

Astrophysique théorique

M. Jean-Claude PECKER, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

Cours :

Le cours de l'année précédente traitait de la structure interne du Soleil, en tant que masse gazeuse sphérique en équilibre. On n'avait pris en compte que les phénomènes de transport convectif et ceux de l'équilibre radiatif, en vue d'établir « un modèle standard ».

1. Le modèle « standard » prévoit un important flux de neutrinos de diverses énergies, sous-produit des réactions nucléaires qui ont lieu au centre de l'étoile. L'observation montre que le flux de *neutrinos électroniques* est inférieur, d'un facteur trois environ, au flux prédit. On examine dans leurs détails les différents aspects de cette question : la solution du problème posé réside soit dans la physique même des neutrinos soit dans la théorie de la structure interne. Il est nécessaire d'envisager un important développement de la neutrino-astronomie, comme de la prise en compte, dans les théories de la structure interne, de phénomènes non encore complètement connus, comme la diffusion turbulente. L'observation des neutrinos fournira une méthode de *sondage* direct des régions les plus profondes du Soleil, aux confins du cœur thermonucléaire, lorsqu'on connaîtra mieux la physique de ces particules.

2. L'étude des *oscillations* de la masse solaire fournit une autre méthode de sondage direct en profondeur. La découverte de ces oscillations date de 1950 ; leur étude a considérablement progressé récemment. On a mis en évidence de nombreux modes d'oscillations de pression ou de gravité, correspondant à des systèmes d'ondes stationnaires. Les modes admettant un petit nombre de lignes nodales dans les régions observées de la photosphère solaire sont celles qui nous renseignent sur les régions les plus profondes. Ce nombre (désigné par le symbole l , nombre quantique azimutal) peut, par ailleurs, atteindre des valeurs de l'ordre de 200 dans les oscillations de pression mesurées : la distribution de l'énergie dans les divers harmoniques de l compris entre 1 et 150 est une image de la variation le long du rayon solaire des diverses

caractéristiques du modèle. La rotation a pour effet la séparation de ces modes l en plusieurs composantes m ; et l'analyse permet donc de calculer la variation de la vitesse de rotation avec la profondeur ; la rotation des régions du cœur est légèrement plus rapide que celle des couches chromosphériques. Mais on peut aussi utiliser les mesures pour améliorer les paramètres du modèle standard.

Certaines observations directes du diamètre solaire mettent en évidence des oscillations de très grande période — 40 jours, 900 jours. Elles sont encore difficiles à rattacher sans ambiguïté à la structure globale du Soleil. Sans doute y a-t-il une corrélation entre les variations du rayon, celles de la luminosité et les phénomènes du cycle solaire : il est encore prématuré d'interpréter cette problématique corrélation.

3. La partie la plus importante du cours a été consacrée à l'étude du *Soleil magnétique*.

Après un rappel nécessaire d'analyse vectorielle classique, on a procédé à l'établissement (issu des lois expérimentales de l'électromagnétisme) des équations de Maxwell, puis à leur systématisation et à la description des implications nouvelles de ces équations, notamment des courants de déplacement. L'importance de la loi d'Ohm et celle de l'équation d'induction ont été soulignées dans le cas des plasmas astrophysiques. Les milieux sont caractérisés par leur susceptibilité magnétique, par leur susceptibilité électrique et par la conductivité électrique. La connaissance des trois coefficients est nécessaire pour résoudre les équations.

Puis on a abordé les principes généraux de la MHD (ou magnétohydrodynamique). Il faut alors compléter les équations de Maxwell par les équations mécaniques usuelles : équation de continuité et équation du mouvement, complétées par l'équation d'état et l'équation de conservation de l'énergie.

Le couplage entre les champs et courants électromagnétiques et les phénomènes dynamiques est assuré principalement par la force de Lorentz, qui se décompose en un terme de tension (parallèle au champ magnétique) et une force de pression scalaire (qui s'exerce perpendiculairement au champ). Divers exemples classiques d'application sont discutés.

La discussion fait apparaître que, dans les circonstances astrophysiques, certains termes des équations peuvent être négligés au bénéfice d'autres, ou vice-versa, selon la valeur numérique de divers paramètres sans dimensions. L'importance astrophysique du nombre de Reynolds magnétique, celle du facteur *bêta* du plasma, sont particulièrement remarquables.

Dans le cas où le nombre de Reynolds magnétique est petit, on peut montrer que les lignes de force magnétiques sont en quelque sorte « gelées »

dans le plasma. C'est le théorème d'Alfvén, d'une grande utilité pratique. Les conséquences en sont analysées, afin de décrire les propriétés du magnétisme des astres en rotation.

La structure des champs magnétiques — des tubes de force, des feuilles de courant — joue un rôle important dans le déroulement des phénomènes, de par les aspects géométriques des instabilités : on étudie la physique de la magnétostatique (équilibre des structures) dans la géométrie des tubes de force. Les conditions de stabilité des tubes de force sont discutées ; dans le cadre d'une étude linéarisée des équations, on peut étudier les conditions d'instabilité.

4. Les mécanismes d'entretien et de génération du champ magnétique solaire sont l'objet de la dernière partie du cours. On sait que plusieurs types de théories sont possibles :

La théorie « fossile », qui relève de l'étude de l'évolution du champ magnétique préstellaire, gelé au cours de la condensation en étoile ; la théorie « dynamo », selon laquelle l'énergie cinétique macroscopique engendre une énergie magnétique ; et la théorie « de batterie », selon laquelle l'énergie thermique est à l'origine de la production d'énergie magnétique. La plus connue de ces théories, la plus discutée, la mieux étudiée, c'est la théorie dynamo. Le phénomène est défini par analogie avec la dynamo monopolaire du laboratoire. Mais cette dynamo simple ne permet pas d'expliquer le couplage et la permanence d'une oscillation magnétique à grande échelle. Deux dynamos couplées fournissent un meilleur modèle, que l'on étudie en détail et dont la description numérique fait appel à la théorie des attracteurs étranges. Le théorème de Cowling élimine le cas à symétrie axiale : le magnétisme ne peut alors être entretenu par la rotation. D'où des modèles plus complexes, faisant appel à une combinaison d'un champ bipolaire et d'un champ toroïdal, l'un se développant au détriment de l'autre pendant certaines phases du cycle solaire, la situation s'inversant aux autres phases.

La théorie détaillée est discutée. L'écart à la symétrie axiale s'introduit dans les équations par le terme *alpha*, défini essentiellement comme la différence de la valeur moyenne du produit vectoriel $\mathbf{V} \times \mathbf{B}$, où \mathbf{V} est la vitesse matérielle et \mathbf{B} , le champ magnétique, et du produit vectoriel des valeurs moyennes : $\alpha = (\langle \mathbf{V} \times \mathbf{B} \rangle - \langle \mathbf{V} \rangle \times \langle \mathbf{B} \rangle) / \langle \mathbf{B} \rangle$. On voit ainsi, en suivant les schémas de Babcock et les analyses de Parker, comment le champ bipolaire initial est affecté par la rotation différentielle, comment un champ toroïdal s'installe et comment la combinaison de la rotation et de la convection dans le cadre de la conservation du moment, a pour effet de créer des mouvements cycloniques locaux qui rétablissent à terme le champ bipolaire en amorçant un nouveau cycle.

Il va de soi que de nombreuses solutions peuvent être étudiées, selon que l'on impose tel ou tel type de mouvement au plasma solaire. Les méthodes analytiques et numériques de solution imposent d'autre part des techniques de linéarisation qui ne sont justifiées qu'à certaines conditions. Ces diverses solutions sont décrites et critiquées à la lumière des approximations introduites par les divers auteurs. La plupart de ces solutions ne fournissent pas un couplage mais permettent seulement d'étudier le comportement du champ magnétique stationnaire dans une masse de plasma dont le mouvement est imposé.

Les solutions dites « dynamos MHD » sont plus évidemment réalistes, bien que souvent l'on doive imposer au coefficient *alpha* un comportement a priori en fonction du champ magnétique. La paramétrisation du coefficient *alpha* et du moment angulaire de rotation, en vue de décrire les apparences du comportement solaire, est un palliatif médiocre de la physique complète du modèle ; mais la complexité numérique est si grande que les ordinateurs accessibles aux astronomes ne permettent pas de tenir compte d'une physique cohérente de ces paramètres.

La structure de la convection influence l'évolution des structures magnétiques ; on est donc amené à discuter divers modèles en cellules, en rouleaux,... de la zone convective.

Cependant, des arguments existent contre le traitement usuel des effets dynamos : tout d'abord, la structure du champ magnétique indique (Trellis) que le Soleil est sans doute un rotateur oblique. D'autre part, la théorie ne prend pas en compte le caractère localisé des structures magnétiques (mis en évidence par la morphologie des taches solaires, par exemple). Par ailleurs, les méthodes de calcul de paramètres comme le coefficient *alpha* sont, on l'a dit, très mauvaises... Les interprétations, dans le cadre des modèles dynamo, de la rotation différentielle et des « rouleaux » convectifs semblent contradictoires. La diffusion turbulente, mal connue, n'est pas prise en compte. La rotation « solide » des trous coronaux n'est pas comprise. Le flux d'énergie magnétique dans le vent solaire n'est pas pris en compte... Bref, il reste encore un gros travail à accomplir, aussi bien pour traiter correctement le problème physique de la dynamo non-linéaire, que pour le contraindre à représenter correctement les observations du Soleil.

Nous traiterons donc l'an prochain des théories du cycle solaire à travers l'analyse critique des travaux les plus récents.

Notre conclusion, provisoire, de cette étude de l'intérieur solaire, c'est que la machine solaire est *une*, tous les phénomènes étant couplés. Ceci se traduit par une énorme complexité des observations : l'astronome devra savoir choisir, dans la masse des données, les bons indicateurs de structure et de physique, et, s'il étudie des « épiphénomènes », il devra savoir les reconnaître

comme tels et les étudier pour eux-mêmes, jusqu'à ce qu'une contradiction apparaisse, qui prouve que le phénomène étudié joue un rôle dans le couplage d'ensemble, et qu'il influence, en retour, le reste de la machine solaire : alors, le statut du phénomène changera ; et la connaissance de la machine sera meilleure.

J.-C. P.

BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie du cours sera limitée aux ouvrages et principaux articles de synthèse étudiés à l'occasion de la préparation des parties 3 et 4 de ce cours. Elle est donnée ci-après dans l'ordre chronologique, puisque le résumé ne se réfère pas en détail aux références.

E. BULLARD, H. GELLMAN, *Homogeneous dynamos and terrestrial magnetism* (Phil. Trans. R. Soc. London A, **247**, 213-278, 1954).

L. MESTEL, *Problems of star formation* (Qu. J.R.A.S., **6**, 161-198, 1965).

L. MESTEL, *Stellar magnetism* (Proc. Intern. School Phys. Enrico Fermi, XXXIX, Varenna 1966, in Plasma Astrophysics, 1967, Ac. Press, 1966-1967).

L. MESTEL, N. WEISS, *M.H.D.*, Saas Fee Course n° 4, 1974.

M. STIX, *Differential Rotation and the Solar Dynamo* (Astron. Astrophys., **47**, 243-254, 1976).

P.H. ROBERTS, A.M. SOWARD, *Rotating fluids in Geophysics* (Ac. Press., 1978).

H.-K. MOFFAT, *Magnetic field Generation in electrically conducting fluids* (Cambridge Univ. Press, 1978).

E. PARKER, *Cosmical magnetic fields* (Clarendon, Oxford, 1979).

M. STIX, *Theory of the solar cycle* (Sol. Physics, **74**, 79-101, 1981).

E. PRIEST, *Solar magnetohydrodynamics* (Reidel, 1982).

A.M. SOWARD, *Stellar and planetary magnetism* (Gordon-Breach, 1983).

En ce qui concerne les neutrinos et les oscillations, la bibliographie est récente et déjà abondante. On citera seulement, pour les neutrinos :

Z. BARKAT, *Neutrino processes in stellar interiors* (Ann. Rev. Astrophys., **13**, 45-68, 1975).

J. WENESER, G. FRIEDLANDER, *Solar neutrinos : questions and hypotheses* (Science, **235**, 755-759, 13 feb., 1987).

G. FRIEDLANDER, J. WENESER, *Solar neutrinos : experimental approaches* (Science, **235**, 760-765, 13 feb., 1987)

et pour les oscillations :

J.P. COX, *Non radial oscillations of stars : theories and observations* (Ann. Rev. Astron. Astrophys., **14**, 247-273, 1976).

J.W. LEIBACHER, R.F. STEIN, *Oscillations and pulsations*, in : *The Sun as a Star* (ed. by S. Jordan, N.A.S.A. SP-450, Washington : N.A.S.A., Paris : C.N.R.S., pp. 263-287, 1981).

R.F. STEIN, J.W. LEIBACHER, *Wave generation*, in : *The Sun as a Star* (ed. by S. Jordan, N.A.S.A. SP-450, Washington : N.A.S.A., Paris : C.N.R.S., pp. 289-300, 1981).

Problems of solar and stellar oscillations : 66th I.A.U. colloquium, Crimean Astrophys. Obs., Septembre 1981 (ed. by D.-O. Gough, in : *Solar Physics*, **82**, 1/2, 1-495, 1983).

Oscillations as a probe of the sun's interior, E.P.S. study conference, Catania, 20-24 june 1983 (ed. by G. Belvedere and L. Paterno, in : *Mem. Soc. Astron. ital.*, **55**, 1-384, 1984).

F.L. DEUBNER, D.O. GOUGH, *Helioseismology : Oscillations as a diagnostic of the solar interior* (Ann. Rev. Astron. Astrophys., **22**, 593-619, 1984).

SÉMINAIRES

Phénomènes Solaires Actifs :

- 20 janvier 1987 : Sursauts éruptifs et structure coronale (M. PICK).
- 27 janvier 1987 : Eruptions homologues (M.J. MARTRES).
- 3 février 1987 : Courants électriques dans les régions éruptives (J.C. HÉNOUX).
- 10 février 1987 : Ejection de matière dans la couronne (G. SIMON).
- 3 mars 1987 : Structure et physique des facules solaires (S. DUMONT et Z. MOURADIAN).
- 10 mars 1987 : Dynamique et champ magnétique dans la chromosphère et la basse couronne (P. MEIN).
- 17 mars 1987 : Formation et équilibre des protubérances (J.-P. MALHERBE).
- 24 mars 1987 : Structures photosphériques autour des taches (Th. ROUDIER).
- 24 mars 1987 : La naissance des taches : vers la connaissance des mécanismes du cycle solaire (E. RIBES).

PROFESSEURS INVITÉS

Des personnalités étrangères, invitées par le Collège de France, ont donné, dans le cadre de la Chaire d'Astrophysique Théorique, des séries de conférences :

Le professeur G. TENORIO-TAGLE (Max Planck Institut für Astrophysik, München, R.F.A.), a donné huit leçons sur « Star formation in stellar systems » (en anglais) :

- 3 mars 1987 : Interstellar matter and star formation (a review).
- 10 mars 1987 : Star formation in proto-globular clusters.
- 17 mars 1987 : Star forming dwarf galaxies.
- 24 mars 1987 : Stellar winds and the formation of jets and HH objects.
- 31 mars 1987 : The evolution of supernova remnants.
- 7 avril 1987 : Giant scale features in galaxies.
- 28 avril 1987 : The formation of molecular clouds.
- 28 avril 1987 : Self regulated star formation.

Le professeur J. PERRY (Institute of Astronomy, Cambridge), a donné quatre leçons sur « The violent interstellar medium of active galaxies » (en anglais) :

- 2 juin 1987 : QSO's : young, disturbed galaxies ? What can we learn from their general spectral properties.
- 9 juin 1987 : The violent interstellar medium of such objects.
- 16 juin 1987 : Emission model and mechanisms.
- 23 juin 1987 : QSO evolution.

Le professeur J.-M. SOURIAU (Université de Provence), a donné deux conférences sur « Un pôle cosmique dans la constellation d'Orion ? » :

- 2 juin 1987 : Etude statistique des galaxies : répartition, cinématique, orientation spatiale.
- 9 juin 1987 : Peut-on mesurer l'Univers avec des quasars absents ?

ACTIVITÉS DU LABORATOIRE
COMPOSITION DU LABORATOIRE

Membres permanents : C. BERTOUT (C.R. C.N.R.S.), J. BRUNEL (Prép. Temp. Coll. de Fr.), S. DEPAQUIT (Ing. C.N.R.S.), S. DUMONT (Astr. Adj. Obs. de Paris), B. ETCHETTO (Techn. Coll. de Fr.), E. GIRAUD (Prof. Ac.

Paris), M. GROS (Asst. Obs. de Paris), H. KAROJI (M. Asst. Univ. Paris VI), R. KRİKORIAN (M. Asst. Coll. de Fr), S. LALOË (Ing. C.N.R.S.), L. LERICQUE (Techn. Coll. de Fr), Ch. MAGNAN (sous-directeur du L.A.T.), M. MARTIC (Prép. Temp. Coll. de Fr.), I. NADDEO-SOURIAU (Ing. Coll. de Fr.), P. MÉRAT (Ing. C.N.R.S.), J.-C. PECKER (Directeur du L.A.T.), E. SIMONNEAU (C.R. C.N.R.S.).

Membres à titre temporaire : K. SAHU, M. SRINIVASAN.

Chercheurs associés : R. BONNET (E.S.A.), J. BOUVIER (I.A.P.), S. CABRIT (I.A.P.), S. COLLIN (I.A.P.), Z. MOURADIAN (Obs. de Meudon), J. OXENIUS (Univ. Bruxelles), J.P. VIGIER (I.H.P.).

COLLOQUES ET SYMPOSIUMS

— *General relativity and gravitation*, 11th International conference, Folkets Hus, Stockholm, 6-12 juin 1986. P. MÉRAT, *Gauge treatment of a purely affine generalization of the gravitation theory*.

— *The FeII problem*, colloque U.A.I. n° 94, Capri, juillet 1986. M. GROS.

— The VIIth World Congress of Humanism, and 1986 Meeting of the International Academy of Humanism, Oslo, août 1986. J.-C. PECKER, *Is astrology a science ?*, and *The return of mystical dualism*.

— *Possible Worlds in arts and science*, Nobel symposium, Stockholm, août 1986. J.-C. PECKER, *How to describe physical reality*.

— *Observational Cosmology*, U.A.I. symposium n° 124, Beijing, 25-30 août 1986. E. GIRAUD, *Distance moduli from the Tully-Fisher relation* ; J.-C. PECKER et J.P. VIGIER, *A possible tired-light mechanism*.

— *Activity in Stars and Galaxies*, 9th European Regional Meeting in Astronomy, Leicester (U.K.), septembre 1986. E. SIMONNEAU, R. LOPEZ et J. ISERN, *Radiative transfer in extended low density media : implications on supernovae atmospheres*.

— 5th latin-american regional Astronomy Meeting, Merida (Yucatan), Mexico, octobre 1986. E. SIMONNEAU, J. ISERN et R. LOPEZ, *Radiative transfer in type I supernovae atmospheres*.

— *Les Galaxies*, Madrid, octobre 1986. E. SIMONNEAU, *Déprojection des profils de masse, de nombre et de brillance observés dans les amas de galaxies*, et avec J. ISERN et R. LOPEZ : *Les supernovae de type I considérées comme des indicateurs de distance*.

— Colloque National *François Arago*, Perpignan, 20-22 octobre 1986. S. DUMONT.

— *40e conférence internationale de l'éducation*, confédération mondiale des organisations de la profession enseignante (U.N.E.S.C.O.), Genève, 9 décembre 1986. J.-C. PECKER, *L'Enseignement des Sciences*.

— *Processes of radiative excitation and ionisation*, Zagreb, 10-12 février 1987. E. SIMONNEAU, O. ATANACKOVIC : *Kinetic effects of non-LTE line transfer in stellar atmospheric conditions*.

— Colloque *Frontières et conquête spatiale*, Paris, 13-16 janvier 1987. J.-C. PECKER, Président du colloque ; introduction : *Pourquoi ce colloque ?*.

— Meeting of the American Astronomical Society, Pasadena, janvier 1987. C. BERTOUT.

— *Solar and stellar physics*, 5th European Solar Meeting, Titisee, Germany, 27-30 April 1987. J.-C. PECKER. M. MARTIC.

— *New ideas in Astronomy* (symposium celebrating the 60th birthday of Halton C. Arp), Venise, 5-7 mai 1987. E. GIRAUD, *The price to keep the Hubble constant...constant*. J.-C. PECKER, *Difficulties of standard cosmologies*.

— *Cosmos : cosmology today between science and philosophy*, Venise, 8-9 mai 1987. E. GIRAUD. J.-C. PECKER, *The search for valid theories of the Universe*.

— *Evolution of large scale structures in the Universe*, U.A.I. Symposium n° 130, Balaton Lake, juin 1987. E. GIRAUD, *Dark matter around the local group*, et *Observed distortions (from linearity) of the Hubble flow and bias in the data*.

— *Mapping the sky : Past Heritage and Future Directions*, Symposium I.A.U. n° 133 : Paris, 1^{er}-5 juin 1987. S. DUMONT, à cette occasion, a organisé, avec Y. AVIGNON, deux journées consacrées à la visite des Observatoires de Meudon et de Nançay. M. GROS. J.-C. PECKER, ouverture du colloque.

— Colloque *La contribution des astronomes amateurs à l'astronomie*, Paris, 20-24 juin 1987. J.-C. PECKER, Président, ouverture du colloque. S. DUMONT et S. GRILLOT, *L'astronomie d'amateur en France de 1789 à 1830, deux exemples*.

SÉMINAIRES, CONFÉRENCES

C. BERTOUT, *Rotation of T Tauri Stars*, Univ. de Californie, Berkeley, octobre 1986.

C. BERTOUT, *Activity in T Tauri Stars*, N.A.S.A. Ames, octobre 1986.

C. BERTOUT, *CO Line formation in bipolar flows*, Univ. de Californie, Berkeley, octobre 1986.

C. BERTOUT, *Observational evidence for disks around young stars*, N.A.S.A. Ames, février 1987.

C. BERTOUT, *De la nature du phénomène T Tauri*, Institut d'Astrophysique de Paris, mars 1987.

C. BERTOUT, *Disks around T Tauri stars*, Univ. de Californie, Santa Cruz, mai 1987.

C. BERTOUT, *Line Formation in moving media*, Univ. de Californie, Berkeley, mai 1987.

J.-C. PECKER, *4 000 ans d'activité solaire, il y a un milliard d'années*. Acad. Sci. Paris, 6 octobre 1986.

J.-C. PECKER, *Publics, contenus et médias de l'enseignement à distance*. C.N.E.D., 6 novembre 1986.

J.-C. PECKER, *Sciences, mythes et responsabilité*, conférence du M.U.R.S. à la Sorbonne, 12 décembre 1986.

J.-C. PECKER, *Astrologie et culture scientifique*, Grand Orient de France, 6 janvier 1987.

J.-C. PECKER, *Astrologie et culture scientifique*, Monaco, 20 mars 1987.

J.-C. PECKER, *Aux confins de l'Univers*, Antibes, 21 mars 1987.

J.-C. PECKER, *La Supernova 1987 A*, Acad. Sci. Paris, 18 mai 1987.

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES

S. CABRIT, C. BERTOUT, *CO line formation in bipolar flows. I. Accelerated outflows*, (*Astrophys. J.*, **307**, pp. 313-323, 1986).

J. BOUVIER, C. BERTOUT, W. BENZ, M. MAYOR, *Rotation in T Tauri stars. I. Observations and immediate analysis*, (*Astron. Astrophys.*, **165**, n° 1/2, pp. 110-119, 1986).

C. BERTOUT, *Cool stars, stellar systems, and the Sun*, (in *Proceedings of the 4th Cambridge workshop. Lectures notes in Physics*, n° 254, Springer-Verlag, p. 135, 1986).

C. BERTOUT, *Accretion disks and outflows around young stellar objects*, (I.A.P. Pré-Publ., n° 136, 47 pp., 1986).

C. BERTOUT, *Circumstellar matter of young low-mass stars : observations versus theory*, (I.A.P., Pré-Publ. n° 170, 16 pp., 1986, in *Proceedings of the 122th I.A.U. Symposium*, Reidel, Dordrecht, 1986).

E. GIRAUD, *The orbits of H-I deficient spiral galaxies in the Virgo cluster*, (*Astron. Astrophys.*, **167**, pp. 25-33, 1987).

E. GIRAUD, *A Tully-Fisher relation for central magnitudes of galaxies in the B, V system*, (*Astron. Astrophys.*, ESO preprint 450, sous presse, 1987).

E. GIRAUD, *Note on comparative analysis of the HI content in galaxies*, (*Astron. Astrophys.*, **178**, 310-312, 1987).

E. GIRAUD, *Malmqvist bias, type effect and dispersion in the Tully-Fisher relation*, (*Astron. Astrophys.*, **174**, 23-27, 1987).

E. GIRAUD, *Malmqvist bias in the determination of the distance to the Hercules supercluster*, (*Astron. Astrophys.*, ESO preprint 496, sous presse, 1987).

M. GROS, *Structure of a stellar envelope. Computational aspects*, (en préparation, 1987).

M. DENNEFELD, H. KAROJI, P. BELFORT, in 1st I.A.P. workshop *Star forming dwarf galaxies*, (pp. 351-367, Frontières Publishing, 1987).

H. KAROJI, M. DENNEFELD, N. UKITA, *VLA observations of three high IR luminosity I.R.A.S. galaxies VLA*. (*Astron. Astrophys. Letters*, **155**, 3-5, 1987).

M.-N. PERRIN, H. KAROJI, *Stellar radius determination from IRAS 12 m fluxes*, (*Astron. Astrophys.*, **172**, 235-258, 1987).

M. DENNEFELD, H. KAROJI, P. BELFORT, L. BOTTINELLI, L. GOUGUENHEIM, *Ground based follow-up of I.R.A.S. galaxies ESO, Nançay*, I.R.A.S. meeting, (Pasadena, in press, 1986).

R. KRİKORIAN, *Diffuse reflection of radiation by a moving gas*, (en préparation).

C. BERTOUT, Ch. MAGNAN, *Line profiles from moving spherical shells*, (*Astron. Astrophys.*, sous presse).

L. BEN JAFFEL, Ch. MAGNAN, A. VIDAL-MADJAR, *The Lyman Alpha albedo of Jupiter and Saturn*, (*Astron. Astrophys.*, soumis).

L. DAMÉ, M. MARTIC, *Observation and oscillatory properties of Meso structure in the solar chromosphere*, (*Astrophys. J.*, **314**, L.15, 1987).

J.-C. PECKER, *Universalité des lois de la physique*, (*Pour la science*, avant-propos, 10 février, sous presse, 1987).

J.-C. PECKER, *L'Univers*, *Encyclopédie Philosophique*, (P.U.F., sous presse, 1987).

J.-C. PECKER, J.P. VIGIER, *A possible tired-light mechanism*, (in : *Observational Cosmology*, ed. A. Hewitt, G. Burbidge, L.Z. Fang, I.A.U. Symposium **124**, pp. 507-511, Reidel, 1987).

J.-C. PECKER, « Conclusions » aux journées d'études SOHO-THEMIS, pp. 83-88. 5-7 mars.

I.J. DANGIGER, R.A.E. FOSBURY, D. ALLOIN, S. CHRISTIANI, J. DACHS, C. GOUFFES, B. JAVIS, K.C. SAHU, *Optical spectroscopy on SN 1987 A*, (*Astron. Astrophys.*, **177**, L13, 1987).

K.C. SAHU, J.N. DESAI, *Kinematic structure of NGC 3132 : the planetary*

nebula with a binary nucleus », (*Astron. Astrophys.*, **161**, p. 357, I.A.P. preprint n° 130, 1986).

K.C. SAHU, J.N. DESAI, B.G. ANANDARAO, S.R. POTTASCH, *Towards understanding multiple shell formation in planetary nebulae : kinematics of NGC 3132* (*Nature*, soumis, 1987).

E. SIMONNEAU, *La emission de luz por las supernovas* (in *Mundo Cientifico*, traduction espagnole de *La Recherche* (avec quelques articles en espagnol).

J. BORSENBERGER, J. OXENIUS, E. SIMONNEAU, *Resonance line transfer and transport of excited atoms. II. Self consistent solutions (1)*. (*J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **37**, 331, 1987).

O. ATANACKOVIC, J. BORSENBERGER, J. OXENIUS, E. SIMONNEAU, *Resonance line transfer and transport of excited atoms. III. Self consistent solutions (2)*. (*J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, soumis, 1987).

R. LOPEZ, E. SIMONNEAU, J. ISERN, *Model atmospheres for type I supernovae : curvature effects*. (*Astron. Astrophys.*, sous presse, 1987).

O. ATANACKOVIC, E. SIMONNEAU, *Analysis of the kinetic effects in non-LTE line transfer in atmospheric conditions*. (*Bull. Obs. Astron. de Belgrade*, sous presse, 1987).

M. SRINIVASAN, S.R. POTTASCH, K.C. SAHU, P.R. WESSELIUS, J.N. DESAI, *Cometary globules in Gum nebula : infrared and optical properties of CG 22*, (*Astron. Astrophys.*, soumis, 1987).

POPULARISATIONS ET PUBLICATIONS DIVERSES

S. DUMONT, *Spacelab : Research in earth orbit*, (analyse d'ouvrage, *L'Astronomie*, p. 373, juillet-août, 1986).

S. DUMONT, *Astrophysics and Space Science Reviews*, (analyse d'ouvrage, *L'Astronomie*, vol. 3 et vol. 4, p. 430, septembre, 1986).

S. DUMONT, *Conversations dans l'Univers*, (analyse d'ouvrage, *L'Astronomie*, p. 592, décembre, 1986).

S. DUMONT, *De l'autre côté du Soleil*, (analyse d'ouvrage, *L'Astronomie*, pp. 214-215, avril 1987).

S. DUMONT, *Un planétarium d'un type nouveau*, (compte-rendu de l'inauguration du Planétarium de la Cité des Sciences et de l'Industrie de la Villette, *L'Astronomie*, p. 105, février, 1987).

S. DUMONT, *A propos de François Arago, 1786-1853*, (compte rendu de la célébration du bicentenaire de sa naissance avec, entre autres, celui du colloque de Perpignan, *L'Astronomie*, p. 216, avril, 1987).

S. DUMONT, introduction au numéro spécial : *L'Astronomie d'amateur à la*

Société Astronomique de France, dont elle a été l'instigatrice, (*L'Astronomie*, p. 224, mai, 1987).

Ch. MAGNAN, *La nature sans foi ni loi. Les grands thèmes scientifiques du vingtième siècle*, 256 pages, collection Belfond-Sciences, à paraître, 1987.

J.-C. PECKER, *Réflexions d'un astronome sur la création (Cahiers Cercle Ernest Renan, 146*, pp. 21-33, septembre 1987).

J.-C. PECKER, *Construction de l'abstraction* (in : *La création vagabonde*, J.L. Binet, J. Bernard, M. Bessis, Coll. Savoir, Hermann, 1986).

J.-C. PECKER, *Livsfarlege politikarar* (Dog ag Tig, 14 septembre 1986).

J.-C. PECKER, *Paraquoi ? parano ? parapsy ? (L'Événement du Jeudi*, pp. 34-45, 21-27 août 1986).

J.-C. PECKER, S. BERTHELOT, A. LANCELOT, A. LEVALLOIS, [*L'Université à l'usine (1956-1984) et son fondateur Louis Chantal (1885-1975)*, 1986].

J.-C. PECKER, critique de *Polarized light in nature* (de G.P. Können, Cambridge University Press, 1985, *L'Astronomie*, p. 486, octobre, 1986).

J.-C. PECKER, *Le Soleil brillera-t-il toujours ? (Okapi, n° 36, 1^{er} décembre, 1986)*.

J.-C. PECKER, *Henri Belliot (1897-1986)*, nécrologie, (*Cahiers Rationnalistes*, Supp. n° 4, janvier, 1987).

J.-C. PECKER, *Impact of Astronomy on the development of western society (Cosmic perspectives*, ed. D.C.V. Mallik, Bangalore, 1987).

J.-C. PECKER, *La cosmologie de la grande explosion est-elle contournable ? (Cosmologie*, ed. J. Schneider, *La nouvelle Encyclopédie*, Fayard, 1987).

J.-C. PECKER, *Rencontre avec un parapsychologue : Yves Lignon*, (*Nouvelles brèves*, Comité belge pour l'Investigation scientifique des phénomènes réputés paranormaux, 50, février, 1987).

J.-C. PECKER, *Le plus grand risque, c'est l'homme*, (*Figaro littéraire*, p. 3, 2 mars 1987).

J.-C. PECKER, *An essay on painting as a necessary abstraction*, (*Leonardo*, sous presse, 1987).

J.-C. PECKER, Letter in response to P. Comte's paper : *Comments on Leonardo in orbits : satellite art*, (*Leonardo*, sous presse, 1987).

J.-C. PECKER, préface à l'ouvrage de Robert Martin, *La Vie dans l'Univers, Réflexions d'un amateur d'astronomie — Hommage à Camille Flammarion*, sous presse, 1987.

J.-C. PECKER, *Culture scientifique et lucidité (Le Monde diplomatique*, 18 mai 1987).

J.-C. PECKER, préface à l'ouvrage de P. Martinez, *Astronomie, le guide l'observateur*, (S.A.P., 2 tomes, 1987).

J.-C. PECKER, présentation d'ouvrage *Astrophysique : le système solaire* (T. Encrenaz, J.P. Bibring, *Editions du C.N.R.S.*, Acad. Sci. Paris, 6 avril 1987).

MISSIONS

C. BERTOUT, séjour (depuis octobre 1986) à l'Université de Californie, Berkeley.

E. GIRAUD, séjour (depuis février 1986) à l'European Southern Observatory, R.F.A.

M. MARTIC, observations au Pic du Midi, 4 au 10 février 1987.

K.C. SAHU, observations à Grenade, septembre 1986.

K.C. SAHU, séjour (depuis avril 1987) à Groningen.

E. SIMONNEAU, Belgrade : séjour du 20 novembre au 20 décembre 1986 dans le cadre des Conventions d'échanges et accords de coopération scientifique du C.N.R.S. et suite au séjour de O. Atanackovic à Paris. Ce séjour s'est effectué à l'Observatoire de Belgrade. En collaboration avec O. Atanackovic et M. Dimitrijevic : Mise au point des technologies pour la résolution de l'équation du transfert de rayonnement, particulièrement pour le cas d'un atome à deux niveaux d'énergie ; simplifications par rapport aux techniques actuellement en usage ; rapport entre le transfert et la physique atomique ; formation des raies spectrales ; influence du transfert sur la forme (« profil ») de ces raies ; diagnostic de l'état d'un plasma.

E. SIMONNEAU, Barcelone : trois séjours à l'Université de Barcelone, du 15 mai au 15 juin 1986, du 23 au 28 février 1987 et du 4 au 9 mai 1987. En collaboration avec R. Lopez, J. Isern et R. Canal : « Recherches sur la structure des couches extérieures des supernovae ; modélisation et détermination de leurs atmosphères ; détermination de leur rayon photosphérique ; transfert de rayonnement et sphéricité ».

E. SIMONNEAU, Trieste : séjour du 6 au 24 avril 1987 dans le cadre du projet bilatéral franco-italien : « Structures des couches extérieures des étoiles de type spectral A et plus tardives ». En collaboration avec L. Crivellari : « Dans le cadre d'une étude plus générale sur le bilan énergétique et sur la distribution de la température dans les couches extérieures des étoiles, développement d'une nouvelle méthode itérative de correction des températures et donc de construction de modèles pour les atmosphères stellaires ».

M. SRINIVASAN, Groningen, 7 avril au 23 avril 1987.

M. SRINIVASAN, observations à l'European Southern Observatory, Chili, 2 mai au 26 mai 1987.

ACTIVITÉS DIVERSES

Tâches d'enseignement et de popularisation (hors Collège de France) :

M. GROS, Ecole d'Été d'Astronomie, Formiguères (P.O.), juillet 1986.

M. GROS, Participation à l'activité du C.L.E.A., Comité de Liaisons Enseignants Astronomes.

En collaboration avec S. DUMONT, M. GROS continue à participer activement à la série d'articles à paraître dans *L'Astronomie*, dans la série « La lumière raconte ».

J.-C. PECKER, II^e festival du film scientifique, comité de parrainage, Palaiseau, 3-10 décembre 1986.

DISTINCTIONS, RESPONSABILITÉS

J.-C. PECKER, a reçu la Médaille Janssen de la Société Française de Photographie le 15 janvier 1987.

J.-C. PECKER a été élu membre du Conseil d'Administration du Centre de Recherche et d'Information sur la Littérature pour la Jeunesse en avril 1987.

Ch. MAGNAN a été promu au grade de Chevalier dans l'Ordre National du Mérite.