

Astrophysique théorique

M. Jean-Claude PECKER, professeur

PHYSIQUE DES REGIONS H II

L'étude de l'environnement stellaire est un prolongement naturel de l'étude des atmosphères stellaires. Les cours des années précédentes avaient porté sur les composantes poussiéreuses observées dans les régions circumstellaires des objets jeunes. Parmi les objets jeunes les plus intéressants figurent les étoiles O, qui viennent d'arriver sur la séquence principale et qui la quitteront vite. Les étoiles O sont entourées, cela est bien connu, d'une région d'hydrogène ionisé ; nous nous proposons de faire l'étude physique de ces régions complexes, constituées d'une étoile O, de l'hydrogène ionisé qui l'entoure, des composantes poussiéreuses qui y restent associées : cette étude débouche évidemment sur une meilleure compréhension de l'évolution stellaire. Nous envisageons de faire porter ce cours sur au moins deux années.

Introduction

Depuis 1935 à 1938 (voir H. MENZEL, et coll., *Physical process in gaseous nebulae*, Dover, 1962 — réimpression d'articles publiés dans *Astrophys. J.*, de 1937 à 1945 — ; et B. STROMGREN, *Astrophys. J.*, 1939, 89, 526), on sait qu'autour de certaines étoiles chaudes l'émission observée de la raie H Alpha prouve l'existence d'atomes d'hydrogène dans l'état 2, ce qui implique l'existence de recombinaisons radiatives par cascades et donc, par là même, celle d'une région étendue où l'hydrogène est très fortement ionisé. Ces régions (régions H II) sont souvent distinguées des « nébuleuses gazeuses » ; mais, en fait, ces différences, que suggèrent les différences de diagnostic, correspondent sans doute à des évolutions différentes ; la physique des deux types d'objets est essentiellement la même.

Le premier problème qui se pose est donc d'expliquer l'ionisation de l'hydrogène par le rayonnement UV (continu de Lyman), comme l'a suggéré STROMGREN, et, par suite, de savoir définir ce rayonnement et le calculer en chaque point de la région H II, ou de la nébuleuse gazeuse considérée.

I. - *Les étoiles O - B*

(a) Notre analyse doit reposer sur des concepts nouveaux concernant les modèles d'atmosphère : en effet, nous ne pouvons oublier, comme cela est fait traditionnellement, les couplages étroits entre l'atmosphère stellaire et la région H II qui l'entoure. La région H II constitue une « extension » de l'« atmosphère classique » ; on doit traiter l'équilibre de l'ensemble d'une façon cohérente et complète. Une « nouvelle » théorie des atmosphères peut en fait se fixer les objectifs suivants : (a) Concerner l'atmosphère au sens le plus large possible, de façon à interpréter le spectre entier ; plus l'extension (spectrale, ou spatiale) des observations progresse, plus étendue est la région atmosphérique qui les affecte. En ce sens, l'atmosphère est l'ensemble de la région qui va des zones les plus profondes d'où peuvent provenir des photons, jusqu'au sein du milieu interstellaire, là où un atome ne « sait » plus à quelle étoile il appartient. (b) Décrire de façon complète l'évolution des fonctions-sources, en tenant compte correctement des collisions, des effets radiatifs, etc. (c) En déduire les relations entre la température électronique locale et le champ de rayonnement. (d) Enfin, décrire la façon dont les dégénérescences successives apparaissent dans l'atmosphère, et dont les transferts d'énergie, rayonnante ou mécanique, de masse, de moment... affectent différemment les différentes régions de l'atmosphère. Cette nouvelle conception fait l'objet d'une série d'articles, en préparation, en collaboration, notamment, avec R. N. THOMAS (notons que celui-ci a assisté à une partie importante de mon cours, qu'il a bien voulu compléter par l'expression de ses points de vue personnels sur les questions traitées).

(b) Il faut évidemment, avant d'envisager une telle révision des concepts, réexaminer les méthodes classiques. Un certain nombre de leçons ont été consacrées aux atmosphères classiques, en équilibre radiatif, en équilibre hydrostatique, en équilibre thermodynamique local, et dans une géométrie « plan-parallèle ». Les écarts à l'E.T.L. sont devenus classiques et ont été aussi décrits dans cette partie du cours, dans la mesure où ils affectent les modèles. Le caractère « non-gris » de l'absorption est particulièrement important dans le cas des étoiles O - B, et l'on a insisté sur cet aspect de la question en présentant les données et les méthodes avec un point de vue modernisé. Le caractère heuristique de certaines méthodes (celle de RUDKJOBING, notamment) a été souligné : malgré leur caractère très primitif (elles sont antérieures au développement des méthodes de calcul exact par ordinateur), elles doivent rendre encore d'incalculables services et conduire à une élaboration plus physique de méthodes nouvelles et précises.

(c) Une partie importante du cours a été consacrée aux effets de la courbure et de l'extension des atmosphères. Les travaux récents de HUMMER, RYBICKI, CASSINELLI, LUCY... ont été analysés et critiqués. Dans le plan T_{eff} , $\log g$,

on peut distinguer en fait quatre zones : au delà d'une certaine température, l'équilibre hydrostatique est impossible, car la région où la profondeur optique dans le continu de Lyman est voisine de l'unité, pénètre très vite, et très loin, dans la région H II. De même, pour des valeurs de g assez faibles, la courbure intervient très fortement. Les valeurs critiques sont de l'ordre de $T_{\text{eff}} = 10\,000^\circ \text{K}$ et $\log g = 3$.

Une discussion de la généralisation des approximations d'Eddington aux cas où la courbure intervient a été faite par les auteurs cités : il est montré que des approximations simples, mais très bonnes, peuvent se substituer avantageusement à ces généralisations exactes, mais sont difficiles à manipuler. Une solution des problèmes de transfert en atmosphère courbe se déduit de cette étude. Nous n'entrerons pas ici dans le détail compliqué des algorithmes. Parmi les applications, le calcul de la polarisation au bord du disque des étoiles à atmosphère étendue est possible et donne des résultats fondamentalement différents de ceux obtenus antérieurement dans l'hypothèse plan-parallèle.

(d) Comme conséquence des calculs améliorés de modèles, on peut connaître le flux UV des étoiles chaudes O - B. Les valeurs en sont données ; mais il faut garder présent à l'esprit le fait que dans cette analyse il n'a pas encore été tenu compte de l'influence, sur la structure atmosphérique, du rayonnement en provenance de la région H II.

II. - *Théorie classique de la sphère de Strömgen*

Un exposé critique des méthodes utilisées jadis par STROMGREN commence cette partie du cours. On décrit d'abord l'équation de Saha généralisée qui sert de base à ces méthodes ; puis, on expose l'un des résultats essentiels de STROMGREN, à savoir le caractère abrupt de la transition entre la région H II et la région H I qui l'entoure.

De fait, aussi bien le rayon de la sphère que le caractère abrupt de la transition doivent être remis en question.

L'existence de rayonnement diffus (et non plus seulement de rayonnement stellaire direct atténué) a pour effet (JEFFERIES et POTTASCH, HUMMER et SEATON) d'augmenter notablement (un ordre de grandeur) le rayon de la sphère de Strömgen. D'autre part, la persistance des photons directs de haute énergie, les processus à deux photons, l'existence probable de poussières, ont pour effet l'atténuation du caractère abrupt de la transition. Il est nécessaire (mais ceci est encore à l'état embryonnaire) de se livrer à une véritable solution du problème de transfert dans une région H II, comme indiqué ci-dessus, au début du paragraphe I. Aux difficultés du problème théorique, nous devons ajouter celles du test par l'observation : celui-ci est affecté par la mauvaise connaissance du rayonnement dans l'UV ou l'IR ; les corrections bolométriques

en sont affectées, si bien que la relation entre les températures effectives et le type spectral, qui dépend des corrections bolométriques, est extrêmement sujette à caution.

Les inhomogénéités évidentes des régions H II, la complexité de la plupart d'entre elles, rendent encore plus difficile la confrontation entre une théorie cohérente, nécessairement « sphérique » (une seule étoile centrale) pour l'instant, et des observations souvent excellentes, mais incomplètes, et qui, en tout état de cause, se révèlent des structures qui échappent provisoirement à la théorie.

III. - *Théorie de l'équilibre radiatif d'une région H II*

(a) Le premier problème est d'établir une liste correcte, et d'en faire une description quantitative, des processus affectant le chauffage ou le refroidissement des régions H II.

L'étude de la photoionisation est évidemment essentielle. On voit que, si les collisions dominent dans l'atmosphère de l'étoile, la photoionisation l'emporte ensuite ; ce n'est que beaucoup plus loin (dans un état de dilution non réaliste au sein d'une région H II, ou même d'une nébuleuse planétaire) que les collisions pourraient l'emporter à nouveau.

Un examen détaillé des pertes radiatives (rayonnement dans les raies et les continus de H, rôle des impuretés — qui servent aussi au diagnostic) est le complément de l'étude des photoionisations.

Une formulation de l'équilibre radiatif des régions H II, qui s'inspire de la formulation classique dans les atmosphères stellaires et préfigure donc une théorie unitaire des enveloppes, est présentée. Elle est comparée à la formulation, par GEBBIE et THOMAS, des méthodes utilisant le « temperature controlled bracket ».

(b) Tout ce qui précède néglige l'énergie mécanique liée aux phénomènes de contraction protostellaire et à l'expansion de la région H II. Ces phénomènes feront l'objet du cours de l'année 1972-1973.

SÉMINAIRES ET CONFÉRENCES

Les cours ont été complétés par des exposés portant sur divers travaux concernant les régions circumstellaires entourant les étoiles chaudes. Ces exposés ont été les suivants :

M. P. ENCRENAZ, *Les pulsars, utilisés comme source de sondage du milieu interstellaire, de détection et d'étude des régions H II ;*

- M. J. LEQUEUX, *Emissions infrarouges continues des régions H II* ;
M. G. MONNET, *Nouvelles observations des régions H II galactiques et extra-galactiques* ;
M. J. GAY, *Rayonnement submillimétrique des enveloppes de poussières* ;
M^{me} M.-C. LORTET, *Le rapport poussières/gaz dans les régions H II* ;
M^{me} L. BAUDEL-DEHARVEING, *Condensations optiques possédant une étoile centrale à l'intérieur des régions H II* ;
M^{lle} G. STASINSKA, *Les globules neutres dans les régions H II* ;
M. D. FLOWER, *Le champ de rayonnement dans une région H II* ;
M^{me} S. SOUFFRIN, *Sphères de Strömgen fossiles* (avec la collaboration de M. H. NUSSBAUMER).

De plus, le professeur John DYSON, de l'Université de Manchester, a donné le 6 janvier 1972 deux conférences sur le sujet suivant : *Evolution physique et dynamique des régions H II*.

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE DU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE

Le laboratoire d'Astrophysique théorique, depuis octobre 1971 et dans le cadre d'une convention entre le C.N.R.S. et le Collège de France, est désormais installé à l'Institut d'Astrophysique de Paris, dont le Professeur a été nommé Directeur, à la date du 1^{er} octobre 1971.

Les travaux d'installation des locaux et le déménagement effectif des chercheurs (de Meudon à l'Institut d'Astrophysique) n'ont pu être terminés, pour des raisons budgétaires, qu'au printemps 1972. Mais dès octobre 1971 les chercheurs du laboratoire, enfin regroupés, ont participé à toutes les activités normales de l'Institut d'Astrophysique.

La composition du laboratoire, en 1971-72, est donc la suivante (ordre alphabétique) :

M. Ernest BENDER, vacataire, Collège de France (à temps partiel), M. Roger BONNET, maître de recherche, Directeur du L.P.S.P. (à temps partiel), M^{me} Eva DÉCHARD, aide de laboratoire, Collège de France, M^{lle} Geneviève DROUIN, documentaliste 3A, C.N.R.S., M^{lle} Simone DUMONT, astronome-adjoint, Observatoire de Paris, M^{me} Monique GROS, assistant, Observatoire de Paris, M. Avram HAYLI, maître-assistant, Collège de France, M^{me} Nicole HEIDMANN, aide-astronome, Observatoire de Paris, M. Ralph KRİKORIAN assistant, Faculté de Médecine, M. Christian MAGNAN, maître-assistant, Collège de France, Chair des Méthodes physiques de l'astronomie, M. Alain OMONT, professeur, Paris-VII (à temps partiel), M. Joachim OXENIUS, cher-

cheur à l'Euratom (à temps partiel), *M. Jean-Claude PECKER*, professeur au Collège de France, *M^{lle} Sylviane PERRET*, secrétaire 2B, Collège de France (affectation I.A.P.), *M^{me} Françoise PRADERIE*, astronome-adjoint, Observatoire de Paris, *M. Eduardo SIMONNEAU*, chercheur espagnol.

De plus, le laboratoire a eu la visite, pendant deux périodes de quatre à six semaines, du Dr R. N. THOMAS, de l'Université du Colorado, qui a participé à toutes ses activités.

Le rapport suivant ne concerne que les activités des chercheurs à temps complet, dont le nom est en italique dans la liste ci-dessus. Il figure sous une forme différente (intégrée aux recherches des autres chercheurs de l'Institut d'Astrophysique) dans le rapport d'activité de cet institut : essentiellement, les chercheurs du laboratoire ont dans le domaine théorique une activité complémentaire de celle des autres chercheurs de l'Institut d'Astrophysique, plutôt tournée dans l'ensemble vers l'observation.

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE

Nous classerons les recherches effectuées en fonction des objets astronomiques étudiés.

Physique solaire

S. DUMONT, A. OMONT et J.-C. PECKER ont continué les travaux entrepris au cours des années précédentes sur la polarisation au bord du disque solaire. Les mesures à large bande (A. DOLLFUS, J.-L. LEROY), celles en préparation dans l'ultraviolet (F. de SAINTE-LORETTE) appelaient une théorie de la polarisation dans les raies. Nos précédentes publications (voir *Annuaire du Collège de France*, 71^e année, 1971, pp. 71 et sq.) concernaient le spectre continu. Les divergences avec les observations étaient interprétées de trois façons, qui toutes jouaient un rôle : erreurs instrumentales (confirmées, et corrigées, depuis lors, par J.-L. LEROY), abondance des métaux supérieure à l'abondance classique dite G.M.A. ; enfin, influence des raies de Fraunhofer (difficiles à évaluer).

Cette année, notre effort a donc porté sur la physique de la polarisation dans les raies, et particulièrement dans les ailes de la raie 4227 du Ca I. La dépolarisation par les collisions joue un rôle essentiel et a été traitée avec soin, dans le détail. La comparaison avec les mesures (il s'agit de la seule raie du spectre solaire dont la polarisation ait en fait été mesurée avec une résolution spectrale suffisante) donne des résultats extrêmement encourageants. Une note est en préparation pour *Solar Physics*. Les travaux se poursuivront

par une analyse faisant intervenir l'effet Hanlé du champ magnétique, des phénomènes affectant non plus les ailes, mais le noyau Doppler de la raie 4227.

N. HEIDMANN et J.-C. PECKER, en collaboration avec J.T. JEFFERIES, professeur à l'Université d'Honolulu, ont repris les travaux antérieurs de J.-C. PECKER et R. KANDEL sur les écarts à l'E.T.L. dans le spectre du titane, et les incidences de ces écarts sur la détermination de l'abondance de cet élément dans l'atmosphère solaire. Plusieurs résultats nouveaux ont été obtenus, notamment sur les écarts qui affectent les niveaux les plus élevés, inaccessibles à nos recherches antérieures. La mise sur ordinateur des programmes, l'utilisation de mesures excellentes et très complètes provenant des Observatoires de Sacramento Peak (Nouveau Mexique), Kitt Peak (Arizona) et du Jungfraujoch (Suisse) (Atlas de L. DELBOUILLE et G. ROLAND) doivent permettre d'obtenir des résultats sûrs. Mais la difficulté de l'analyse numérique a mis en évidence des défauts de convergence des méthodes utilisées. Le travail est poursuivi.

S. DUMONT a développé son programme de calcul des raies du magnésium ionisé (voir ci-après), dont les applications par P. LEMAIRE (L.P.S.P.) à ses observations en ballon ont donné déjà d'excellents résultats.

S. DUMONT, Z. MOURADIAN (Observatoire de Meudon) et J.-C. PECKER ont proposé, pour insertion dans les programmes des deux instruments (celui du L.P.S.P., Verrières-le-Buisson, et du L.A.S.P., Boulder, Colorado) embarqués sur le satellite OSO-I, une étude détaillée des facules solaires, dans différentes raies ou portions du spectre continu, de façon à établir un diagnostic des propriétés physiques de ces régions, en différentes couches, allant des couches photosphériques à la basse couronne. Ce programme a été accepté et les calculs préliminaires sont en cours.

Physique stellaire et étoiles particulières

La physique des atmosphères stellaires, comprises dans le sens le plus large, reste le centre de gravité de l'activité du laboratoire.

J.-C. PECKER et F. PRADERIE préparent la rédaction, pour la collection de Philosophie scientifique Flammarion, dirigée par Fernand BRAUDEL, un ouvrage sur la composition chimique de l'univers. La moitié de l'ouvrage environ est actuellement rédigée.

F. PRADERIE, en collaboration avec K. GEBBIE, J.-C. PECKER et R.N. THOMAS, a entrepris une étude systématique des atmosphères stellaires, fondée sur l'exploitation détaillée des concepts mis au point par K. GEBBIE et R.N. THOMAS, relatifs au rôle du « temperature controlled bracket » et à l'évolution des processus physiques de l'intérieur à l'extérieur d'une étoile. Ces travaux feront l'objet de publications spécifiques. F. PRADERIE et R.N. THOMAS préparent

un travail sur l'influence des divers absorbants continus, notamment l'ion H^- , sur le bilan d'énergie radiative. L'extension de la méthode à l'influence des raies (problème dit du « blanketing ») est en cours. J.-C. PECKER et R.N. THOMAS étudient (avec, sur certains points, la collaboration de D. MIHALAS, High Altitude Observatory, Boulder, Colorado) le problème de l'équilibre radiatif de l'ensemble constitué par une étoile O et la région H II qui l'entoure : le rayonnement UV est en partie capturé dans la région H II, qui joue un rôle de cavité, limitée par le mur semi-transparent que constitue la région de transition H II - H I.

Des questions importantes de méthodologie des atmosphères ont été abordées, avec des techniques totalement différentes, par C. MAGNAN et E. SIMONNEAU. En utilisant la technique très physique dite de Monte-Carlo, c'est-à-dire en suivant les photons dans leur marche et en introduisant successivement la probabilité des phénomènes affectant cette marche, C. MAGNAN a traité le problème du transfert de rayonnement dans des disques en rotation différentielle, l'atmosphère étant constituée d'atomes d'une seule espèce, à deux niveaux discrets et un continu. Un article est en préparation et sera le noyau principal de la thèse de Doctorat de C. MAGNAN. En évitant au contraire au maximum le recours à l'analyse microscopique numérique, E. SIMONNEAU a mis au point une méthode de traitement de l'équation de transfert du rayonnement, dans le cas où l'on se propose d'étudier la formation des raies spectrales dans une atmosphère affectée de champs de vitesse macroscopiques, est en cours. Deux notes aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* résument l'essentiel de la méthode. E. SIMONNEAU a également étudié le problème du diagnostic des observations, en vue de la détermination empirique des fonctions-sources et des champs de vitesse. Sa thèse, préparée sous la direction de F. PRADERIE, sera soutenue à Madrid en octobre 1972.

Différentes recherches concernant l'ensemble du diagramme HR et le calcul des modèles d'atmosphères ont été entrepris : c'est ainsi que F. PRADERIE (en collaboration avec T. STECHER, J.I.L.A., Boulder, Colorado) a étudié l'absorption continue des ailes de Lyman Alpha et son influence dans différentes régions du diagramme HR, cependant que S. DUMONT et N. HEIDMANN ont travaillé à l'insertion dans le programme de calcul des modèles par la méthode Feautrier, d'absorbants tels que Al, C, Mg, Si... F. PRADERIE et N. HEIDMANN ont entrepris non seulement l'application numérique de la méthode T.C.B., mais la généralisation de la méthode Mihalas.

Un programme combiné d'observations et d'analyse théorique des caractéristiques chromosphériques (raies H et K du Ca II) dans différentes classes d'étoiles est entrepris par S. DUMONT, R. KRIKORIAN et J.-C. PECKER, en collaboration avec M. DUCHESNE (Observatoire de Paris). Une note est en préparation sur les premiers spectres obtenus à la caméra électronique, et qui concernent Arcturus et quelques autres étoiles froides. Outre un diagnos-

tic des chromosphères stellaires, il est prévu de faire une étude approfondie du phénomène de Wilson-Bappu.

Ces recherches méthodologiques sont complétées par l'étude d'objets particuliers, qui en est une application directe. Dans certains cas, des programmes très détaillés, impliquant des observations au sol ou en satellite, ont été mis au point.

Etoiles A

Ces étoiles, qu'elles soient normales, à raies métalliques ou particulières (étoiles A, Am et Ap), posent des problèmes nombreux. F. PRADERIE, avec G. JOUBERT, ont construit des spectres synthétiques (1 000 à 2 000 Å) de façon à étudier les spectres obtenus en satellite O.A.O. et mis à la disposition de F. PRADERIE par A. CODE. Sous la direction de F. PRADERIE, M. GROS a préparé une thèse de troisième cycle (soutenance en juin 1972) sur le cas de Sirius, pour lequel elle a utilisé les données obtenues hors de l'atmosphère par divers auteurs ; l'analyse théorique met en évidence des propriétés intéressantes de la région photosphère-chromosphère de cette étoile : une remontée de température est clairement présente. F. PRADERIE a étudié la discontinuité du Si I (1520 Å) qui n'est pas observée dans les étoiles A, contrairement aux prévisions des modèles classiques. Ce fait d'observation s'explique bien par l'intervention de l'absorption de fortes raies de Si II, et celle de l'opacité continue des molécules H₂. Un travail sur les anomalies d'abondances des terres rares dans les étoiles A est entrepris, impliquant un programme d'observations dans l'IR (avec SPECTOR et R. STEINITZ, J.I.L.A., Boulder, Colorado). L'exploitation systématique des résultats obtenus par le satellite O.A.O. (avec les chercheurs du L.P.S.P., R. BONNET et D. SACOTTE, et avec R. CAYREL, Observatoire de Meudon, M. GROS, N. HEIDMANN, A.M. COLLE, Observatoire de Meudon, et G. JOUBERT, I.A.P.) est donc poursuivie de façon très complète par F. PRADERIE.

Etoiles O - B

Nous avons mentionné ci-dessus les recherches théoriques de J.-C. PECKER et R.N. THOMAS sur les étoiles O et leurs régions circumstellaires. En liaison avec ces recherches, nous devons noter l'importance de la thèse de troisième cycle de R. KRİKORIAN, soutenue en décembre 1971. R. KRİKORIAN a mis en évidence, d'une part la nécessité d'un absorbant supplémentaire pour rendre compte à la fois de la discontinuité observée à 4800 Å par D. CHALONGE, L. DIVAN et leurs collaborateurs, et de ce que la discontinuité de Balmer observée n'est pas décrite par les modèles d'atmosphère usuels. De plus, comme M.L. BURNICHON, R. KRİKORIAN met en évidence des arguments en faveur d'un rougissement anormal des étoiles O. Ce phénomène, dû à des enveloppes circumstellaires de pou-

sières, a été analysé par J.-C. PECKER dans l'exposé introductif au Colloque de Liège 1971. L'une des conséquences évidentes est l'existence d'une correction bolométrique très différente de la CB classique (J.-C. PECKER et R.N. THOMAS, article en préparation). Malheureusement, la physique des poussières circumstellaires est dans l'enfance. J.-C. PECKER a montré qu'au sein des régions H II les poussières sont chargées positivement et que cette charge protège efficacement les poussières contre les effets des impacts protoniques ; les données physiques manquent, et J.-C. PECKER a rappelé les besoins de l'astrophysique en ce domaine, notamment dans un article publié dans *Sciences*.

L'existence d'enveloppes circumstellaires assez opaques et riches en poussières autour des étoiles jeunes pose tout naturellement le problème de l'évolution protostellaire de ces objets : leurs enveloppes ne sont pas encore complètement condensées que déjà l'étoile formée atteint, et même quitte, la séquence principale. Ces travaux, en collaboration avec N. BERRUYER et A. BAGLIN de l'Observatoire de Nice, ont donné lieu à une publication (en préparation) et à la thèse de troisième cycle de N. BERRUYER.

Enfin, S. DUMONT (avec A. BAGLIN, Nice) a construit des modèles d'étoiles naines blanches à hélium. S. DUMONT (avec N. SAKHIBULLIN, U.R.S.S.) a aussi étudié les raies H et K du magnésium ionisé dans des étoiles jeunes, observées grâce au satellite TD 1 (rapport présenté à Kazan, U.R.S.S., le 2 février 1972).

Physique de la Galaxie

A. HAYLI a continué ses recherches sur les familles d'orbites galactiques périodiques, problème étroitement lié à celui dit de la troisième intégrale (en collaboration avec L. MARTINET). Plusieurs publications sont issues de ce travail ou sont en cours de préparation.

J.-C. PECKER a étudié le tri (sous l'action des forces de gravitation et de celles de la pression de radiation) de différentes espèces atomiques ou de poussières de différentes dimensions. Au cours de l'évolution galactique, l'hydrogène est d'abord chassé, violemment, cependant que He ou Fe « retombent ». Dans une phase ultérieure, Fe est chassé aussi. Plus tard (état actuel de la Galaxie ?), H retombe aussi. L'éjection est essentiellement polaire, la retombée équatoriale. Ce modèle, encore schématique (une étude dynamique précise est entreprise), permet (peut-être) de rendre compte des radiosources dites « haltères », de la pauvreté en métaux des étoiles du halo, de la grande abondance d'hélium dans la Galaxie, du moment angulaire élevé de celle-ci, des nuages de Oort et de l'anneau de Dieter, ainsi que de la dominance dans le milieu interstellaire de poussières d'une dimension presque unique de $3 \cdot 10^{-5}$ cm.

Etude des déplacements anormaux vers le rouge

Aussi bien au bord du disque solaire que dans le rayonnement de radio-sources occultées par la couronne solaire, aussi bien dans certaines chaînes de galaxies de Markarian que dans les familles de galaxies étudiées par H.C. ARP ou W.L. SARGENT, des déplacements vers le rouge observés ne peuvent être interprétés ni par un déplacement gravitationnel, ni par un effet Doppler normal. J.-C. PECKER, A.P. ROBERTS et J.P. VIGIER, dans deux notes aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, une note à *Nature* et une lettre à *Physical Review*, montrent comment ces phénomènes peuvent être décrits par une formule phénoménologique unique, avec une même valeur de la constante de cette formule. Cette relation est due à l'effet des interactions photon-photon dont la théorie est développée par J.P. VIGIER, M. FLATO et d'autres chercheurs, en harmonie avec la thèse ancienne de L. de BROGLIE selon laquelle le photon est doué d'une masse propre non nulle. Les conséquences sont nombreuses : le « redshift » dit cosmologique est, en partie du moins, dû à des interactions avec les photons distribués dans l'espace ; les quasars sont des objets plus proches que ne le laisse penser leur « redshift » ; bien des aspects classiques de la cosmologie sont à « repenser ». Des expériences cruciales ont été effectuées par J.P. VIGIER, M. DUCHESNE, S. DEPAQUIT ; d'autres sont proposées, afin de déterminer effectivement la masse « au repos » du photon. Malgré le caractère encore très controversé de cette question, il nous semble hors de doute que la cosmologie classique ne peut complètement expliquer les observations.

DISTINCTIONS, NOMINATIONS

M. PECKER, professeur, a été élu membre extérieur du Conseil scientifique de l'Université de Nice, des Conseils des Observatoires de Lyon, Marseille, Toulouse-Pic du Midi, du Conseil scientifique de l'Observatoire de Nice. Il a été nommé membre de l'E.S.O. Scientific Policy Committee, élu Vice-Président de l'A.D.O.P., Secrétaire général de l'A.D.I.O.N., membre du Conseil et vice-président de la Société Astronomique de France, membre du Conseil de la Société française de Physique, Président du Comité des programmes de l'expérience du L.P.S.P. sur le satellite O.S.O.-I de la N.A.S.A., membre de la Commission Lagarrigue pour la réforme de l'enseignement de la physique dans l'enseignement secondaire.

M. PECKER a reçu la Médaille de l'Université de Nice.

CONGRÈS, COLLOQUES, MISSIONS

Plusieurs membres des équipes de recherches ont participé à des colloques et symposiums.

Colloque de Liège sur l'*astronomie infrarouge*, juin 1971 (M. PECKER).

Symposium on *Scientific results from the O.A.O. satellite*, Amherst, Mass., août 1971 (M^{me} HEIDMANN, M^{me} PRADERIE).

I.A.U. Colloquium no. 14, *XUV Spectroscopy*, Utrecht, août 1971 (M^{me} GROS).

I.A.U. Colloquium no. 19, on *Stellar Chromospheres*, Greenbelt, Maryland, février 1972 (M^{me} GROS, M. KRİKORIAN, M. MAGNAN, M. PECKER et M^{me} PRADERIE qui était membre du Comité d'organisation scientifique).

Colloque d'Aussois sur les *Atmosphères solaires et stellaires et les observations spatiales* (M^{lle} DUMONT, M^{me} GROS, M^{me} HEIDMANN, M. MAGNAN, M. PECKER, M^{me} PRADERIE, M. SIMONNEAU). Ce colloque était organisé par M^{me} PRADERIE et M. PECKER.

Colloque sur l'*Infrarouge*, Lyon, mai 1972 (M. PECKER).

MISSIONS ET SÉJOURS A L'ÉTRANGER

M^{me} PRADERIE et M. PECKER ont séjourné plusieurs semaines, en février-mars 1972, au Joint Institute for Laboratory Astrophysics, Boulder, Colorado.

M. HAYLI a séjourné, de mai à juillet 1972, à l'Université de Californie, à Berkeley, où il a travaillé avec le professeur I. King sur l'anisotropie de la distribution des vitesses dans les modèles d'amas galactiques. Il a, de plus, effectué une mission à l'Observatoire de Haute-Provence en février 1972.

SÉMINAIRES

M. Hayli a donné plusieurs séminaires à l'Université de Columbia, New York (avril 1971), à l'Université de Californie, Berkeley (juin 1971), à l'Université de Mexico (juillet 1971).

M. HAYLI a également fait une série de 12 cours à l'Observatoire de Genève (mai-juin 1972).

PUBLICATIONS

R. BONNET, R. CAYREL, M. GROS, P. LEMAIRE, F. PRADERIE, D. SACOTTE, *Proposition d'observation sur l'expérience S-59 à bord du satellite TD 1* (Rapport interne L.P.S.P., 1971).

R. BONNET, R. CAYREL, M. GROS, N. HEIDMANN, F. PRADERIE, D. SACOTTE, *Proposition d'observation sur l'expérience S-68 à bord du satellite TD 1* (Rapport interne L.P.S.P., 1972).

R. BONNET, R. CAYREL, M. GROS, F. PRADERIE, D. SACOTTE, *Identification des caractéristiques spectrales principales dans le spectre de 7 étoiles observées par le satellite O.A.O.* (en préparation).

S. DUMONT, *Numerical solution of the transfer equation for polarized continuum radiation* (*J. quant. Spectrosc. radiat. Transfer*, 1971, t. 11, p. 1675).

S. DUMONT, A. OMONT, J.-C. PECKER, *A theoretical study of the Fraunhofer lines polarization. The case of Ca I 4227* (en préparation).

M. GROS, *Sur le spectre ultraviolet de Sirius* (Thèse de 3^e cycle).

A. HAYLI, *Numerical experiments on the escape from non-isolated clusters and the formation of multiple stars* (*Astr. Space Sci.*, 1971, t. 13, p. 309).

— *Le système du monde* (*l'Astronomie nouvelle*, 1971, Ed. J.-C. Pecker, Hachette, p. 27).

— *La révolution copernicienne* (Trad. du livre de T. Kahn, 1971, Fayard).

— *Exercices de physique* (à l'usage des étudiants de CPEM et CB BG) (SEDES, 1971, 4^e éd.).

— *Newton* (trad. italienne de l'ouvrage paru en 1970 aux éd. Seghers, 1971).

— *Le système copernicien jusqu'à Képler* (Astronomie, 1972, sous presse).

A. HAYLI, M. FITREMANN, *La cosmogonie du système solaire* (*l'Astronomie nouvelle*, 1971, Ed. J.-C. Pecker, Hachette, p. 293).

A. HAYLI, L. MARTINET, *Galactic orbits and integrals of motion for « high velocity stars »*. I. (*Astr. Astrophys.*, 1971, 14, p. 103).

J. HEIDMANN, N. HEIDMANN, G. de VAUCOULEURS, *Inclination and absorption effects on the apparent diameters, optical luminosities and neutral hydrogen radiation of galaxies. I. Optical and 21 cm line data. II. Empirical properties. III. Theory and applications* (*Mem. R. astr. Soc.*, 1971, 75, p. 85).

N. HEIDMANN, L. GALLOUET, *Optical positions of bright galaxies* (*Astr. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1971, 3, p. 325).

R. KRIKORIAN, *Sur les spectres continus des étoiles des premiers types* (Thèse de 3^e cycle, 1971, soumis à *Astr. Astrophys.*).

C. MAGNAN, *The splitting of lines in differentially rotating slob* (1972, soumis à *Astr. Astrophys.*).

J.-C. PECKER, *Poussières dans l'univers* (*Sciences*, 1971, n° 74-75, p. 2).

— *Observational and predicted data on the infrared and microwave spectra of early-type stars* (*JILA Rep.*, 1971, n° 109).

— *Communications avec la vie extra-terrestre* (dans *l'Astronomie nouvelle*, 1971, Ed. J.-C. Pecker, Hachette, p. 412).

— *Observation, théorie et prédiction concernant les spectres infra-rouge et radio des étoiles des premiers types* (17th intern. astrophys. Symp., Liège, juin 1971, sous presse).

— *Processus physiques intéressant les poussières circumstellaires. II. Masse des grains et accréition protonique* (*C. R. Acad. Sci.*, Paris, 1972, B 274, p. 1001).

— *Evolution galactique. I. Effets différentiels de la pression de radiation des étoiles des différents types sur les atomes neutres et les grains de poussière* (*Astr. Astrophys.*, 1972, 18, p. 253).

J.-C. PECKER, F. PRADERIE, *Les abondances dans les astres* (en préparation, pour publication par Flammarion).

J.-C. PECKER, A.P. ROBERTS, J.P. VIGIER, *Sur une interprétation possible du déplacement vers le rouge des raies spectrales dans le spectre des objets astronomiques* (*C. R. Acad. Sci.*, Paris, 1972, B 274, p. 765).

— *Sur une interprétation possible du déplacement vers le rouge des raies spectrales dans le spectre des objets astronomiques. II. Suggestions en vue d'expériences directes* (*C. R. Acad. Sci.*, Paris, 1972, sous presse).

— *Non-velocity red-shifts and photon-photon interactions* (*Nature*, 1972, 237, p. 227).

J.-C. PECKER, R.N. THOMAS, *The infrared excess of O-stars and its consequences* (en préparation).

J.-C. PECKER, J.P. VIGIER, *Do anomalous non-velocity solar red-shifts reveal the photon rest mass?* (soumis à *Phys. Rev. Lett.*, 1972).

F. PRADERIE, *Some remarks on H^- in stellar atmospheres* (*Astrophys. Lett.*, 1971, 9, p. 27).

— *Proposition d'observation sur la partie nuit de l'orbite du satellite OSO-I* (Rapport interne JILA, 1971).

F. PRADERIE, T. P. STECHER, *On the absorption by the H_2 molecule in UV spectra* (1972, en préparation).

F. PRADERIE, R.N. THOMAS, *On estimates of the non-radiative energy input to the solar chromosphere from the H^- emission* (*Astrophys. J.*, 1972, 172, p. 485).

— *Multicomponent atmosphere models for A stars* (1972, en préparation).

E. SIMONNEAU, *Sur une nouvelle méthode pour l'étude de la formation des raies spectrales quand la fonction-source est indépendante de la fréquence* (*C. R. Acad. Sci., Paris*, 1972, B 274, p. 85).

— *Résolution de l'équation de transfert en présence d'un champ de vitesses* (*C. R. Acad. Sci., Paris*, 1972, sous presse).