International Conference on Space Optics—ICSO 1997

Toulouse, France

2–4 December 1997

Edited by George Otrio

L'optique spatiale au CES

M. Courtois, G. Otrio

International Conference on Space Optics — ICSO 1997, edited by Georges Otrio, Proc. of SPIE Vol. 10570, 105702J · © 1997 ESA and CNES · CCC code: 0277-786X/18/\$18 · doi: 10.1117/12.2326077

Proc. of SPIE Vol. 10570 105702J-1

L'optique spatiale au Cnes

Michel Courtois*, Georges Otrio^o

*Directeur Général Adjoint du Cnes

^oDépartement optique

INTRODUCTION

J'ai le plaisir d'inaugurer cette troisième conférence ICSO'97 consacrée à l'optique spatiale. Les techniques évoluent très vite; l'optique et l'optoelectronique n'échappent pas à cette règle. Depuis Garmisch, en 1994, bien des événements concernant ces domaines se sont produits. Je rappellerai les faits les plus saillants dans la première partie de mon exposé. Je donnerai ensuite un aperçu des activités en cours au Cnes et je terminerai en parlant du futur : quelles sont les technologies émergentes et quels projets peuvent en découler ?

2. UNE ACTIVITE IMPORTANTE CES DERNIERES ANNEES

Plusieurs satellites et le ballon stratosphérique emportant l'expérience Pronaos, ont été lancés depuis 1994, date de ma dernière présentation au colloque ICSO. Pour tous ces projets, le Cnes, la recherche et l'industrie française ont été largement impliqués avec des responsabilités diverses. Je vais d'abord rappeler quelques résultats marquants qui ont été obtenus, en vol, par ces instruments.

Les sciences d'abord, et l'exploration de l'univers froid grâce au ballon stratosphérique Pronaos [1],[17], qui a été lancé avec succès le 22 septembre 96 depuis Fort Sumner aux USA. Pendant 29 heures, 50 régions du ciel ont été observées. Les résultats sont très innovants pour la première fois, on a pu mettre en évidence à deux reprises, la partie positive de l'effet Sunaiev-Zeldovitch : déformation de la fonction de distribution spectrale du corps noir correspondant à l'espace froid vers 2.7 °K. Sur A478 et A2163, un excès de lumière a été constaté sur les canaux de plus grande longueur d'onde. Ce supplément de lumière est interprété comme une émission par les "poussières" constitutives de cette matière interstellaire.

Ceci permettra d'améliorer nos connaissances sur la constante cosmologique de Hubble et l'âge de l'univers. Une communication sera faite prochainement sur cette question, dans un colloque spécialisé.

Pronaos a mis en évidence une concentration de matière à 12 °K dans des nuages moléculaires dans les régions de Rho-Ophiucus et M17. On a pu déterminer, en outre, que la masse de ces "grains" de matière est comprise entre 1 et 40 masses solaires.

Pronaos est d'une grande aide pour la préparation des missions First et Plank-Surveyor de l'ASE. Il complète aussi ISO grâce à l'extension du domaine spectral (Des mêmes zones ont été observées dans des domaines spectraux infrarouges très différents.)

Concernant l'instrument, on peut ajouter qu'on a estimé la qualité image en visant une planète (bon rapport signal à bruit et l'objet peut être considéré comme ponctuel). La déformation de la surface d'onde a été estimée à 33 microns RMS, ce qui est meilleur que la spécification (40 microns). La résolution spatiale mesurée en vol est de l'ordre de 3' d'arc. La résolution radiométrique est de 10^{-15} watt environ. Concernant l'ensemble nacelle [A4], les performances de pointage sont excellentes aussi (20" à 50" en stabilité de pointage sur une observation, alors que le besoin était de 60"). Le ballon a atteint son plafond à 37.8 km le premier jour et 38.7 le second. Vol réussi, donc.

Les expériences Alice 1 et 2, [2] (Analyse des LIquides Critiques dans l'Espace) embarquées sur MIR à l'occasion des vols habités Franco-Russe Antares (en 94) et Cassiopee (Août 96) ont donné d'excellents résultats scientifiques. Alice consiste à étudier les fluides dans une grande dynamique de transitions de phases et autour du point critique. L'instrumentation optique est indispensable pour l'observation détaillée de la croissance des objets en microscopie et avec des caméras (une bonne résolution spatiale est exigée). On mesure aussi la transmission, les changements d'indice de réfraction avec un interféromètre de type Michelson, la diffusion d'un faisceau laser, détectée par un photomètre (le fluide a un comportement particulier en diffusion près du point critique) et les défauts d'homogénéité grâce à une technique d'ombroscopie réalisée par une caméra et une grille. L'ensemble optique a été conçu et réalisé par la société Cerco, sous maîtrise d'œuvre du Cnes, pour le premier vol et de l'Aérospatiale (Saint Medard en Jalles), pour le second.

On peut dire que les résultats de mesure sont excellents et que d'autres utilisateurs étrangers, russes et allemands exploitent l'appareil. Le premier modèle (Alice 1) est à Moscou à l'Institut de Recherche des Problèmes Mécaniques. Le second, resté à bord de MIR, sert régulièrement aux différentes équipes étrangères et sera réutilisé pour le vol franco-russe, Pégase (98).

Le troisième fait marquant en instrumentation optique revient à Polder, expérience d'observation de la Terre, dans le visible et proche infrarouge en lumière naturelle et polarisée. Le projet, réalisé en maîtrise d'œuvre interne au Cnes, avec le concours industriel efficace pour la réalisation d'équipements, consiste à mesurer l'indicatrice de diffusion de scènes terrestres dans 6 bandes spectrales étroites non polarisées (largeurs spectrales de 10 nm, 20 nm et 40nm) et 3 bandes polarisées (20 nm et 40nm). L'instrument, un radiomètre multispectral à très grand champ (114°), a été embarqué sur le satellite Japonais Adéos I qui a été lancé en août 96. Les résultats obtenus sont excellents (jusqu'à la perte du satellite en juin 97). Il est prévu de renouveler cette expérience (Polder II) sur une autre plate-forme Adéos, avec les Japonais, l'année prochaine.

Pour l'instrumentation optique, on ne citera que l'exemple original de l'étalonnage de la lumière parasite. Des mesures effectuées sur les différents modèles de l'instrument ont montré que les niveaux de lumière parasite, bien que très faibles, étaient incompatibles avec les spécifications radiométriques (ces flux pouvaient même dépasser de 20 à 50 fois les valeurs maximum tolérables). Le problème a été abordé, d'une part, par le biais de la simulation pour comprendre les phénomènes et révéler d'éventuelles erreurs conceptuelles, d'autre part, par mise au point d'une procédure d'étalonnage et de correction au sol des images. La méthode repose sur une déconvolution de l'image pour s'affranchir des défauts dus à la réflexion de la lumière parasite sur la mosaïque CCD et à une soustraction d'un fond continu proportionnel au niveau d'éclairement de l'image. Cette dernière opération permet de corriger les multiréflexions et les diffusions dans l'objectif. Cette méthode originale a été présentée au colloque [3] d'observation de la Terre à Londres en Septembre dernier.

Pour le futur, il sera donc important de bien comprendre ces phénomènes de lumière parasite (réflexions, diffusions par les surfaces, les arêtes de baffles, le détecteur...) dont on parle de plus en plus car les exigences radiométriques deviennent plus sévères et les missions plus ambitieuses. Des approches théoriques (modélisations d'ensemble), expérimentales [13], [15], [16], (indicatrices de diffusion, approche de la mesure au niveau instrument complet) et technologiques (recherche de matériaux, de nouveaux revêtements...), sont actuellement entreprises dans le cadre des études de Recherche et Développement pour le compte des nouveaux instruments d'observation de la Terre, d'astronomie et pour d'autres capteurs (senseurs, télécommunications optiques...). Un bon exemple arrive maintenant. Il s'agit du photomètre pour l'observation des étoiles, (projet Corot) qui impose un taux de lumière parasite extrêmement bas. On tolère au maximum, un photon par pixel et par seconde de façon

à ce que les variations du signal en provenance de l'étoile observée, ne soient dues qu'à l'étoile elle-même (sismologie stellaire). Le choix du concept optique reviendra en fin de compte à l'instrument qui présentera les meilleures performances en lumière parasite.

Signalons enfin le satellite Hélios I, lancé en Juillet 95 qui conforte la place mondiale de la France dans le domaine de l'observation et du renseignement.

3 LES PROJETS EN COURS AU CNES

Quels sont les instruments optiques en développement dans l'industrie, sous maîtrise d'ouvrage du Cnes dans les domaines de l'observation de la Terre, de la science, de la météo et de la climatologie ?

En premier lieu, en continuité avec les satellites Spot I à III, Spot IV, (sous maîtrise d'oeuvre de la société M.M.S.) sera lancé au mois de mars 98. L'instrument apportera quelques nouveautés : d'abord, une nouvelle bande spectrale en moyen infrarouge (1.58 à 1.75 microns) au foyer de l'instrument HRVIR. Le détecteur sera constitué par l'aboutage de dix barrettes de 300 éléments photosensibles GaInAs de 26 microns de côté, le long d'une ligne de 78 mm de long. Ces barrettes seront couplées avec des registres CCD dans un boîtier spécial, conçu pour garantir une bonne géométrie d'image (planéité, positionnement précis le long d'une ligne). Notons enfin, une amélioration notoire de Spot IV avec l'emport d'un instrument multispectral (4 canaux), de très bonne radiométrie et à très grand champ (101°) pour la surveillance de la végétation [4]. Cette caméra, appelée "Végétation", développée par la société Aérospatiale, sous maîtrise d'ouvrage Cnes, sera un complément très utile des instruments HRVIR pour l'observation des cultures, de l'étude de la biomasse, grâce à sa très bonne radiométrie.

Une autre originalité de Spot IV, concerne une liaison télécommunication optique à "haut débit" (50Mbit/s), Silex [5], dont les premières études de faisabilité ont démarré au Cnes des 1982 et qui a été développée par l'Agence Spatiale Européenne. Un des deux terminaux de la liaison sera embarqué sur Spot IV. Il s'agit d'une "première" dans le domaine de l'instrumentation optique car, pour la première fois en Europe, on mettra en oeuvre un système complexe de lasers pointés et asservis en position avec une précision extrême (de l'ordre du microradian). La démonstration télécommunication ne sera malheureusement pas possible dans l'immédiat, car le deuxième terminal (sur satellite géostationnaire) ne sera pas encore disponible. On se contentera donc, dans un premier temps, d'essais de bon fonctionnement, incluant une première évaluation de la stabilité de pointage sur une étoile. La maîtrise d'oeuvre de Silex a été confiée à MMS.

Dans le domaine de la météorologie et des sciences de l'environnement, citons le projet IASI (Infrared atmospheric sounding interferometer). L'étude de phase B sous responsabilité du Cnes se termine actuellement et un transfert de responsabilités s'opère vers un futur maître d'oeuvre (Aérospatiale Cannes) pour la réalisation et essais des divers modèles. Un intense travail de conception détaillée accompli par le Cnes et les équipes industrielles, s'est fait pendant ces dernières années. Des développements d'équipements réputés difficiles ont été couronnés de succès. Donnons quelques exemples concernant le sous-système optique : les coins de cube [12] en SiC très légers et de bonne qualité optique, la référence laser stabilisée en fréquence [10], les optiques froides [14] (filtres et microlentilles).

L'instrument, un spectromètre par transformée de Fourier, annonce un progrès significatif dans le domaine du sondage atmosphérique et permettra la mesure précise de profils verticaux de températures (à 1°K) et de la concentration de vapeur d'eau avec une excellente résolution spatiale (1km en vertical et 50 km en surface). Cet instrument sera embarqué sur le satellite Metop de l'ASE. Actuellement, le Cnes réalise une maquette [6] qui permet de valider les performances fonctionnelles de l'instrument. Pour étalonner cette maquette de laboratoire, des

mesures sur l'atmosphère ont été réalisées récemment et comparées avec celles effectuées par des ballons sondes de la Météorologie Nationale, sur les mêmes zones et aux mêmes instants. La comparaison des résultats est très satisfaisante : elle permet, d'une part, de vérifier la bonne tenue des performances (résolutions spectrale et radiométrique...) et, d'autre part, de s'assurer qu'il n'y a ni oubli ni surspécification.

Parlons maintenant de l'évolution des instruments optiques qui seront embarqués sur le futur satellite Spot V. La décision d'améliorer la résolution spatiale à 5 m (les satellites Spot I à Spot IV avaient une résolution de 10 m au sol) conduit à modifier considérablement l'instrument HRV. Les barrettes de 12.000 détecteurs CCD au pas de 6,5 micron ont remplacé les 4 barrettes de 1500 points au pas de 13 micron. Le pas d'échantillonnage au sol pourrait être ainsi de 5 m mais une autre amélioration a consisté à adjoindre une ligne CCD identique, sur le même substrat, parallèle à la première et décalée de l'équivalent de quelques lignes dans le sens de l'avance du satellite et d'un demi pixel dans la direction perpendiculaire. Le pas d'échantillonnage réel, dans deux directions perpendiculaires (à 45° de la trace), est donc de l'ordre de 3,5 m. Pour la cohérence de la chaîne image, il faut que la fonction de transfert de l'instrument soit exploitable jusqu'à une fréquence spatiale correspondant à 5 m au sol dans la direction de la trace du satellite. Ceci a nécessité une autre série d'améliorations : polissage poussé des optiques ($\lambda/20$ rms) avec retouches PAO (polissage assisté par ordinateur qui correspond à une étape ultime du polissage), procédures de réglages et d'intégration très améliorées mettant en œuvre des techniques interférométriques, positionnements ultra-précis des lentilles et miroirs. Pour cela, de nouveaux dispositifs de fixation des miroirs, permettant de filtrer les contraintes mécaniques et thermiques ont été mis au point. Le collage de ces dispositifs sur le miroir est très critique. Les précisions de positionnement sont très sévères. Des progrès ont donc été réalisés dans ce domaine. D'autres améliorations, comme par exemple, les mécanismes (précision augmentée de la ligne de visée), ont demandé de gros efforts. L'instrument HRG, est donc très différent de son aîné HRVIR, grâce à ses améliorations substantielles. On avait même envisagé de remplacer le zérodur (qui est le substrat des miroirs) par du SiC, matériau plus performant (gain de masse), pour le miroir plan de balayage, situé à l'avant de l'appareil. Les impératifs du planning n'ont pas permis de réaliser ce changement. D'autres projets auront, de toute évidence, la possibilité d'utiliser ce matériau mais après encore certaines validations d'ordre technologique.

4 LE FUTUR DE L'INSTRUMENTATION OPTIQUE

On assiste depuis quelques années aux annonces de nouveaux satellites d'observation de la Terre avec des résolutions spatiales de plus en plus élevées (Inde, Japon, Etats-Unis). De même, certains grands groupes industriels veulent aussi prendre une place importante dans ce qui pourrait devenir un marché, l'imagerie à haute résolution.

Les contraintes budgétaires, la nécessité de raccourcir les délais, la concurrence étrangère de plus en plus rude, obligent le concepteur à proposer des instruments optimisés au plus juste : il faut faire le "plus petit possible", réduire les masses, les délais de fabrication, d'intégration, revoir la politique de développement (la précision des modèles numériques et des simulations permettra, peut-être, d'éviter ou de simplifier la réalisation de certaines maquettes fonctionnelle, mécanique, électrique...), spécialiser les instruments au plus juste de la fonction demandée (par exemple, si on a besoin d'un radiomètre, il sera, peut-être, inutile d'être trop exigeant en résolution spatiale qui coûte cher en diamètre d'optique. Réciproquement, un bon imageur ne demande pas forcément de bonnes caractéristiques spectrales).

Après une étude de dimensionnement et d'optimisation des sous-systèmes (choix de la focale, optimisation de la combinaison optique, choix du détecteur...), le Cnes a démarré le maquetage d'un télescope à trois miroirs anastigmat [7]. L'objectif est de démontrer la

faisabilité du polissage de miroirs fortement asphérisés, de prouver que des instruments de plus petites dimensions peuvent permettre une haute résolution spatiale (18 cm de pupille sans occultation centrale et résolution au sol de 3 m environ) et de maîtriser la procédure d'intégration d'un tel télescope, à l'aide de contrôles interférométriques. Le succès de ces opérations permettra d'optimiser le dimensionnement des grands instruments (applications civiles et militaires) et des satellites. Ce sera peut-être le prochain défi dont on parlera au prochain colloque.

Pour réussir ces paris, il faut bien maîtriser les technologies critiques. Mentionnons en quelques unes : le polissage ionique et assisté par ordinateur qui permet d'obtenir des profils fortement asphérisés ou encore de réduire les défauts de surface (la dizaine de nanomètres rms a été obtenue rapidement sur des miroirs très ouverts), les nouveaux matériaux (SiC) pour les miroirs qui laissent espérer des gains de masse très significatifs et grâce à de nouvelles techniques, les grands miroirs (de diamètre égal ou supérieur au mètre) deviendront faisables. Les dispositifs de fixation des miroirs deviennent plus simples et leur intégration sur les barillets, plus aisée donc plus rapide. Pour les structures, d'autres matériaux commencent à être sérieusement envisagés pour une performance en stabilité fortement accrue. En parallèle, l'étude de structures "actives" comportant capteurs [13] et actionneurs pourrait conduire à de nouveaux concepts instrumentaux qui seraient moins contraignants en rigidité et en contrôle thermique. D'autre part, ces nouvelles structures actives laissent espérer une économie en moyens d'intégration et de mesure. Par contre ces nouveaux systèmes sont complexes et leur fiabilité n'est pas encore démontrée : il faut les étudier de manière approfondie. D'autres domaines technologiques sont explorés (lumière parasite, nouveaux détecteurs, filtres étroits...). Nous n'en parlerons pas, cela nous amènerait trop loin.

Je voudrais maintenant parler d'une nouvelle technique instrumentale qui est amenée à se développer rapidement car les applications spatiales pointent de toutes parts et aussi parce que le composant de base (laser à semi-conducteur), poursuit une "brillante carrière" dans les secteurs civil et militaire (télécommunications optiques, vidéo, télécopie...). Le Cnes a organisé récemment une journée d'étude consacrée aux applications spatiales des lasers [8]. Parmi les nombreuses applications qui ont été présentées, je voudrais en sélectionner trois.

En premier lieu, les télécommunications optiques [5] à très hauts débits (plusieurs Gbits/s) entre satellites (orbite basse ou géostationnaire) donnent lieu actuellement à une intense activité industrielle, particulièrement dans le cadre des constellations de satellites en orbite basse et pour les liaisons entre satellites géostationnaires. Les données transmises sont les messages des services radiotéléphoniques et multimédia en tout point du globe. Le succès du réseau Internet et de ses applications grandissantes montrent tout l'intérêt qu'y portent les utilisateurs. Cela motive le développement de grands systèmes tels que Télédesic ou Celestri. Le Cnes, qui a participé au projet Silex (une équipe intégrée Esa/Cnes était installée dans les locaux du Cnes), devra étudier ce nouveau type de liaisons, défricher les technologies, analyser des solutions alternatives et suggérer des partenariats entre industriels.

Un mot maintenant, pour ce qui pourrait devenir rapidement un futur projet spatial nécessitant des lasers de hautes performances (finesse de raie, stabilité, puissance...). L'expérience Pharaon [9] est une horloge à atomes froids en micro-pesanteur, embarquable sur satellite, et nécessitant un ensemble de lasers pour le refroidissement et la détection. Cette horloge travaille sur une transition hyperfine vers 9 192 GHz de l'atome de césium et permet

une très haute stabilité de fréquence à long terme $0^{-14} \tau^{-2}$, soit 0^{-16} sur un jour. En outre, cette horloge permettra la distribution d'une échelle de temps ultra stable sur une

couverture mondiale. On espère une exactitude de 10 à 30 ps. utile pour une nouvelle génération de systèmes de positionnement et de navigation. D'autres applications scientifiques sont prévues, tels des tests de validité de la théorie de la relativité générale.

Pour cette application, un laser à très fine largeur de raie (100 kHz), de forte puissance (de l'ordre de 100 mW), est requis pour le sondage d'une raie atomique du Césium (vers 852.12 nm). Le refroidissement est obtenu par freinage de la vitesse de cet atome. Placé entre deux faisceaux se propageant en sens contraire, l'atome subit deux pressions de radiation qui ne s'équilibrent que lorsque l'atome est au repos. Le déséquilibre de pression est dû à la différence de fréquence des deux faisceaux laser vus par l'atome en mouvement (effet Doppler). Pour piéger l'atome à partir de vitesses d'agitation thermique relativement importantes et l'amener à la vitesse nulle, le laser doit être accordable sur plusieurs centaines MHz. Cela nécessitera donc des études et développements spécifiques pour faire fonctionner en orbite, pendant plusieurs années de tels systèmes lasers.

L'horloge, embarquée sur satellite, bénéficie de l'apesanteur. Les phénomènes d'interaction lumière-matière peuvent être considérablement plus longs qu'au sol et la précision est largement améliorée (un facteur 100), grâce à des temps d'observation plus longs. Le Cnes conduit des travaux pour spatialiser l'horloge (effort de réduction de masse, de consommation de vérification du bon fonctionnement en environnement hostile pendant plusieurs années) en coopération avec des laboratoires scientifiques français. Des expériences ont été déjà tentées et réussies : vols en microgravité sur avion (vols "paraboliques") d'une fontaine atomique, prototypes de laboratoire d'une horloge. La préparation d'une mission spatiale est en cours.

Le troisième exemple que j'ai choisi, concerne les applications des lasers semi-conducteurs à la métrologie bord. Grâce aux progrès accomplis par ces lasers (brillance, puissance, finesse de raie), leur fiabilité et leur rendement, on envisage de les utiliser pour la métrologie des longueurs, des vitesses et des déplacements à bord du satellite.

Je vais reprendre l'exemple de l'interféromètre IASI qui déplace un miroir sur 2 cm pour obtenir un interférogramme. Il est indispensable que le mouvement de ce miroir soit bien connu, avec une excellente précision, et ce, pendant toute la durée de vie qui est de plusieurs années. La fréquence de la lumière émise par un laser DFB que l'on stabilise en fréquence (à $\frac{\delta\nu}{\nu} = 10^{-7}$ à long terme) sur une raie d'absorption moléculaire, devient une excellente référence de longueur. De plus, sa bonne fiabilité, son faible encombrement et sa faible consommation en font un "produit spatial" d'avenir.

On pense aussi utiliser ces lasers pour la mesure, au sol et en orbite, de défauts, tels des microdéplacements de miroirs et d'autres composants optiques. Ainsi, on corrigera certains défauts des instruments optiques (grands interféromètres, imageurs à très haute résolution spatiale) par la simple mesure du déplacement défectueux et la remise en place de ces éléments optiques. Le gyromètre à fibre optique est un autre équipement spatialisable, entièrement statique et qui permettra de mesurer des vitesses angulaires avec précision.

Je ne parlerai pas des lidars de sondage de l'atmosphère, bien que la mesure de la vitesse des vents soit un besoin exprimé avec insistance et constance depuis plus d'une décennie déjà. Jusqu'à présent on ne disposait pas des sources laser suffisantes (énergie lumineuse et finesse spectrale). La situation va peut-être changer grâce à l'arrivée de lasers semi-conducteurs de forte énergie pour pomper d'autres lasers solides (YAG, YLF, ions terres rares) et aussi grâce à de nouvelles méthodes de détection qui semblent prometteuses. Des progrès importants restent à réaliser dans ces domaines.

5 CONCLUSION

L'optique (et bien sûr toutes les autres techniques associées) a démontré qu'elle était devenue une technique majeure et incontournable. Nombre de satellites comportent des équipements, des instruments qui font désormais appel à l'optique et à l'optoelectronique. De grands progrès ont été accomplis aussi bien dans les composants et technologies que dans les instruments et les systèmes. De nouvelles missions ambitieuses et variées arrivent. Il faut choisir. Pour cela, le Cnes doit travailler avec la plus grande ouverture possible auprès des partenaires industriels et scientifiques et chercher les meilleurs compromis, objectifs scientifiques-complexité instrumentale. D'autre part, devant la complexité des technologies évoluées (exemple : détecteurs CCD ou laser semi-conducteurs), le secteur spatial n'a plus les moyens de supporter seul des développements pour de nouveaux composants. Plus que jamais, il faudra coordonner ses efforts avec ceux d'autres organismes et industriels. Les enjeux sont importants, les défis passionnants et je suis persuadé que votre communauté saura rester mobilisée et organisée devant ces grands problèmes.

REFERENCES

- [1] The Pronaos project : design, development and in-flight results IAF 97 F Buisson
- [2] First results from the Alice 2 diagnostics and stimuli. Fluids in space, Naples 96
D Beysens, J.F. Zwilling, R. Marcout, Sallzmann, V. Auriac, Y Garrabos
- [3] Polder on-ground stray light analysis, calibration and correction. SPIE Proceedings,
Remote Sensing Londres Septembre 97 JM Laherrere, T Bret-Dibat, O Hagolle,
L. Poutier, P. Moyer, E. Verges
- [4] Performances de la charge utile du projet Végétation - Evolutions futures
J.F. Reulet, A. Clauss, M. Barillot
- [5] Towards a second generation of optical terminals for intersatellite communications IAF 97
Turin, M. Faup, P. Bricard
- [6] Maquette Iasi : un outil de validation et d'expertise ICSO 97 P J. Hebert, G. Chalon
- [7] Maquette fonctionnelle optique développée dans le cadre du développement exploratoire
telescope n.g V Albouys, J. Berthon, D. Laubier, T. Bret-Dibat, P. Etcheto, K. Mercier,
L. Perret
- [8] Atelier "Les applications spatiales des lasers" Labège Octobre 97
- [9] Un projet d'horloge atomique spatiale utilisant le refroidissement des atomes par faisceau
laser Pharaon C. Salomon, A. Clairon, P. Laurent, P. Lemonde, N. Dimarq, P. Petit
- [10] Réalisation d'une source laser spatialisée en fréquence sur une raie d'absorption
moléculaire L. Pujol, D. Boutaud, CSO-Mesure
- [11] Absolute distance measurements by laser interferometry R. Thibout, P. Juncar, L. Pujol,
D. Boutaud, J. Lizet
- [12] Coins de cube répliqués sur SiC D. Laroche
- [13] Présentation du banc de diffusion optique B. Cousin, P. Etcheto
- [14] Cold infrared optics for the IASI cold box M. Rover, J. Fleury, P. Laprat, R. Pinchi
- [15] Usinage des bords de diaphragme par bombardement ionique A. Mestreau, H. Bernardet,
G. Dancoing, X. Godechot, C. Pezant, V. Stenger
- [16] Broad-band absorber for reduction of parasitic light : two alternative solutions
H. Giovannini, C. Amra, G. Albrand, H. Akhouayri, F. Lemarquis, M. Cathelinaud
- [17] The Pronaos telescope G. Serra, I. Ristorcelli, M. Giard, J. M. Lamarre, F. Pajot, J. P. Bernard,
J. P. Torre