.

Les concepts présentés depuis une dizaine d'années comportent :

1. des mécanismes qui s'ouvrent comme des parapluies ; des structures gonflables enduites d'une résine qui durcit au Soleil ;

2. des flotilles d'éléments autonomes, équipés chacun de fusées ou de voiles solaires permettant de maintenir un vol en formation et d'orienter globalement la flotille pour la pointer vers l'astre observé ;

3. des structures tournantes munies de câbles que l'on déroule pour les déployer. Pour les projets destinés à la Lune, les télescopes sont mobiles, d'eux-mêmes ou grâce à des véhicules qui les transportent.

Les dernières études du Jet Propulsion Laboratory concernent différentes structures de poutrelles pliables, dont certaines sont actives, c'est-à-dire équipées d'actuateurs piézo-électriques qui contrarient les tendances à fléchir, imitant en cela les structures biologiques telles que la colonne vertébrale d'un serpent en position dressée. Une solution à câbles a été imaginée et soumise à un début d'analyse mathématique au sein de l'équipe. Une autre est étudiée à l'observatoire de Flagstaff. Pour les sites sur la Lune, le concept de télescopes automobiles, capables de se déployer sans intervention humaine, bénéficie de la construction de prototypes pour le système terrestre « Optical Very Large Array » dont la structure est peu différente.

4. Un cours destiné à un public élargi a été donné également à l'université de Limoges sur le thème : « *Mieux voir les astres : les nouveaux télescopes géants et leurs usages* »

Les découvertes récentes suggèrent que des percées majeures récompenseront la mise en route des nouveaux télescopes. Les images des arcs gravitationnels obtenues récemment semblent par exemple montrer dans un cas trois arcs concentriques qui ressemblent à ce que l'on pourrait espérer voir dans le cas d'une lentille gravitationnelle qui émettrait aussi des ondes de gravitation n . On imagine mal l'impact réel qu'aura sur l'Astronomie, et sur notre façon de concevoir le monde, la nouvelle génération de télescopes à synthèse d'ouverture. Des exemples en donnent une idée, mais les découvertes les plus significatives sont vraisemblablement celles que l'on n'imagine pas actuellement.

SÉMINAIRES

Au Collège de France :

Alfred VIDAL-MADJAR (Institut d'Astrophysique, Paris), *Tentative de détection de la masse manquante dans le halo de notre galaxie, par effet de microlentille gravitationnelle.*

Jean KOVALEVSKY (Observatoire de la Côte d'Azur, Nice), *Premiers résultats et applications de la mission Hipparcos.*

Alain BRILLET (Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire, Orsay), *Détecteurs Interférométriques d'Ondes de Gravitation. Le projet Virgo et la situation internationale.*

A Nice :

Hans SCHOLL (Observatoire de la Côte d'Azur, Nice), Une planète autour de l'étoile beta Pictoris ?

Nicolas FRANCESCHINI (Laboratoire de Neurobiologie CNRS, Marseille), L'œil composé de la mouche : acquisition et traitement du signal optique ; applications aux robots mobiles autonomes.

Daniel BENEST (Observatoire de la Côte d'Azur, Nice), Orbites planétaires stables dans les systèmes binaires.

A Toulouse :

Yannick MELLIER (Observatoire de Toulouse), Arcs gravitationnels et distribution de matière dans la galaxie.

Denis MOURA (Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse), Ingénierie d'une mission d'interférométrie lunaire.

ACTIVITÉS DE RECHERCHE

Construction d'éléments prototypes pour le Optical Very Large Array (D. VERNET, D. PONS, C. CAZALÉ, J.J. KESSIS, J.P. RAMBAUT, J. PINEL, L. ARNOLD, A. BLAZIT, B. DEJONGHE, J. DEJONGHE, J. TEXEREAU).

Le projet d'OVLA requiert la mise au point de nouvelles techniques de construction pour les 27 télescopes compacts et mobiles qui le composent, ainsi que pour le système destiné à mesurer la position de ces télescopes. Ainsi, la décision d'adopter des miroirs primaires minces, dont la forme sera maintenue de façon active, a conduit à produire plusieurs exemplaires de ménisques de diamètre 1 m 50 en verre ordinaire recuit, obtenus dans le four construit à cet effet. Les 27 disques nécessaires au projet pourraient être produits dans ce four au rythme d'un tous les dix jours. L'utilisation de verre ordinaire, dont la dilatation est rendue tolérable par le barillet actif, peut réduire d'un facteur 50 le coût des ébauches. Selon le principe démontré sur le »New Technology Telescope« de l'Observatoire Européen Austral au

Chili, les support motorisés sont activés, selon la forme mesurée de l'onde lumineuse réfléchi par le miroir, pour rendre celle-ci aussi parfaite que possible, sans toutefois que l'on tente de corriger sur ce grand miroir les déformations rapides de l'onde que cause l'atmosphère. Celles-ci seront prises en charge par un petit miroir équipé d'actuateurs piézo-électriques.

La mesure des tensions résiduelles dans le verre, effectuée en lumière polarisée sur les premiers ménisques moulés, a montré que la qualité du recuit permet d'envisager leur polissage. L'ébauchage précédant le polissage de plusieurs ménisques est en préparation, et il est prévu d'essayer différentes techniques de polissage à l'Observatoire de Marseille, et à Grasse.

Le barillet actif du miroir primaire est étudié à l'Observatoire de Haute-Provence et à Calern. Différents types d'actuateurs, équipés de jauges de contraintes et de moteur, qui pourraient équiper les 29 points de support actifs ont été dessinés. Un actuateur prototype doit être prochainement construit. Les calculs de flexion exécutés par L. Arnold dans le cadre de sa thèse ont permis de préciser la disposition des actuateurs. La correction des efforts latéraux apparaissant lorsque le miroir est incliné pourrait nécessiter des actuateurs supplémentaires, mais les calculs de flexion n'ont pas encore permis de le savoir.

La monture sphérique et l'entraînement du télescope sphérique prototype ont déjà été construits et expérimentés, mais il manque encore les finitions internes dont l'étude est en cours à l'Observatoire de Haute Provence. Selon les difficultés qui seront rencontrées pour le polissage des miroirs, le télescope complet pourrait entrer en service dans un ou deux ans pour rejoindre l'interféromètre GI2T où il pourra être évalué avant d'être équipé de son translateur hexapode.

Les translateurs, des robots marchant à la façon d'un insecte, serviront à déplacer les télescopes, notamment pendant les observations pour égaliser approximativement les chemins optiques. Un modèle animé de patte, à l'échelle 1/3, a été réalisé au Laboratoire de Robotique et d'Intelligence Artificielle de Paris VII et exposé au Collège de France lors de la journée de la Science en Fête. Un élément motorisé de patte à l'échelle 1, en fibre de carbone, est aussi en construction.

Le système interférométrique de faisceaux laser, prototype de ceux destinés à mesurer les positions des télescopes, est expérimenté sur l'interféromètre GI2T par F. Morand dans le cadre de son travail de thèse.

Version lunaire LOVLA

La version du OVLA proposée aux agences spatiales pour un site lunaire a été présentée sous sa forme la plus récente aux congrès de Toulouse « Mis-

sions, Technologies and Design of Planetary Mobile Vehicles » et de Beaulieu « Targets for Space-based interferometry ». D. Moura, ingénieur au CNES, a effectué une pré-étude d'une mission lunaire LOVLA, étude qu'il a présentée lors d'un séminaire dans le cadre des cours de Toulouse.

Etude préliminaire d'un interféromètre déployable en orbite par des câbles (Ph. CLAUDIN, A. LABEYRIE)

En orbite terrestre, il serait très intéressant d'avoir des interféromètres à grande base, quelques centaines de mètres, mais cela nécessite évidemment des structures déployables. Outre les projets de flotilles de télescopes indépendants, stabilisées par des fusées ou des voiles solaires (projet TRIO), l'idée de structures en rotation dont les éléments sont reliés par des câbles que l'on déroule, avait déjà fait l'objet de calculs préliminaires par l'Agence Spatiale Européenne. Une structure quelque peu différente a été calculée au laboratoire. Un montage optique, avec un télescope suspendu à 6 fils métalliques, a été réalisé pour préciser les problèmes liés aux oscillations résiduelles. Selon les résultats présentés au congrès de Beaulieu, la structure proposée présente des caractéristiques intéressantes, notamment un cycle d'observation plus court que les structures à voiles solaires.

Proposition d'interféromètre pour l'astrométrie en orbite (A. LABEYRIE en collaboration avec l'équipe du projet ROEMER)

Après le succès du satellite Hipparcos, qui observe depuis 3 ans 150 000 étoiles pour déterminer leurs positions, leurs parallaxes et leurs mouvements propres, un projet de deuxième génération, Roemer, a été présenté en Mai 1993 à l'Agence Spatiale Européenne. Une option incluse dans la proposition concerne le double interféromètre mentionné dans le cours, qui est une extension du principe d'Hipparcos : deux interféromètres de Fizeau qui sont des segments de deux miroirs paraboliques confocaux visent des directions différentes et peuvent être incorporés dans une poutre rigide.

Calcul d'effets diffractifs des lentilles gravitationnelles (A.LABEYRIE).

L'éventuelle observabilité de ces effets, discutés dans le cours, a conduit à calculer la magnitude et la probabilité des événements. Cela a conduit à soumettre un manuscrit au journal Nature. Les rapports d'expertise ont signalé deux problèmes : 1. les lentilles de masse stellaire, situées à plusieurs parsecs, conduisent à des événements insuffisamment probables pour que l'on ait une chance raisonnable de les détecter. Les masses sub-stellaires plus proches restent intéressantes ; 2. la symétrie de révolution des lentilles doit être assez parfaite pour que la figure de diffraction ne soit pas déformée et étalée. Les implications de ce dernier point sont encore à évaluer.

Observations avec le Grand Interféromètre à 2 Télescopes (D. MOURARD, D. BONNEAU, F. MORAND, F. VAKILI, I. TALLON-BOSC, L. KOECHLIN, P. STÉE).

L'équipe du GI2T a peu observé cette année, pour mieux se consacrer à l'analyse des données enregistrées précédemment. La réduction de ces données exige des calculs intensifs, autocorrélations à deux dimensions effectuées sur les millions d'images à poses courtes qui sont enregistrées par les caméras à comptage de photons. Sous l'impulsion de D. Mourard, des progrès notables ont été effectués dans la mesure des contrastes de franges dont on déduit la cohérence spatiale de la source, laquelle donne les informations à haute résolution.

La modélisation théorique d'étoiles B_e , que Ph. Stée a entrepris de perfectionner dans le cadre de son travail de thèse, commence à fournir des cartes monochromatiques des enveloppes de ces étoiles, cartes qui pourront être confrontées à l'observation.

Par ailleurs, les efforts de perfectionnement technique du GI2T ont été poursuivis. L'étude d'une nouvelle table a été entamée en collaboration avec le groupe technique du département Fresnel de l'Observatoire de la Côte d'Azur. Cette table comportera une optique adaptative pour corriger la turbulence atmosphérique. Elle servira également de précurseur pour le système interférométrique du projet européen de Very Large Telescope.

PUBLICATIONS

1. « Construction of the Optical Very Large Array », LABEYRIE A., CAZALÉ C., GONG S., MORAND D., KESSIS J.J., RAMBAUT J.P., VAKILI F., VERNET D., ARNOLD L., proc. ESO conf High-resolution imaging interferometry II, Garching, 15-18 oct 1991.
2. « Status of the GI2T Tridimensional Absolute Laser Metrology System », MORAND F., GONG S., MOURARD D., LABEYRIE A., proc. ESO conf High-resolution imaging by interferometry II, Garching, 15-18 oct 1991.
3. « First experimental results in sub diffraction limited differential speckle interferometry », PETROV R.G., BALEGA Y.Y., BLAZIT A., BORGNINO J., FOY R., LAGARDE S., MARTIN F., VASSYUK V.V., ES.O conference on Very Large Telescopes II, Garching, 1991.
4. « Lensing effects of gravitational radiation near celestial sources », 1992, LABEYRIE A., *Astronomy and Astrophysics*, 268, 823-828, 1993.

5. « Simultaneous spectroscopic and interferometric measurements on binaries with the GI2T », MOURARD D., BONNEAU D., BLAZIT A., LABEYRIE A., MORAND F., PERCHERON I., TALLON-BOSC I., and VAKILI F., Proceedings I.A.U.Coll. 135, Atlanta, april,1992.

6. « Optical UV IR Interferometry from Lunar Baselines », LABEYRIE A.,proc. COSPAR, Washington, 1992.

7. « Interferometric Astronomy on the Moon », LABEYRIE A., KESSIS J.J., and RAMBAUT J.P., proc. symp. Missions, Technologies and Design of Planetary Mobile Vehicles, CNES, Toulouse, sept. 1992, CEPADUES.

8. « Interferometry from the Moon », LABEYRIE A., ESA colloquium on Targets for Space-based Interferometry , Beaulieu, France, 13-16 Octobre 92.

9. « Lunar Interferometry », LABEYRIE A., in proc ; coll. « Targets for Space-based interferometry », ESA, Beaulieu, oct. 1992.

10. « Interferometer concepts for astrometry in space », LABEYRIE A., in proc ; coll. « Targets for Space-based interferometry », ESA, Beaulieu, oct. 1992.

11. « A concept of deployable tethered interferometer », CLAUDIN Ph., and LABEYRIE A., in proc ; coll. « Targets for Space-based interferometry », ESA, Beaulieu, oct. 1992.

12. « Self-referenced holography methods in french observatories », FOY R., FOY F.-C., QUATREHOMME F., THIÉBAUT E., BLAZIT A., BONNEAU D., TALLON-BOSC I., TALLON M., BARANNE A., THOM Ch., Proceeding N.O.T workshop , Nordic Optical Telescope Scientific Association, Copenhagen, décembre 92 .

13. « The orbit of red-dwarf binary gliese 473 revisited by speckle-interferometry », PERRIER C., MARIOTTI J.M., BONNEAU D., DUQUENNOY A., Proceeding ESO, High Resolution Imaging by Interferometry II,Garching, part 1, 109, 1992.

14. « The extended Ha component of T Tau », THIEBAUT E., DEVANEY N., FOY R., DE BATZ B., BLAZIT A., BONNEAU D., BOUVIER J., THOM Ch., International Astronomical Union Symposium n° 158,Very High Angular Resolution Imaging, Sydney, Australie, 11-15 janvier 93.

15. « Beam combination for wide field imaging », TALLON M., TALLON-BOSC I., International Astronomical Union Symposium n° 158, Very High Angular Resolution Imaging, Sydney, Australie,11-15 janvier 93.

16. « Progress of the Optical Very Large Array », LABEYRIE A., MOURARD D., MORAND F., ARNOLDL., DEJONGHE B., DEJONGHE J., CAZALE C., LEMAITRE G., VERNET D., BLAZIT A., TEXEREAU J., KESSIS J., RAMBAUT

J.P., International Astronomical Union Symposium n° 158, Very High Angular Resolution Imaging, Sydney, Australie, 11-15 janvier 93.

17. « Progress on GI2T », TALLON-BOSC I., BONNEAU D., LABEYRIE A., MORAND F., MOURARD D., STEE Ph., VAKILI F., International Astronomical Union Symposium n° 158, Very High Angular Resolution Imaging, Sydney, Australie, 11-15 janvier 93.

18. « L'Interférométrie des tavelures », BONNEAU D., Actualités de la Recherche, L'Astronomie-Vol.107, avril 1993.

19. « Gravitational lenses as giant diffractive telescopes », LABEYRIE A., (manuscrit soumis à Nature).

Conférences présentées sur invitation

Communication au Symposium International, Centre National d'Etudes Spatiales, « Interferometric Astronomy on the Moon », Missions, Technologies and Design of planetary mobile vehicles, Toulouse, France, 28-30 septembre 1992.

Communication au Colloque de l'Agence Spatiale Européenne, « Interferometry from the Moon », Targets for Space-based Interferometry « Beaulieu, France, 13-16 Octobre 1992.

PUBLICATIONS

LABEYRIE A., *Interferometric astronomy on the Moon* (Symposium International, Centre National d'Etudes Spatiales « Missions, Technologies and Design of planetary mobile vehicles », Toulouse, France, 28-30 septembre 92).

LABEYRIE A., *Interferometry from the Moon* (ESA colloquium on Targets for Space-based Interferometry, Beaulieu, France, 13-16 octobre 92).

LABEYRIE A., *Interferometer concepts for astrometry in space* (ESA colloquium on Targets for Space-based Interferometry, Beaulieu, France, 13-16 octobre 92).

CLAUDIN Ph., LABEYRIE A., *A concept of deployable tethered interferometer* (ESA colloquium on Targets for Space-based Interferometry, Beaulieu, France, 13-16 octobre 92).

LABEYRIE A., *Lensing effects of gravitational radiation near celestial sources*, (Astronomy and Astrophysics. 268, 823-828, 1993).

LABEYRIE A., MOURARD D., MORAND F., ARNOLD L., DEJONGHE B., DEJONGHE J., CAZALE C., LEMAITRE G., VERNET D., BLAZIT A., TEXE-REAU J., KESSIS J., RAMBAUT J.P., *Progress of the Optical Very Large Array* (International Astronomical Union Symposium n° 158, Very High Angular Resolution Imaging, Sydney, Australie, 11-15 janvier 1993).

TALLON-BOSC I., BONNEAU D., LABEYRIE A., MORAND F., MOURARD D., STEE Ph., VAKILI F., *Progress on GI2T* (International Astronomical Union Symposium n° 158, Very High Angular Resolution Imaging, Sydney, Australie, 11-15 janvier 1993).

LABEYRIE A., *Gravitational lenses as giant diffractive telescopes* (manuscrit soumis à Nature).