

## Astrophysique théorique

M. Jean-Claude PECKER, professeur

### COURS ET SÉMINAIRES

#### *Les abondances des éléments dans l'univers*

Le cours a porté essentiellement sur deux importantes questions :

- (a) l'examen critique des méthodes d'analyse des spectres stellaires ;
- (b) la théorie et les applications récentes de la diffusion des espèces atomiques dans les milieux astrophysiques.

#### 1. *Examen critique des méthodes d'analyse. Cas des spectres*

La méthode fondamentale d'étude est celle, déjà ancienne (Russell, Minnaert, Menzel, Unsöld, 1925-30), des *courbes de croissances*, perfectionnée par Pecker en 1948-50, puis en 1957-61.

La définition des grandeurs mesurées, largeur équivalente  $W$  :

$$(1) \quad W = \int_0^{\infty} \frac{I_{\text{cont}} - I_{\lambda}}{I_{\text{cont}}} d\lambda$$

et profil de la raie, caractérisé par l'intensité  $I_{\lambda}$  en un point ( $I_{\lambda_0}$ , au centre de la raie, par exemple) ou en plusieurs points, fournit des quantités sensibles à l'abondance  $A = N_M / N_H$  d'un élément donné  $M$  par rapport à l'hydrogène, constituant principal des atmosphères stellaires.

Les relations empiriques, pour un multiplet donné d'un ion donné de  $M$ , entre  $\log W$  et  $\log g_L f_{LU}$  ( $g_L$ , poids statistique du niveau inférieur de la transition étudiée ;  $f_{LU}$ , force d'oscillateur de cette transition) s'appelle la « courbe de croissance ». Si l'on utilise des courbes de croissance (en abrégé

CdC) de plusieurs multiplets d'un même ion, des coïncidences assurées par des glissements horizontaux permettent de déterminer la température d'excitation  $T_{\text{exc, LL}}$  correspondant aux deux niveaux bas des multiplets considérés. Cette technique ramène donc les abondances de l'ion  $M_i$  dans n'importe quel état d'excitation à l'abondance totale de l'ion  $M_i$ . Une technique analogue appliquée à deux ions d'un même élément permet de se ramener à l'abondance totale de cet élément dans tous ses états d'ionisation. La comparaison entre des courbes de croissance correspondant à différents éléments permet de déterminer les abondances relatives. Pour déterminer les abondances (par rapport à l'hydrogène), il faut disposer d'une relation théorique  $f(W, g\lambda, A)$  qui doit résulter d'une théorie de la courbe de croissance.

La plupart des théories de la courbe de croissance relèvent de la solution simplifiée de l'équation du transfert radiatif. Beaucoup d'entre elles relèvent de formules d'interpolation décrivant le profil de la raie d'une façon arbitraire ; d'autres, plus élaborées, sont basées sur la solution exacte de l'équation du transfert radiatif. Elles supposent cependant que les seuls processus « d'absorption pure » ou de « diffusion pure » jouent ; elles supposent aussi des formes simplifiées (Schuster-Schwarzschild, ou Milne-Eddington) de la fonction

$$(2) \quad \eta(\tau) = \frac{\kappa_{\nu}(\tau)}{\kappa_{\text{cont}}(\tau)}$$

qui représente la variation, avec la profondeur optique, du rapport de l'opacité dans la raie à l'opacité continue.

Une grande partie du cours (qui sera détaillée dans un ouvrage en cours de rédaction) a été consacrée à l'examen des erreurs dues à ces approximations ainsi qu'à celui de l'équilibre thermodynamique local (ETL) et à la description des méthodes nouvelles, mathématiquement correctes, qui résolvent le problème dans le cas général et hors ETL (théorie des « fonctions de poids » et de « saturation »). Compte tenu de la complexité des développements analytiques, nous n'entrerons pas en plus de détails dans cette description. Nous nous bornerons à remarquer que l'utilisation de ces méthodes est nécessaire si l'on veut étudier de façon fine certains phénomènes de diffusion, — lorsque la précision exigée sur  $A$  doit être meilleure qu'un facteur 2 à 3... Si l'on peut au contraire se contenter d'une précision de l'ordre de ce facteur 2 à 3 (par exemple pour étudier le lien entre l'évolution stellaire, l'évolution galactique et les abondances des éléments), alors les raffinements difficiles de la théorie peuvent être sans doute considérés comme inutiles, à condition de s'imposer une technique stricte de choix des raies étudiées.

## 2. *Origine de la composition actuelle observée : la nucléosynthèse*

Le professeur a délibérément laissé de côté cet aspect de la question, un ouvrage récent de J. Audouze et S. Vauclair sur « l'astrophysique nucléaire » faisant le point de façon simple et claire (Collection « Que sais-je ? », P.U.F.).

## 3. *Origine de la composition actuelle observée : la diffusion des éléments*

En raison de la dispersion des vitesses des atomes et de l'équipartition de l'énergie, des phénomènes de diffusion conduisent à des migrations, donc à des modifications de la composition chimique, et ce dans des milieux aussi variés que les atmosphères stellaires, les environnements stellaires, les environnements galactiques.

La relation générale (étudiée par Chapman et Aller, Chapman et Cowling, Schatzman) est établie en fait à partir de données assez simples, issues de l'ancienne théorie cinétique des gaz (Mayer, Jeans). Elle s'écrit :

$$(3) \quad \Delta W = D_{12} \left[ f \frac{\partial c_1}{\partial r} + g \frac{1}{p} \frac{\partial p}{\partial r} + h \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial r} + k \Delta F \right]$$

où  $\Delta W$  représente la vitesse de séparation,  $D_{12}$  le coefficient de diffusion du gaz 1 dans le gaz 2 (qui exprime aussi, plus ou moins, les forces de viscosité), et où le crochet contient quatre termes dont le premier — le gradient de concentration relative d'un gaz par rapport à l'autre — est un terme de « modulation », les trois autres termes étant des termes « moteurs » — le terme de diffusion barométrique, le terme de diffusion thermique, le terme de diffusion dû aux effets sélectifs des forces appliquées aux atomes. Les fonctions  $f$ ,  $g$ ,  $h$ ,  $k$  sont des fonctions des conditions locales, des concentrations et des propriétés des éléments considérés. Le mot de « diffusion gravitationnelle », étant ambigu, est longuement discuté afin de justifier son élimination du vocabulaire.

Il est clair que dans tout problème de diffusion, deux questions sont à considérer : (a) celle du fait physique *moteur* ; (b) celle de l'*échelle de temps*, comparée à celle de l'évolution stellaire.

Ayant discuté la généralité du problème, des exemples récents sont donnés. Ainsi étudie-t-on :

— Le cas où, à la base de la zone convective, la diffusion « pompe » hors de celle-ci les éléments lourds. L'épaisseur de la zone convective est un élément important de discussion. Quand de tels effets sont-ils astrophysiquement importants ? La diffusion *barométrique* joue le rôle essentiel. Mais les modifications de la zone convective imposées par le pompage (en modifiant,

par exemple, l'abondance d'hélium) modifient le terme barométrique de façon notable et le problème, devenu non-linéaire, en est d'autant compliqué (Vauclair *et al.*, 1974 b).

— Les cas où la diffusion (naines blanches) dépend fondamentalement du rapport  $A/Z$ , en raison de l'existence dans le quatrième terme de (3) des *forces électrostatiques* : ce mécanisme, imaginé par Schatzman pour l'explication de la flottaison de l'hydrogène sur les éléments lourds, semble, en fait, assez lent.

— Les cas où la *diffusion thermique* pourrait jouer un rôle dans la couronne solaire, en pompant les éléments lourds vers l'extérieur (Delache) : ce phénomène est détruit par le vent solaire en partie, tout comme la convection limite l'effet de la diffusion barométrique dans les atmosphères.

— Les cas où le « moteur »  $\Delta F$  est dû à la *pression de radiation*. Vauclair, Michaud et Charland expliquent ainsi la faible abondance  ${}^4\text{He}/\text{H}$  et le rapport élevé  ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$  existant dans des étoiles du type 3 Cen A. Pecker a appliqué une idée semblable (1972) à l'espace circumgalactique, mais le temps de diffusion est incertain et dépend largement des paramètres choisis. Il semble que ce phénomène pourrait expliquer la faible teneur en métaux du halo galactique et divers autres aspects de l'évolution galactique, l'anneau de Dieter par exemple.

#### 4. Conclusion

Dans une galaxie, l'abondance dépend du lieu et du temps : la fonction à étudier est  $A(x,y,z,t)$ . L'abondance « primordiale »  $A_0(x,y,z,t_0)$  résulte de la théorie du « big bang », ou peut en résulter. Au cours de la vie d'une galaxie,  $A$  évolue au centre des étoiles, en raison des réactions de nucléosynthèse, par accroissement de la teneur en éléments lourds. Les instabilités explosives (supernovae) conduisent à une dissémination de ces éléments lourds et à une diffusion progressive qui les pousse à émigrer dans l'ensemble de la galaxie. Pour rester ouverts à des théories qui n'impliqueraient pas un âge fini de l'univers, il faudrait recourir à la formation d'objets où les éléments lourds disparaissent, où  $\text{H}$  se reconstitue (températures élevées). Alors, localement (jeunes galaxies ?), on retrouverait des abondances égales à  $A_0$ , issues non pas d'un « big bang », mais de « bangs » localisés, un peu comme dans l'esprit des théories de Wagoner. La théorie en est encore à préciser considérablement et l'argument à nos yeux le plus fort en faveur de l'univers en expansion (dont nous avons par ailleurs des raisons de douter) reste l'explication d'ensemble, cohérente et quantitative, des abondances observées.

On voit comment l'étude d'un problème, qui peut sembler très technique au départ, rejoint celle des origines mêmes de l'univers accessible.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- L. H. ALLER, S. CHAPMAN, 1960, *Astrophys. J.*, **132**, p. 461.
- S. CHAPMAN, T. G. COWLING, 1952, *The mathematical theory of non-uniform gases* (Cambridge, Univ. Press.).
- Ph. DELACHE, 1967, *Ann. Astrophys.*, **30**, p. 827.
- J. H. JEANS, 1925, *Dynamical theory of gases* (Dover, réédité en 1954).
- G. MICHAUD, 1970, *Astrophys. J.*, **160**, p. 641.
- J.-C. PECKER, 1972, *Astr. Astrophys.*, **18**, p. 253.
- F. PRADERIE, 1968, *Ann. Astrophys.*, **31**, p. 15.
- E. SCHATZMAN, 1958, *White dwarfs* (Amsterdam, North Holland Publ. C°).
- 1969, *Astr. Astrophys.*, **3**, p. 331.
- G. VAUCLAIR, S. VAUCLAIR, A. PAMIATNIKH, 1974, *Astr. Astrophys.*, **31**, p. 63.
- S. VAUCLAIR, non publié.
- S. VAUCLAIR, G. MICHAUD, Y. CHARLAND, 1974, **31**, p. 381.
- W. D. WATSON, 1970, *Astrophys. J.*, **162**, p. 145.
- 1971, *Astr. Astrophys.*, **13**, p. 263.

SÉMINAIRES ET CONFÉRENCES

Les séminaires ont essentiellement complété le cours sur diverses questions particulières. La liste en est la suivante :

M<sup>mes</sup> F. CRIFO et M. MALINOVSKI, *Les abondances dans la couronne solaire* ;

M<sup>me</sup> G. CAYREL, *Abondances et évolution des étoiles normales* ;

M<sup>lles</sup> M. GERBALDI et C. MEGESSIER, *Les abondances dans les étoiles Am, Ap* ;

M<sup>me</sup> G. CAYREL, *Les abondances dans les étoiles de type F, G, K* ;

M<sup>me</sup> M.-C. LORTET, *Les abondances dans les nébuleuses planétaires et les régions H II* ;

M<sup>me</sup> S. COLLIN-SOUFFRIN, *Les abondances dans les objets extragalactiques* ;

M. P. PELLAS, *Les abondances dans les météorites* ;

M. J. AUDOUZE, *Les abondances dans les rayons cosmiques* ;

M. J. AUDOUZE, *Les abondances isotopiques* ;

M<sup>me</sup> N. HEIDMANN, *Les abondances dans la photosphère et la chromosphère solaires*.

De plus, des cours, sur le milieu interstellaire principalement, ont été donnés, en étroite relation avec la Chaire.

M<sup>me</sup> N. H. DIETER-CONKLIN a traité, en quatre leçons, de : *The interstellar medium* (1. Neutral hydrogen at high velocities. Recent observations and models ; 2. Very small scale structure in neutral interstellar hydrogen ; 3. Formaldehyde in interstellar dust clouds ; 4. The new hat creek millimeter-wave interferometer : tool for studying the interstellar gas).

M. M. PEIMBERT a donné deux conférences : (1) *Ionization in low density interstellar medium* ; (2) *Chemical abundances in large Magellanic Clouds*.

M<sup>me</sup> S. TORRES PEIMBERT a donné une conférence sur le sujet suivant : *Ionization and heavy structure of gaseous nebulae, the heavy elements*.

Enfin, M. R.-N. THOMAS a donné un cours dont il est rendu compte ci-après, page 639.

#### ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE DU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE

L'activité scientifique du laboratoire fut marquée par une extension des activités antérieures vers la théorie de l'environnement galactique d'une part, avec ses implications cosmologiques, et d'autre part vers le renforcement de l'étude systématique des structures et de la physique des zones de transition, entre « intérieurs denses en quasi équilibre » et « milieux dilués hors équilibre ».

### A. *Soleil et système solaire*

Les recherches du laboratoire ont concerné la photosphère supérieure où les écarts à l'ETL deviennent notables.

Tout d'abord, une étude critique des méthodes ETL de détermination des *abondances solaires* a été poursuivie et a mis en évidence les erreurs importantes entraînées par l'utilisation classique des courbes de croissance pour la détermination des abondances (Dumont, Heidmann, Jefferies, Pecker, 1973). Cette étude se prolongera par la mise au point de méthodes de détermination des abondances en tenant compte de l'existence des écarts à l'ETL. Les recherches menées depuis quelques années sur la *polarisation* voient aussi de nouveaux rebondissements. A la suite de nos calculs, de nouvelles mesures de la polarisation du rayonnement continu au bord solaire ont été faites en divers observatoires (Orrall, Wiehr, Leroy) et montrent un écart important entre théorie et observation. Deux pôles de recherche (effet d'abondance des éléments ; effet des hétérogénéités) se dégagent actuellement (Dumont, Pecker). De plus, des mesures de raies, dues à Stenflo et à Wiehr, fournissent un nouveau test à notre théorie. Enfin les *facules solaires* ont fait l'objet d'une proposition acceptée sur le satellite OSO-I de la NASA (lancement fin 1974). Nous préparons cette expérience grâce à l'essai de méthodes de diagnostic ; G. Chapman, de l'Université d'Honolulu, s'est joint à notre équipe afin d'étudier l'effet des facules sur les mesures de « l'aplatissement solaire ». Rösch, au Pic du Midi, envisage également des mesures de l'aplatissement solaire, et cet effort commun doit aboutir, pensons-nous, à des conclusions sur ce problème important soulevé, voici dix ans, par des mesures fort controversées de Dicke (Dumont, Mouradian, Pecker, Artzner, Hersé).

### B. *Etoiles : observations, diagnostic, théorie des photosphères hors ETL, des chromosphères et des enveloppes*

#### (a) *Etude des spectres stellaires ultraviolets (techniques spatiales) des étoiles A*

L'équipe intéressée par les observations des étoiles A dans l'ultraviolet (F. Praderie, M. Gros) s'est augmentée en 1973 d'un chercheur de 3<sup>e</sup> cycle, R. Freire. Une collaboration ancienne avec D. Sacotte a été interrompue par suite du départ de celui-ci au C.N.E.S.

Cette équipe poursuit un travail d'interprétation de données spatiales disponibles, qui sont obtenues au titre de divers programmes de « guest investigators » ou au titre de collaborations particulières. Les données sur lesquelles notre travail a porté en 1973 proviennent : (1) du satellite OAO-2 (projet Bonnet, Cayrel, Praderie) ; (2) du satellite TD-1, expérience de Liège (collaboration entre notre équipe et l'équipe du D<sup>r</sup> Malaise de l'Institut d'Astro-

physique de Liège) ; (3) du satellite Copernicus (projet Bonnet, Gros, Praderie). L'équipe prépare aussi les observations qui seront peut-être menées à partir du satellite OSO-I, qui sera lancée fin 1974. *Problématique* : Le but à long terme de l'étude de l'ultraviolet des étoiles A est la recherche de la distribution thermique dans les couches les plus élevées de l'atmosphère de ces étoiles et l'essai de mise en évidence de chromosphères. Notre approche cherche à exploiter les régions particulièrement opaques du spectre : c'est le cas des continus UV, à des longueurs d'onde plus courtes que  $1\ 800\ \text{\AA}$  ; c'est le cas des raies fortes UV, et en particulier de Lyman  $\alpha$  ; c'est aussi le cas de certaines raies fortes du domaine visible. La démarche consiste à comparer le spectre prédit à l'aide de modèles aussi bons que possible, et le spectre observé, et à tirer parti des écarts rencontrés.

*Travaux effectués en 1973* : L'analyse des données OAO-2 a été achevée. Ces données à basse résolution (10 et  $20\ \text{\AA}$ ) concernent sept étoiles A0, A1, A2, Ap (étoiles A « chaudes »). L'analyse à l'aide de modèle ETL a conduit à la mise en évidence d'un désaccord entre observations et spectres prédits à  $\lambda < 2\ 500\ \text{\AA}$ . Une opacité marquante pourrait en être la cause (Gros *et al.*, 1973).

Une analyse préliminaire de résultats calibrés photométriquement de TD-1 et portant sur une cinquantaine d'étoiles A (résolution  $35\ \text{\AA}$ ) entre  $1\ 350$  et  $2\ 500\ \text{\AA}$ , conduit aux résultats suivants :

(1) Un indice à  $2\ 100\ \text{\AA}$ , bâti à partir des observations pour repérer la position absolue du continu de Balmer par rapport au continu de Paschen, montre un désaccord entre observations et spectres prédits, dans le sens d'un défaut des observations par rapport aux calculs. Ceci généralise le résultat obtenu à partir de quelques spectres venant d'OAO-2.

(2) A  $1\ 400\ \text{\AA}$ , les étoiles d'un même type spectral et de même classe de luminosité présentent des variations pouvant atteindre une magnitude. Ceci est interprété comme dû à une variation, au sein d'un groupe d'étoiles ayant la même photosphère, de la position et de la valeur du minimum de température de l'atmosphère. Ces résultats ont été présentés au COSPAR (Colloque de Constance, juin 1973) et soumis à *Astr. Astrophys.* (Malaise *et al.*, 1974 ; Praderie *et al.*, 1974 ; Jamar *et al.*, 1974).

Une proposition d'étude à haute résolution de raies dont les fonctions-sources sont du type « dominé par les collisions » dans les étoiles A a été soumise, d'une part à IUE, et acceptée, d'autre part aux responsables du satellite Copernicus auxquels nous devons un spectre dans la région Ly  $\alpha$  de l'étoile Véga (résolution  $0.05\ \text{\AA}$ ). Ce spectre est remarquable par le seul fait qu'il existe une aile violette à Ly  $\alpha$ , alors que les calculs faits avec un

modèle en équilibre radiatif, ETL, quelle que soit la fonction-source utilisée, ne permettent pas de prédire cette aile. Nous avons là un nouvel indice d'existence d'une remontée de température dans une étoile A0 V (voir aussi Linsky *et al.*, 1973), et le plus puissant jusqu'alors.

L'interprétation de ce profil, considéré comme un outil d'exploration du modèle, a débuté. Les problèmes à résoudre sont : (1) le calcul d'une fonction-source S, non-ETL, pour Ly  $\alpha$ , en tenant compte de l'opacité continue due à C I aux mêmes longueurs d'onde ; (2) l'utilisation d'une bonne fonction d'élargissement (Stark et élargissement de résonance) ; (3) la variation en fréquence de S<sub>v</sub>. Collaborent à cette partie du programme : E. Simonneau, A. Omont, F. Praderie.

Nous avons aussi entrepris de mettre en marche le programme de calcul de modèles que nous a communiqué Mihalas. Ce travail est accompli principalement, et de façon très coordonnée, par M. Gros, R. Freire, avec l'aide efficace, depuis décembre 1973, de J. Borsenberger. Nous en sommes à la phase des essais, qui se font à partir du terminal du LPSP sur le calculateur CDC 6 600 du CNES.

#### *Programme pour 1974*

— Poursuite de l'interprétation des données TD-1, en collaboration avec D. Malaise, C. Jamar, F. Beeckmans. Cette interprétation est du type semi-empirique et s'appuie sur la mesure de températures de brillance dans des spectres observés qui, rappelons-le, sont calibrés de façon absolue, et sur une théorie des écarts à l'ETL dans les continus principaux qui interviennent entre 1 350 et 2 500 Å. La difficulté du problème provient de ce que, dans les étoiles A, il y a toujours superposition de plusieurs sources d'opacité à la même fréquence, et de ce que le spectre UV est excessivement sensible à la température des couches où le rayonnement se forme. Une étude est déjà en cours sur quelques étoiles A tardives (Am, A5, A7).

— Poursuite de l'étude de Ly  $\alpha$  dans Véga par l'attaque des points mentionnés ci-dessus.

— Poursuite de la mise au point du programme Mihalas dans sa version actuelle (hydrogène-hélium), puis introduction d'opacités convenant aux étoiles A (C I, Si I, Mg I, élargissement résonnant de Ly  $\alpha$ ).

#### *(b) Recherches théoriques sur les régions extérieures des atmosphères stellaires*

Outre les recherches décrites ci-dessus, des études d'étoiles particulières ont été poursuivies :

— L'étude des atmosphères des étoiles T Tauri (Dumont, Heidmann, Kuhl, Thomas) : on utilise le flux total observé de la raie d'émission  $H\alpha$  dans 20 étoiles T Tauri pour tester l'hypothèse selon laquelle les caractères d'émission observée peuvent être produits par une chromosphère sans recourir à une atmosphère étendue. Cette recherche est poursuivie à l'aide des raies d'émission H et K du Ca II.

— Les étoiles O-B (Krikorian, Pecker) : étude des désaccords existant, dans l'intervalle 3 150 - 4 600 Å, entre les spectres continus théoriques des modèles non-ETL d'étoiles O et B et les observations de Chalonge-Divan. Ces désaccords se traduisent par un rougissement du paramètre  $\Delta\Phi_0 = \Phi_{\text{ouv}} - \Phi_{\text{ob}}$ , différence des gradients intrinsèques ultraviolet et bleu. Partant de l'hypothèse que ce rougissement est dû à une enveloppe de poussières circumstellaires, on essaie de déterminer la température moyenne et la profondeur optique de cette enveloppe aux longueurs d'onde 4 250 et 3 500 Å. Cette étude se poursuit et doit permettre la compréhension de la physique des enveloppes de poussières et de leur rôle dans l'évolution stellaire. L'étude du problème du transfert dans les régions H II entourant les étoiles O-B est également envisagée (Dumont, Pecker).

Par la suite, il est envisagé d'aborder :

- l'étude des céphéides ;
- l'étude des étoiles G-K qui présentent une émission dans les raies M et K (Krikorian) ;
- l'étude de certaines supergéantes rouges ( $\alpha$  Orionis) (Boesgaard, Magnan).

(c) Mais des problèmes généraux se posent. Tout d'abord, celui de la physique du flux de photons dans les *atmosphères stellaires, considérées comme régions de transition*. Ce thème a fait l'objet des cours de R.-N. Thomas, professeur associé au Collège de France (voir ci-après page 639).

D'autre part, les problèmes de transfert du rayonnement *dans un milieu en mouvement* ont été au centre des recherches de C. Magnan (1973 a). Magnan et Pecker ont développé l'aspect diagnostic à propos du problème de l'asymétrie des raies spectrales solaires, et une critique des méthodes classiques a été présentée à l'Assemblée générale à l'UAI à Sydney.

La construction de « bons » *modèles stellaires* reste un problème crucial, ainsi que leur utilisation au calcul des raies spectrales. Dumont et Heidmann ont abordé l'étude d'une remontée de température dans une atmosphère « classique » ETL. La mise au point de programmes du type Mihalas est en cours d'étude (Etude de l'effet de différents absorbants (Si, Mg, C, Fe) sur

la structure d'une atmosphère « classique » ETL (Dumont, Heidmann) ; étude de l'effet du blanketing non-ETL (Dumont, Gerbaldi).

Dans un autre ordre d'idées, l'interaction entre les photons observés et les bosons du voisinage stellaire a été suggérée par Pecker, Vigier et plusieurs auteurs pour interpréter les déplacements anormaux vers le rouge observés dans les spectres de nombreux objets. On a utilisé cette idée pour expliquer le spectre d'étoiles doubles (spectroscopiques et à éclipses) assez chaudes (Kuhi, Pecker, Vigier).

### C. Environnement galactique et cosmologie

L'étude des condensations, au sein de la Galaxie, que sont les étoiles, donne un intérêt particulier aux phénomènes de flux de radiation ou de masse qui commandent la physique de la zone de transition. Cette idée, généralisée aux galaxies, avait permis à Pecker en 1972 de présenter un modèle évolutif expliquant, par les effets de la pression de radiation, différentes caractéristiques observées de l'environnement galactique. Grâce à ce modèle, il est possible de prévoir, au début de la vie des galaxies, l'éjection de masses importantes d'hydrogène : l'association de ce mécanisme au phénomène « quasars » a permis d'aborder une réflexion nouvelle sur les quasars.

Ayant accumulé des observations intra-galactiques (Soleil ; étoiles de Wolf-Rayet) de « redshifts » anormaux, Pecker, Vigier et des chercheurs de l'Institut Henri-Poincaré (Mérat, Tait, Roberts) ont avancé l'hypothèse que les redshifts anormaux observés dans l'univers extragalactique sont dus, dans l'environnement galactique, aux interactions entre les photons observés et les bosons scalaires. Les quasars seraient alors non-cosmologiques, de même que de nombreux objets à grande compacité ; une analyse statistique d'un échantillonnage de groupes de galaxies confirme ce point de vue (Collin-Souffrin *et al.*, 1974). On peut même se demander (des études sont en cours) si la quasi totalité du redshift anormal ne serait pas due à des interactions de même nature ayant lieu dans le milieu intergalactique.

Il faudrait alors envisager une nouvelle cosmologie qui devra expliquer la loi de Hubble, le rayonnement à 3° K, la composition chimique des galaxies, dans le cadre d'un univers statistiquement stationnaire et localement fluctuant. Les auteurs espèrent développer cette hypothèse dans les années à venir.

BIBLIOGRAPHIE

A. BAGLIN, N. BERRUYER, P.-J. MOREL, J.-C. PECKER, *The protostellar origin of circumstellar envelopes (Astrophys. Lett., 1973, 15, p. 9).*

A. BAGLIN, J.-M. LE CONTEL, F. PRADERIE, *Study of the peculiar, variable star  $\gamma$  Boo (A7 III) (Proposal for the IUE satellite, 1973).*

A.-M. BOESGAARD, *The abundance of interstellar beryllium (Astr. Astrophys., 1974, sous presse).*

R.-M. BONNET, M. GROS, F. PRADERIE, *Study of spectral lines from which to detect stellar chromospheres in A-type stars (Proposal for the IUE satellite, 1973).*

S. COLLIN-SOUFFRIN, J.-C. PECKER, H.-M. TOVMASSIAN, *On the compactness and redshifts of companion galaxies members of groups of galaxies (Astr. Astrophys., 1974, 30, p. 351).*

S. DUMONT, N. HEIDMANN, *Effect of the absorbers upon the thermal structure of a LTE atmosphere, hydrogen and helium (Astr. Astrophys., 1973, 27, p. 273).*

S. DUMONT, N. HEIDMANN, J.-T. JEFFERIES, J.-C. PECKER, *The abundance determination in a stellar atmosphere. I. LTE experimentation using an artificial non-LTE spectrum (soumis à Astr. Astrophys., 1974).*

S. DUMONT, N. HEIDMANN, L.-V. KUHI, R.-N. THOMAS, *Chromosphères of T Tauri type stars (Astr. Astrophys., 1973, 29, p. 199).*

— *Emission and variability in Ae type stars (Proposal for the IUE satellite, 1973).*

S. DUMONT, A. OMONT, J.-C. PECKER, *Theoretical study of the Fraunhofer lines polarization : The case of Ca I 4 227 (Solar Phys., 1973, 28, p. 271).*

L. GALLOUËT, N. HEIDMANN, F. DAMPIERRE, *Optical positions of bright galaxies. II (Astr. Astrophys. Suppl. Ser., 1973, 12, p. 89).*

M. GROS, D. SACOTTE, F. PRADERIE, R.-M. BONNET, *Analysis of the ultraviolet spectrum of A-type stars observed by the OAO-II satellite (Astr. Astrophys., 1973, 27, p. 167).*

A. HAYLI, J.-C. PECKER, *Hommage à Copernic, mai 1543 (Rev. Palais de la Découverte, n° spécial 2, juillet 1973, p. 13).*

C. JAMAR, D. MACAU, F. PRADERIE, *Absolute ultraviolet spectrophotometry from the TD-1 satellite. IV. Line features in UV spectra of A stars* (*Astr. Astrophys.*, 1974, sous presse).

R. KRİKORIAN, *Remarques sur les spectres continus théorique d'étoiles O et B* (*C. r. Acad. Sci.*, 1974, Paris, **278**, B 131).

L.-V. KUHI, J.-C. PECKER, J.-P. VIGIER, *Anomalous redshifts in binary stars* (*Astr. Astrophys.*, 1974, **32**, p. 111).

J.-L. LINSKY, R.-A. SHINE, T.-R. AYRES, F. PRADERIE, *Discovery of chromospheres in early A stars* (*Bull. Amer. astr. Soc.*, 1973, **5**, p. 3).

Ch. MAGNAN, *Formation des raies dans des milieux en mouvement* (Thèse, Paris, 1973).

— *Radiative transfer in a moving medium* (*J. quant. Spectrosc. radiat. Transfer*, 1973, **14**, p. 123).

— *Some consequences of a rapid Doppler width variation on the formation of stellar chromospheric lines* (*Astr. Astrophys.*, 1974, sous presse).

— *The angle-averaged redistribution functions in non-coherent scattering* (soumis à *Astr. Astrophys.*, 1974).

Ch. MAGNAN, J.-C. PECKER, *Asymetry in solar spectral lines* (*Highlights of Astronomy*, Reidel, Dordrecht, 1974, sous presse).

D. MALAISE, M. GROS, D. MACAU, *Absolute ultraviolet spectrophotometry from the TD-1 satellite. III. The continuum of A-type stars between 1 350 and 2 500 Å* (*Astr. Astrophys.*, 1974, sous presse).

P. MERAT, J.-C. PECKER, J.-P. VIGIER, *Possible interpretation of an anomalous redshift observed on the 2 292 MHz line emitted by Pioneer 6 in the close vicinity of the solar limb* (*Astr. Astrophys.*, 1974, **30**, p. 167).

P. MERAT, J.-C. PECKER, J.-P. VIGIER, V. YOURGRAU, *Observed deflection of light by the Sun as a function of solar distance* (soumis à *Astr. Astrophys.*, 1974).

J.-C. PECKER, *La méthode de Képler est-elle une non-méthode* (*Sciences et Avenir*, 1973, n° 311, p. 85).

— *L'astromatique et l'informomie* (*IBM-Informatique*, 1973, n° 8, p. 1).

— *The use of model atmospheres for temperature-gravity calibration* (*IAU Symposium 54*, 1973, Eds. B. Hauck and B. E. Westerlund, Reidel, Dordrecht, p. 173).

— *Nicolas Copernic, entre la prudence et la révolution* (*Europe*, n° 527, mars 1973, p. 37).

- *Copernic raconté aux enfants* (Courrier de l'Unesco, avril 1973).
- *Copernic raconté aux enfants* (Rev. Palais de la Découverte, 1973, n° 10, p. 39).
- *Dimensions des zones de gaz ionisé entourant les sources de fort rayonnement ultraviolet. I. Physique du problème et principes des calculs* (Astrofísica, 1973, 9, p. 525).
- *La méthode de Képler est-elle une non-méthode?* (Astronomie, décembre 1973, p. 427).
- *Pour le Collège de France : L'astronomie* (Nouv. Rev. Deux Mondes, 1973, n° 12, p. 553).
- *Les molécules dans l'espace : leur découverte, leur importance* (C. r. Acad. Sci., Paris, 1973, 277, Vie Académique, p. 149).
- *L'astronomie infrarouge* (Astronomie, février 1974, p. 57).
- *Retour sur Copernic, Képler, Bessel et les parallaxies* (Astronomie, mars 1974, p. 83).
- *La comète Kohoutek* (Rev. Palais de la Découverte, 2, avril 1974, p. 15).
- *Evolution galactique. II. Interprétation de l'unicité de la loi de rougissement dans notre Galaxie* (Astr. Astrophys., 1974, sous presse).
- *Faits et modèles cosmologiques* (Le Monde, 10 avril 1974).
- J.-C. PECKER, F. PRADERIE, R.-N. THOMAS, *A scheme of stellar atmospheric regions. I. The general approach* (Astr. Astrophys., 1973, 29, p. 289).
- J.-C. PECKER, G. RINGEARD, *Astronomy, the people and the governments* (Vistas in Astronomy, 1973, 15, p. 1).
- J.-C. PECKER, W. TAIT, J.-P. VIGIER, *Photon mass, quasar redshifts and other abnormal redshifts* (Nature, 1973, 241, p. 338).
- F. PRADERIE, *Intérêt de l'utilisation des observations stratosphériques pour les observations astronomiques* (Colloque Aerall, novembre 1973).
- F. PRADERIE, E. SIMONNEAU, R.-N. THOMAS, H.-J. LAMERS, *Diagnostics of velocity fields, mass-loss and chromospheres in A-type giants and supergiants* (Proposal for the IUE satellite, 1973).
- F. PRADERIE, T.-P. STECHER, *On ultraviolet absorption by molecules hydrogen in stellar atmospheres* (Astr. Astrophys., 1973, 23, p. 49).
- E. SIMONNEAU, *Formacion de lineas espectrales en atmosferas de estrellas no estacionarias* (Thèse, 1973, Madrid).

— *Spectral line formation in expanding atmospheres* (*Astr. Astrophys.*, 1973, **29**, p. 357).

— *Problemas en la determinacion de abundancias de elementos en las estrellas en condiciones de equilibrio termodinamico local y alejadas del equilibrio termodinamico local* (*Revista R. Acad. Ciencias*, Madrid, 1973, **57**, n° 76, p. 659).

— *Concepts de base de la théorie des atmosphères stellaires* (*C. r. Ecole d'été, Les Houches*, 1973, sous presse).

R.-N. THOMAS, *A scheme of stellar atmospheric regions. II. Properties and significance of mass flux* (*Astr. Astrophys.*, 1973, **29**, p. 297).

— *The Wolf-Rayet stars. The general problems of extended atmospheres and non-classical atmospheric models* (*IAU Symposium 49*, 1973, Eds. M.K.V. Bappu and J. Sahade, Reidel, Dordrecht, p. 3).

#### NOMINATIONS, DISTINCTIONS

Le professeur est, depuis août 1973, président de la Commission 5 (Documentation) de l'Union Astronomique internationale et, depuis mars 1974, président du Comité des Sciences exactes et naturelles de la Commission nationale française pour l'Unesco.

Le prix Jean Perrin de popularisation de la science, attribué par la Société française de Physique, a été décerné à M. Pecker, en mars 1974.

Le professeur a été nommé Commandeur dans l'ordre des Palmes Académiques (juillet 1973).

#### CONGRÈS, COLLOQUES, MISSIONS

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

Meeting ESRO, *Large space telescopes*, Frascati, janvier 1973 (M<sup>me</sup> PRADERIE).

Colloque OSO-I, Paris, mars 1973 (M<sup>lle</sup> DUMONT, M. PECKER, M<sup>me</sup> PRADERIE).

Assemblée générale du COSPAR, Constance, juin 1973 (M<sup>mes</sup> GROS et PRADERIE).

Ecole d'été, Les Houches, juillet 1973 : *Dynamique des fluides* (M. KRİKORIAN, M<sup>me</sup> PRADERIE, M. SIMONNEAU).

15<sup>e</sup> Assemblée générale de l'Union Astronomique internationale, Sydney, août 1973 (MM. PECKER et THOMAS).

Symposium UAI 56, *La structure fine de la chromosphère*, Surfers Paradise, Australie, septembre 1973 (MM. PECKER et THOMAS).

15<sup>e</sup> Assemblée générale extraordinaire de l'Union Astronomique internationale et Symposiums associés, Pologne, septembre 1973 (M<sup>mes</sup> GROS et PRADERIE, MM. SIMONNEAU et THOMAS).

Symposium sur les *instabilités hydrodynamiques et les processus de dissipation*, Bruxelles, octobre 1973 (M. THOMAS).

Colloque Aerall / Pégase, Paris, novembre 1973 (M<sup>lle</sup> DUMONT, M<sup>me</sup> HEIDMANN, M. PECKER, M<sup>me</sup> PRADERIE).

Réunion de prospective du Groupe spécialisé *Etoiles*, La Colle-sur-Loup, avril 1974 (M<sup>lle</sup> DUMONT).

Franco-British Centenary Conference (Astrophysics), organisé par la Société française de Physique et la Physical Society of London, Jersey, avril 1974 (M<sup>lle</sup> DUMONT, M. FREIRE, M<sup>me</sup> PRADERIE).

*Mission* : M. KRİKORIAN a effectué une mission d'observation au télescope de 2,20 m de Mauna Kea, Hawaii, en mai 1974.