

Astrophysique théorique

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

COURS

ÉVOLUTION DES GALAXIES

Introduction

1. La littérature concernant l'évolution des galaxies et, singulièrement, de notre Galaxie, est plus abondante que véritablement satisfaisante.

On constate d'emblée *deux types* d'attitudes, dans une large mesure contradictoires : celle des tenants, surtout dans les pays « occidentaux », de la théorie de l'univers en expansion après l'explosion initiale dite du « big bang », et celle de l'Ecole de Bjurakhan, U.R.S.S.

Les uns partent d'un milieu initial chaud et dense en voie de dilution et de refroidissement ; des fragmentations, dans l'état dilué, conduisent à des condensations (protoamas de galaxies, protogalaxies) et à des fragmentations secondaires (jusqu'au stade protoamas stellaires, protoétoiles), l'autogravitation jouant un rôle essentiel.

Les autres partent d'un milieu primordial hyperdense, qui éclate en morceaux hyperdenses, qui eux-mêmes éclatent..., le processus continuant ainsi, le phénomène des expansions locales prolongeant l'expansion initiale du big bang. La condensation autogravitationnelle ne joue plus de rôle.

Mais que d'autres genèses concevables (à partir de gaz froids, etc.) ! Les conditions initiales sont quasiment arbitraires...

2. A vrai dire, que de *notions ambiguës* au point de départ de ces théories ! La notion même de galaxie est ambiguë. S'agit-il d'un système fermé, une fois formé ? S'agit-il d'un système ouvert ? Quel rôle jouent, dans les phases initiales de l'évolution, les phénomènes d'accrétion (la masse initiale

est alors inférieure à celle de la galaxie évoluée), de pertes de masse (masse initiale supérieure à celle de la galaxie) ?..

Pourquoi choisir une température initiale proche de 10^4 K, par exemple ? Cette valeur est issue de considérations d'équilibre entre l'énergie gravitationnelle libérée en énergie thermique et l'énergie rayonnée, dans des hypothèses assez bien définies de composition chimique. Mais ces hypothèses sont-elles correctes ? Et peut-on partir ainsi d'une situation d'évolution initiale en quasi-équilibre ?

Les étoiles se forment-elles avant la formation des protogalaxies, ou après ? Les hypothèses différentes sont traitées, et conduisent à des archétypes intéressants d'évolution galactique. Mais comment choisir ?

En fait, faute de savoir lever les incertitudes, la plupart des auteurs, *tout en conservant implicitement un point de vue a priori sur l'évolution de l'univers*, partent de propriétés observées des galaxies ; cela les conduit à des choix (fonction initiale de masse ou IMF, taux de formation stellaire ou RSF) qui, sans être arbitraires, risquent fort d'être limités, et de ne définir que les conditions après une période initiale, résultant même de l'évolution rapide, pendant cette période initiale, de protogalaxies sur lesquelles il est fort difficile de savoir quoi que ce soit. Même avec cette restriction d'ailleurs, IMF ou RSF sont le plus souvent donnés par des expressions paramétrisées de valeur uniquement dimensionnelle.

Les théories que nous passerons d'abord en revue ont donc en fait admis implicitement bien des choses. Les auteurs ont certes utilisé des propriétés observées des galaxies ; mais ils ont aussi situé l'évolution galactique dans le cadre très étroit de leurs conceptions cosmologiques. Ainsi ont-ils admis un âge maximum de 10 à 20 milliards d'années pour les galaxies. Que les galaxies évoluent est une évidence (les étoiles qui les constituent évoluent) ; mais dans quel sens l'évolution lie-t-elle entre elles les galaxies de type différent ? Ce n'est pas très évident ! Nous avons peu de bases expérimentales ; les galaxies que l'on voit se modifier en quelques années sont de très rares exceptions (certaines radiosources, certains objets compacts).

Y aurait-il absurdité à sortir des concepts traditionnels ? A concevoir des galaxies d'âge très élevé, beaucoup plus grand que 10^{10} ou 10^{11} ans ? Ne peut-on concevoir aussi les galaxies comme participant d'une évolution lente, impliquant une stabilité statistique et des fluctuations locales ? De telles idées peuvent être comparées à ce qui se passe pour une hiérarchie tourbillonnaire ; la durée de vie caractéristique des structures turbulentes est proportionnelle à une certaine puissance positive de leur dimension : les amas de galaxies et les superamas ont peut-être des durées de vie et des âges bien plus grands que celles des galaxies ? Celles-ci auraient

peut-être des âges beaucoup plus grands que ceux des amas stellaires, et alors elles seraient très peu affectées par l'évolution stellaire mise en évidence par l'étude de ces derniers.

3. La clef sera une *étude empirique réelle*. Bien qu'*a priori* en effet l'évolution des galaxies soit un phénomène certain, mais d'échelle très incertaine, et dans la mesure où nous ne disposons d'aucune théorie physique liant entre elles par un phénomène évolutif différentes galaxies connues, considérées comme représentatives d'une seule galaxie à différents instants, nous pouvons faire l'hypothèse (heuristique, et pas plus !) de la signification évolutive des observations de galaxies diverses.

L'étude empirique laissera cependant certains points dans le vague. Ainsi pourra-t-on définir l'état « initial » de l'évolution ? Qu'est-ce qu'une proto-galaxie ? En connaissons-nous ? Nous n'avons guère d'idée non plus sur un état « final » : les galaxies connues sont riches d'objets à longue espérance de vie ; si ce n'était pas le cas, elles seraient pratiquement inobservables !

Nous n'avons sur l'âge des galaxies connues que des idées vagues. Les valeurs limites supérieures ($2 \cdot 10^{10}$ ans, soit $6 \cdot 10^{17}$ secondes) admettent l'idée du « big bang » et un univers d'âge H^{-1} . Mais du xvii^e siècle à nos jours, l'âge de l'univers est passé de 6000 ans à $2 \cdot 10^{10}$ ans, et augmente, *grosso modo* (voir de Vaucouleurs, 1970), suivant la loi : âge = $k \exp(t)$. Notre valeur de H^{-1} augmente ; et par ailleurs les valeurs limites *inférieures* trouvées (âges d'objets bien définis de notre Galaxie, principalement amas globulaires) supposent que les étoiles se sont formées après la formation de la galaxie ; et elles augmentent... Ce sont des hypothèses de travail. Rien de plus.

On peut renverser ces idées et penser à d'autres théories que les deux théories types évoquées ci-dessus, et qui ont en commun d'admettre le big bang : âge des galaxies élevés ; formation des étoiles avant celle des galaxies ; recyclage permanent étoile - milieu interstellaire - étoile ; accrétions et éjections de matière affectant notablement la galaxie, système ouvert : celle-ci pourrait évoluer localement assez vite, mais serait peut-être, statistiquement, presque stable. Cela, c'est évident, n'est ni prouvé — ni absurde.

4. Quoi qu'il en soit, certaines observations ont peut-être un « sens évolutif ». Nous essaierons de les passer en revue dans les dernières leçons. Mais nous ne pourrions être sûrs, chaque fois, que les phénomènes évoqués ont réellement une telle signification. Nous procéderons comme on pourrait le faire pour exposer l'évolution des étoiles. Notre philosophie de l'étude des galaxies sera donc claire. Les étoiles sont des condensations, comme les galaxies, au sein d'une condensation d'un autre ordre. L'évolution des galaxies, comme celle des étoiles, est commandée par l'interaction entre

régions denses et régions non-denses, où les conditions physiques diffèrent profondément. A la limite, notre conception de la cosmologie s'appuiera (dans la mesure où nous serons capables de les maîtriser) sur ces concepts. La cosmologie usuelle est homogène et isotrope. Au contraire, nous considérerons les *écarts* à cette homogénéité comme les phénomènes essentiels sur lesquels fonder une théorie unitaire de l'univers (c'est-à-dire une cosmologie).

Les « évidences évolutives » nous guideront vers des problèmes archétypaux, non nécessairement réalistes.

L'enchaînement est donc clair, mais il est évident que nous n'en pourrions camoufler les hésitations, les ambiguïtés, ni nous abriter derrière certaines idées *a priori*. Les hérésies, dont le rôle heuristique est toujours grand, ne seront naturellement pas laissées de côté !

BIBLIOGRAPHIE

V. A. AMBARTSUMIAN, *Problèmes de cosmogonie contemporaine*. Ed. MIR, Moscou, 1971.

J. AUDOUZE, B. M. TINSLEY, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 14, p. 43, 1976.

J. H. JEANS, *Astronomy and cosmogony*. Cambridge Univ. Press, 1929.

B. LINDBLAD, dans *Handbuch der Physik*, Bd LIII, p. 21, 1959.

J. H. OORT, dans *Stars and stellar systems. V. Galactic structure*. Eds A. Blaauw et M. Schmidt. Univ. Chicago Press, 1965, p. 455.

Symposium UAI n° 58, *The formation and dynamics of galaxies*. Ed. J. R. Shakeshaft. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1974.

G. DE VAUCOULEURS, *Science* 167, p. 1203, 1970.

I. L'UNIVERS OBSERVABLE ACTUEL EST HIÉRARCHISÉ

1. Cet univers est *hiérarchisé*. La littérature met en évidence ce fait, introduit en 1907, puis en 1922 de façon alors conjecturale, par Fournier d'Albe et Charlier pour résoudre le problème d'Olbers. La mathématique des objets fractals (Mandelbrot) donne un langage à la description de cet univers. Les éléments de la hiérarchie sont les suivants — où Φ est le « coefficient Q/Q_M de remplissage », ou $R_M = 2G\mathcal{M}/c^2$ (sphère de Schwarzschild) et où $Q_M = 3c^2/8 \pi_M GR^2$:

<i>Objet</i>	$\log \rho$ (gr)	$\log R$ (cm)	$\log \rho$ (g cm ⁻³)	$\log \Phi$
Etoile à neutron	32.5-33.2	6-7	9.6-14.8	-2.5 à -0.6
Naine blanche	33	9	4 à 5	-3 à -5
Etoile de type solaire	32-35	10-12	1.8 à -2	-5 à -6
Supergéante	34.5	13	-6	-6.5
Protoétoile	35 ?	16 ?	-14 ?	-9 ?
—	—	—	—	—
Galaxie naine compacte	42	20.5	-20	-6
Galaxie spirale normale	43.5	22	-22	-6
Galaxie elliptique géante	45	22	-22.3	-5
—	—	—	—	—
Groupe compact (Stephan)	45.5	22.6	-23.1	-5
Petit groupe (Sculptor)	46.2	24.1	-26.7	-6
Groupe dense (Fornax I)	46.5	23.7	-25.2	-5
Amas de galaxies	47-48	24.5	-26.3	-5
—	—	—	—	—
Superamas local	49	25.5	-28.4	-5
—	—	—	—	—
Univers observable				
Hubble, Mayall, Sandage			-29.6	
Lick			-30.5	

La loi $\log : \rho \sim 21.7 - 1.7 (\log R - 21.7)$ semble correcte dans l'ensemble du tableau (de Vaucouleurs). Y aurait-il des condensations d'ordre supérieur ? Un « super-superamas » pourrait avoir $R \sim 300 \text{ Mpc}$ ($\log R \sim 26.5$), mais ceci reste conjectural.

Ces objets constituent-ils un ensemble continu, ou un ensemble en quelque sorte quantifié d'objets groupés autour de valeurs privilégiées des paramètres de la fragmentation (ou de l'agglutination ?). Une chose est sûre : cette hiérarchie-là montre que l'univers observé est compatible avec les univers théoriques de Charlier, dans la mesure où la pente 1.7 est supérieure à 1.5.

2. La dimension \mathcal{D} des objets *fractals* peut être introduite pour situer la distribution des masses décrites par le tableau précédent.

Dans un volume V de rayon R , la densité moyenne $\langle \rho \rangle$ est $\mathcal{M}(R)/V(R)$ et $V(R) = (4\pi/3)R^3$. S'il n'y a pas de hiérarchie $\langle \rho \rangle = \rho_0$, alors $\mathcal{M} \propto R^3$; cet « univers réel » est tridimensionnel : $\mathcal{D} = 3$. On a vu que selon de Vaucouleurs, au contraire, $\langle \rho \rangle \propto R^{-1.7}$ et que \mathcal{M} est donc proportionnel à $R^{1.3}$; on a $\mathcal{D} = 1.3$ — dimension de l'univers hiérarchisé observé.

La cosmologie hiérarchisée de Lambert-Charlier admettait $\mathcal{D} \leq 1.5$. Fournier d'Albe admet que chaque fragment est $1/N$ la masse du fragment d'ordre supérieur, et que la condensation réduit de K le rayon de chaque fragment vers un équilibre, auquel $K = N$; on voit bien que $\log \mathcal{M}(R) = (\log N / \log K) \log R$ et que $\mathcal{D} = \log N / \log K$ ici égal à $\mathcal{D} = 1$, ce qui satisfait au critère de Charlier, c'est-à-dire que le paradoxe d'Olbers est aussi résolu *ipso facto*. On se reportera à la littérature pour plus de détails.

Une difficulté n'a pas été notée par de Vaucouleurs. Objet par objet, on peut aussi définir \mathcal{D} . Or, pour un amas comme Virgo ou Coma, on trouve $\mathcal{D} \geq 1.5$ (respectivement $\mathcal{D} = 1.7$ et $\mathcal{D} = 4.2$). Ceci est sans doute dû à ce que la fragmentation (qui augmente \mathcal{D}) continue à se produire en même temps que la condensation, augmentant le nombre N de fragments, *avant* leur condensation en un état « d'équilibre » ; mais ceci n'est guère physique, et l'on peut montrer aussi que, dans la construction de Fournier d'Albe, \mathcal{D} est nécessairement $< \sqrt{3}$, ce qui est plus petit que 4.2 !

Une autre difficulté de ces théories, c'est que, pour Fournier d'Albe par exemple, le coefficient de contraction après fragmentation est pris égal à $1/7$, ce qui n'est guère réaliste.

On notera une remarque intéressante de Fournier d'Albe. Pour lui, la vitesse d'impact d'une « étoile » venue de l'infini avec la « galaxie » est

$v = (2G\mathcal{M}/R)^{1/2}$; or cette vitesse, si l'on admet qu'elle est la même pour les éléments d'ordre n de la hiérarchie entraîne $\mathcal{M} \propto R$ et $\mathcal{D} = 1$. Ceci est suggéré par le fait qu'aucune vitesse observable n'excède $c/300\dots$ au moins dans le monde où l'on est sûr de ce que l'on mesure... La valeur $c/300 \sim v$ correspond à $v^2/c^2 \sim 10^{-5}$ et ceci justifie les coefficients Φ du tableau ci-dessus (de l'ordre de -5), puisque le trou noir ($R = R_M$) correspond à des vitesses de chute égale, de l'infini, à celle de la lumière.

3. Inspiré par ces travaux, Mandelbrot fournit un « *principe cosmographique conditionnel* » : La distribution de la matière suit les mêmes lois statistiques quels que soient les systèmes de référence choisis, à condition que l'origine des coordonnées soit un point matériel ». Une sphère quelconque, sans cette condition, serait presque toujours vide. En réalité $\mathcal{M}(R)$ est une fonction indépendante du système de référence. Cette idée pourrait être la base d'une théorie cosmologique. Mais la hiérarchie existant, peut-on la comprendre physiquement ? Peut-on expliquer le jeu des fragmentations et des condensations décrites par Fournier d'Albe et Mandelbrot ?

BIBLIOGRAPHIE

C. V. L. CHARLIER, *Arkiv Math., Astron., Fys.*, 16, n° 22, 1922.

FOURNIER-D'ALBE, *Two new worlds*, Longmans Greens, London, 1902.

J. H. LAMBERT, *Cosmologische Briefe*, Augsburg, 1761.

B. B. MANDELBROT, *Fractals, form, chance, and dimension*, Freeman, San Francisco, 1971. *Les objets fractals : forme, hasard et dimension*, Flammarion, Paris, 1975.

W. OLBERS, *Bode's Jahrbuch*, Berlin, 1826, p. 110.

II. LE JEU INITIAL DES CONDENSATIONS ET DES FRAGMENTATIONS

1. Le critère de Jeans rejoint le critère de Fournier. Au « bord » d'une condensation, le potentiel $G\mathcal{M}/R$ est égalé à $v^2/2$ par Fournier d'Albe, à kT par Jeans, ce qui assimile la vitesse de chute de l'infini à la vitesse thermique des particules locales.

Si la masse est supérieure à ce qu'imagine le critère de Jeans, une contraction a lieu, et une *fragmentation* (« curdling » selon Hoyle) et des états

successifs d'équilibre sont évalués. L'intéressant est l'augmentation de l'opacité, après un certain nombre de fragmentations, des fragments formés dont la température résulte alors d'un effet thermostatique dû à l'équilibre entre pertes radiatives et gains d'énergie gravitationnelle.

Tous ces travaux reposent, en définitive, sur l'utilisation, plus ou moins critique, et plus ou moins bien adaptée, du critère de Jeans. Nous renvoyons à la littérature pour sa description critique. L'*instabilité gravitationnelle* est calculée en estimant les chances qu'une perturbation sinusoïdale donnée s'amortisse ou s'amplifie. La masse de fragmentation est

$$\mathcal{M} \geq \mathcal{M}_J \sim \pi^{3/2} c_s^3 G^{-3/2} \rho^{-1/2}$$

où G est la constante de l'attraction universelle, et c_s ($\sim T^{1/2}$) la vitesse du son. Toute masse assez grande se fragmente ; la dimension λ_J (dimension critique de Jeans, correspondant à \mathcal{M}_J et à ρ) croît avec $\langle \rho \rangle$, et avec R , à T constant. Les relations $T(\rho)$ et $T(\mathcal{M})$ seront donc essentielles pour savoir comment λ_J évolue. Si $T = \text{cste}$, on a $R \propto \mathcal{M}^{1/2}$ (univers fragmenté de dimension \mathcal{D}) ; l'hypothèse isotherme est à éliminer ; et tout ce qui fera évoluer T rapidement est essentiel.

Si la masse de la condensation considérée est voisine de \mathcal{M}_J , alors on montre que la rupture en sera difficile. C'est seulement loin de l'équilibre, par des processus instables (expansions ou condensations brutales), qu'une fragmentation pourra se produire. L'important est de savoir évaluer et comparer les temps caractéristiques de condensation et de refroidissement.

2. *La condensation d'une masse de matière, considérée donc par Jeans si \mathcal{M} est voisin de \mathcal{M}_J , aura-t-elle réellement lieu ?*

Ambartsumian nie l'importance de ce phénomène. Cependant certains observateurs ont noté des phénomènes de contraction (échelles stellaire et galactique) ; guidés, seulement, par une intuition raisonnable, nous pensons que si une masse de matière ne contient pas de source d'énergie, elle doit atteindre une densité élevée par rapport aux densités observées des nuages protostellaires (globules de Bok) et protogalactiques (*a fortiori*).

Eggen *et al.* (1962) discutent ce problème en détail, et leur article est souvent cité. Mais les « évidences » sur lesquelles ces auteurs s'appuient sont parfois la conséquence implicite d'hypothèses gratuites non justifiées.

L'analyse des champs de vitesse des étoiles de la galaxie suppose que les étoiles, au cours de la contraction, ont seules été les véhicules des transferts de moment cinétique, et que la conservation en est effective dans chaque anneau d'étoiles autour du centre galactique. La protogalaxie peut être découpée en anneaux ayant le même moment angulaire par gramme que les anneaux correspondants de la galaxie actuelle. L'excentricité de l'orbite

et son énergie sont supposées celles de l'étoile à sa formation, si la concentration de la galaxie change en un temps assez long par rapport à la période de rotation.

Les observations suggèrent alors que tous les objets récents (âge $< 10^9$ ans) ont été formés à moins de 400 pc du centre, les plus anciens jusqu'à 10 000 pc, et que donc la matière galactique a dû *se condenser* de 10 000 à 400 pc en peu de temps (quelque 10^8 ans), ce qui appuie l'idée de la condensation par une observation réelle.

L'idée que les propriétés cinématiques des étoiles donnent une bonne notion des conditions dynamiques au moment de la formation est sûrement juste et féconde ; mais Eggen *et al.* ont eu certainement tort de négliger les interactions avec le gaz, et aussi le fait que la galaxie actuelle ne représente sûrement pas un état d'équilibre — et ne doit pas être supposée le faire.

3. Nous avons mentionné le travail essentiel de Hoyle (1953). Il nous semble pouvoir être une base de la réflexion à venir, plus quantitative, et peut-être mieux appuyée sur l'observation qu'il n'était possible en 1953.

Ce travail insiste sur la *thermostatisation* des masses en contraction. L'évaluation précise des gains et pertes d'énergie commande l'évolution de la température ; la faiblesse essentielle du calcul est son insertion (par le choix des conditions initiales ρ_0, T_0) dans le contexte du « big bang ». Au cours de l'effondrement, une partie $\Delta \varphi$ de l'énergie gravitationnelle se transforme en énergie thermique ΔE_{th} dont une partie est rayonnée ΔE_{ray} . L'ionisation de l'hydrogène, en absorbant de l'énergie, en modifiant le rayonnement, crée un système qui selon la valeur de la température est stable. Vers 7-8 000 °K et vers 15-25 000 °K, on a deux valeurs d'équilibre, calculées aisément dans la mesure où E_{th} et E_{ray} sont des fonctions connues de la température et de la densité, et peut-être une vers $3 \cdot 10^5$ °K. On notera une autre faiblesse du calcul : le fait que l'énergie gravitationnelle se libère de façon irrégulière et non homogène ; cette faiblesse est corrigée dans les modèles modernes.

Hoyle part donc de $\rho_0 = 2 \cdot 10^{-28}$, T_0 étant peu élevé. On monte rapidement à 15 000° où le système se stabilise après un temps de l'ordre de 10^{17} sec. Mais ceci n'est pas possible pour une masse quelconque ; l'application par Hoyle du théorème du viriel, qui exprime la contraction, lui permet d'écrire $G M / R > 5 R T$, soit $M > M_J$ (condition de Jeans-Hoyle, pour gaz à moitié ionisé). On peut écrire $M_J = k T^{3/2} \rho^{-1/2}$, ce qui permet de tracer des courbes iso- M_J dans le diagramme T, ρ . Si l'on part, pour une masse $M \simeq M_J$ d'un point situé au-dessus de la courbe correspondante, alors la contraction iso- M a lieu au début, cependant que T diminue et que ρ augmente. En suivant cette contraction, en évaluant les taux de réduction des

énergies thermiques et gravitationnelles, on peut décrire l'évolution, pas par pas ; et Hoyle imagine des réductions d'un facteur 1/2 suivies de stabilisations fictives permettant de faire le calcul. La traversée de la courbe iso- \mathcal{M}_J du diagramme T, ρ , conduit à la nécessité d'évacuer de l'énergie pour utiliser le caractère thermostatique du système, et on peut le faire de deux façons : (a) réexpansion ; (b) fragmentation, qui ramène le problème à celui de l'évolution de masses inférieures à \mathcal{M}_J .

Le processus physique de condensation entraîne donc presque nécessairement une fragmentation par étapes, et une température qui se fixe pour chaque fragment autour de 10^4 K. Le technique de Hoyle détermine un peu arbitrairement la dimension de la hiérarchie à $\mathcal{D} = 1$ à 1.3 (3 à 5 fragments d'une masse réduite de 5 en dimensions linéaires).

Une remarque essentielle est que la première condensation prend la majeure partie du temps, les autres étant très rapides — de plus en plus rapides.

Ce qui stoppe le processus hiérarchisant, c'est la *montée de l'opacité*. On passe alors, en gros, d'un système isotherme à un système adiabatique.

Rees (1976) reprend ce problème et discute des conditions de la fragmentation, et de ses relations avec les processus de refroidissement par rayonnement. Il donne des raisons valables pour que la masse finale des fragments soit d'ordre stellaire.

4. La description de Hoyle n'est pas évidemment la seule possible pour la fragmentation. Ainsi Larson (1973) imagine-t-il une *fragmentation stochastique* qui lui permet, partant toujours de la masse de Jeans, et tenant compte du moment angulaire des fragments, d'aboutir à une distribution des masses des fragments et, par un choix judicieux des paramètres ($n = 2$: nombre de fragments par fragmentation ; $\mathcal{M}_0 = \mathcal{M}_\odot$: masse initiale, celle d'un nuage comme Orion ou le sac à charbon ; $N = 19$: nombre de fragmentations) permet à cette distribution calculée de coïncider avec la fonction de distribution des masses observées pour les étoiles. Une telle fonction peut-elle être utilisée comme IMF ? C'est peut-être mieux que les lois en puissance utilisées généralement.

5. Larson fait remarquer le rôle de la *rotation*. En fait (Mestel, 1974), la rotation et le *champ magnétique* modifient profondément la limite de Jeans.

Plus réaliste encore serait la prise en compte de toutes les forces s'opposant à l'autogravitation, et notamment l'existence d'une pression turbulente.

Une difficulté est évidemment qu'au cours de l'évolution, les différents phénomènes l'emportent successivement, et que la masse corrigée de Jeans évolue de façon complexe avec tous les paramètres, compte tenu des divers

théorèmes de conservation (moment angulaire de rotation, énergie, etc.). Mestel montre aussi l'intérêt de tenir compte du paramètre essentiel qu'est l'angle entre l'axe magnétique et l'axe de rotation.

BIBLIOGRAPHIE

O. J. EGGEN, D. LYNDEN-BELL, A. R. SANDAGE, *Astrophys. J.* 136, p. 748, 1962.

F. HOYLE, *Astrophys. J.* 118, p. 513, 1953.

J. H. JEANS, *Phil. Trans.* 199, p. 1, 1902.

R. B. LARSON, *Mon. Not. R. astron. Soc.* 161, p. 133, 1973.

L. MESTEL, *Mem. Soc. astron. Italiana* 45, p. 397, 1974.

M. J. REES, *Mon. Not. R. astron. Soc.* 176, p. 483, 1976.

III. - L'ÉVOLUTION DES CONFIGURATIONS OPAQUES

Le processus de fragmentation-condensation aboutit à des masses opaques, et la fragmentation cesse, l'élimination de l'énergie rayonnante devenant beaucoup plus lente. Dans le diagramme T, ρ , on peut tracer les courbes où l'opacité atteint la valeur $\tau = 1$. Au-dessous de ces courbes se produit l'évolution décrite ci-dessus. Puis on trace les courbes, et la densité reste presque constante, alors que la température s'accroît brutalement. La nature des absorbants (H, électrons, O, C, grains de poussières de diverses dimensions) influe beaucoup sur le résultat, aussi bien par le taux de rayonnement que par l'opacité.

Ce genre de considérations justifie le calcul de l'évolution de masses d'ordre galactique sans fragmentations ultérieures. Larson (1969, 1974), Larson et Tinsley (1974) ont présenté une telle modélisation, pour des modèles de galaxies sphériques, ellipsoïdales, plus ou moins aplaties, en traitant étoiles et gaz comme des fluides indépendants, en admettant IMF et RSF inspirés des galaxies actuellement observées. Ces modèles très élaborés (pour lesquels nous renverrons à la littérature) décrivent assez bien, au prix d'ajustements de quelques paramètres, la distribution de l'énergie sur la surface apparente de galaxies observées. Malgré (ou à cause de ?) leur caractère numériquement très élaboré, nous resterons sur une certaine réserve, justifiée par les arguments suivants : (a) la perte de masse des étoiles, et la perte de masse de la galaxie sont traitées de façon bien trop schématique ;

(b) les taux de dissipation divers sont calculés non pas de façon physique, mais à partir de considérations purement dimensionnelles ; (c) traitement global et non détaillé de la libération d'énergie gravitationnelle ; (d) on a, en utilisant une IMF empirique, négligé les « premières générations » stellaires dont aucune trace fossile ne reste avec une individualité reconnaissable, et qui échappent sans doute aux considérations de Larson et Starrfield sur la masse maximum stellaire.

Les travaux restent néanmoins intéressants, mais il nous semble actuellement bien difficile de construire des modèles évolutifs convaincants. Trop de paramètres restent libres ! Au moins l'influence de certains d'entre eux est éclairée par ces travaux. On notera que ces modèles expliquent la variation de l'abondance des éléments lourds dans la Galaxie, avec la distance au centre, ainsi que l'évolution du rapport de la masse gazeuse à la masse stellaire.

BIBLIOGRAPHIE

- R. B. LARSON, *Mon. Not. R. astron. Soc.* 145, p. 271 et 405, 1969.
— *Mon. Not. R. astron. Soc.* 166, p. 585, 1974.
R. B. LARSON, S. STARRFIELD, *Astron. Astrophys.* 13, p. 190, 1971.
R. B. LARSON, B. M. TINSLEY, *Astrophys. J.* 192, p. 293, 1974.

IV. - FORMATION STELLAIRE ET ÉVOLUTION DYNAMIQUE

Larson, ou Gott, attachent une grande importance à la solution exacte des équations hydrodynamiques qui évitent de traiter le problème comme une série d'états d'équilibre. Il est certain que le traitement exact en est nécessaire, mais à condition de traiter correctement les phénomènes de dissipation. Un point essentiel est : des étoiles commencent-elles à se former avant le début de l'effondrement galactique rapide, ou non ?

Selon Rees (1976), c'est bien le cas. Et on a des étoiles, formées avant même que les galaxies aient pris leur individualité : c'est la « population III » ; les populations II et I bien connues se forment ensuite, pendant l'effondrement. Pour Gott, au contraire, même la population I est formée avant l'effondrement dynamique des groupes d'étoiles : cette dernière description convient sans doute mieux aux spirales, celle de Rees aux elliptiques.

On a souligné le rôle essentiel, dans ces théories dynamiques élaborées, de l'IMF et du RSF. Freeman insiste à juste titre sur l'« OMF », fonction

de masse observée, qui ne permet de remonter à l'IMF qu'à certaines conditions.

Ces problèmes sont discutés par Taff, Salpeter et bien d'autres, et restent les problèmes-clefs, non résolus à notre avis, de l'évolution galactique.

BIBLIOGRAPHIE

The evolution of galaxies and stellar populations. Ed. by B. M. Tinsley and R. B. Larson, Yale Univ. Obs., 1977 (R. B. Larson, p. 97 ; K. C. Freeman, p. 133 ; M. J. Rees, p. 339).

J. R. GOTT, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, t. 15, p. 235, 1977.

M. J. REES, *Mon. Not. R. astron. Soc.*, t. 176, p. 483, 1976.

E. E. SALPETER, *Astrophys. J.*, t. 121, p. 161, 1955.

L. G. TAFF, M. P. SAVEDOFF, *Mon. Not. R. astron. Soc.*, t. 160, p. 89, 1972.

V. - GALAXIES ET RADIOSOURCES DOUBLES

La radioastronomie millimétrique permet de mettre en évidence des objets nombreux qui sont des radiosources doubles, qui apparaissent comme éjectées, symétriquement, par une galaxie dont la morphologie optique révèle qu'elle est souvent active. Par exemple, le catalogue de Jenkins cite 104 objets remarquables, dont 3C 42, 3C 234, 3C 55, etc. qui tous imposent l'idée d'une récente éjection de matière par le centre des galaxies actives. Ces radiosources sont des sources « synchrotron » : on en voit donc la partie ionisée. Quel peut être le mécanisme de cette éjection ? Là réside, nous semble-t-il, un aspect fondamental des jeunes galaxies.

Dans les schémas évolutifs décrits ci-dessus, l'apparition de l'opacité — l'apparition de rayonnement stellaire — est rapide. Pendant une phase rapide, le centre de la configuration devient donc tout à la fois région H II, source de rayonnement UV, source aussi d'ondes de choc.

Dans un premier travail (Pecker, 1972), nous avons montré un mécanisme d'éjection possible où la pression du rayonnement UV est assez forte pour contrebalancer la gravitation. Comme l'hydrogène est expulsé par le rayonnement à $1\,216\text{ \AA}$ et les atomes lourds par le rayonnement à $3\,000\text{ \AA}$, la galaxie chaude expulse d'abord violemment l'hydrogène pur : cette action peut s'accompagner d'un enrichissement relatif du disque en éléments lourds

— ce qu'on observe. Les régions H II associées à ces sources ont une forme allongée dans la direction des pôles, et le rayonnement ionisant peut, suivant le choix des paramètres, s'en échapper et ioniser l'hydrogène éjecté (Pecker, 1978). Qu'arrive-t-il à l'hélium ? Le problème dépend de la solution exacte du problème de transfert à la limite d'une région H II riche en hélium ; nous travaillons à la solution fort complexe de cette question.

Notre mécanisme favorise l'éjection polaire, qui semble toutefois n'être pas la règle. Il convient à ce stade de discuter soigneusement les effets de la diffusion, en tenant compte de la friction, ceux de l'opacité, ceux aussi des ondes de choc associées avec la formation et l'expansion des zones H II. Pour le moment, le mécanisme proposé n'est guère plus qu'une hypothèse de travail. Nous envisageons de la développer, et de la soumettre aux tests stricts des observations.

BIBLIOGRAPHIE

C. J. JENKINS, G. G. POOLEY, J. M. RILEY, *Mem. R. astron. Soc.* 84, p. 45, 1977.

J.-C. PECKER, *Astron. Astrophys.* 18, p. 253, 1972.

J.-C. PECKER, dans *Astronomical papers dedicated to Bengt Strömgren*. Eds : A. Reiz and T. Andersen. Copenhagen Univ. Obs. Publ., p. 285, 1978.

J.-C. P.

SÉMINAIRES ET CONFÉRENCES

Les séminaires ont eu lieu du 11 octobre au 6 décembre 1977, sur le thème :
Dynamique des galaxies.

Théorie de la structure spirale et physique de la génération de l'onde (E. ATHANASSOULA) ;

Simulation numérique de l'effondrement, et de la formation de la structure spirale (A. HAYLI) ;

Le problème du moment angulaire des galaxies (J. COLIN) ;

La théorie des orbites dans les galaxies (L. MARTINET) ;

Solutions de l'équation de Boltzmann gravitationnelle. Application à la condensation des galaxies (M. FEIX) ;

Aplatissement des protogalaxies par un processus de collision inélastique entre protonuages (A. BRAHIC) ;

The motion of stars and gas in spiral galaxies (R. WIELEN) ;

Les vents galactiques (A. MANGENEY) ;

Prospectives et conclusions (I. KING).

Dans le cadre de ces séminaires, M. J. OXENIUS, chercheur Euratom, Université libre de Bruxelles, a présenté le 13 décembre 1977, au cours d'un séminaire exceptionnel, de nouveaux résultats concernant le *Transfert radiatif hors ETL avec diffusion d'atomes excités*.

D'autre part, des personnalités étrangères, invitées par le Collège de France, ont donné, dans le cadre de la Chaire d'Astrophysique théorique, des séries de cours ou de conférences :

M. Peter VAN DE KAMP, directeur honoraire de l'Observatoire de Sproul, a fait deux conférences sur les sujets suivants : (1) Variations dans le temps de mouvements propres, vitesses radiales et parallaxes stellaires. (2) Etudes astromériques des binaires à éclipses à longue période W Cephei et Epsilon Aurigae, les 5 et 12 octobre 1977.

M. Irving E. SEGAL, professeur au Massachusetts Institute of Technology, a donné six leçons sur le sujet suivant : *Elementary particles, quantum field theory and cosmology* : (1) Physical time, space and energy as an implication of causality and symmetry ; (2) Physical fields as representation spaces of the causal group ; (3) The redshift and theoretical prediction of extragalactic astronomical observations ; (4) The algebraic apparatus of quantum field theory ; (5) General principles of quantization for partial differential equations ; (6) Symmetry breaking and the emergence of elementary particles, les 2, 8, 14 et 15 décembre 1977.

Le professeur John T. JEFFERIES, directeur de l'Institute for Astronomy, Hawaii, a donné une série de huit leçons, les 10, 17, 24 et 31 janvier 1978, sur le thème suivant : *Non-thermal radiation processes in astrophysics* : (1) Review of relevant electrodynamics ; (2) Radiation from an accelerated charge in a vacuum ; frequency and angular dependence ; (3) et (4) Bremsstrahlung ; (5) Electromagnetic waves in a plasma ; (6) Cyclotron and synchrotron radiation ; (7) Synchrotron radiation ; (8) Electron scattering of electromagnetic radiation.

M. Peter R. WILSON, professeur à l'Université de Sydney, a donné une série de dix leçons, les 7, 14, 21, 28 mars et 4 avril 1978, sur le thème : *Magnetic structures in stellar atmospheres* : I. Theory of structured magnetic fields. II. Solar structures and their relation to magnetic fields.

M. W. UNNO, professeur à l'Université de Tokyo, a fait une conférence sur le sujet suivant : *Generation of oscillations in solar envelope with and without magnetic field*, le 20 juin 1978.

COMPOSITION DU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE

(98 bis, boulevard Arago, 75014 Paris)

M^{lle} F. BEECKMANS (boursière E.S.A.) (jusqu'au 1^{er} février 1978); M^{me} J. BRUNEL (aide-comptable, Collège de France); M^{me} E. DÉCHARD (aide de laboratoire, Collège de France); M. S. DEPAQUIT (ingénieur 1 A, C.N.R.S.); M^{lle} G. DROUIN (documentaliste 3 A, C.N.R.S.); M^{lle} S. DUMONT (astronome-adjoint, Observatoire de Paris); M^{me} M. GROS (assistant, Observatoire de Paris); M^{me} N. HEIDMANN (astronome-adjoint, Observatoire de Paris); M. R. KRIKORIAN (maître-assistant, Collège de France); M. M. LOUCIF (boursier algérien, étudiant de D.E.A.); M. C. MAGNAN (sous-directeur du laboratoire, Collège de France); M. J. L. NIÉTO (assistant, Ecole Centrale), actuellement en mission, depuis février 1977, à l'Université du Texas; M. J.-C. PECKER (professeur, Collège de France); M^{me} PETIT-ALEXANDRE (aide-physicien, Collège de France); M^{lle} S. PERRET (secrétaire, Collège de France); M^{me} F. PRADERIE (astronome-adjoint, Observatoire de Paris) (jusqu'au 1^{er} février 1978); M. E. SIMONNEAU (attaché de recherche, C.N.R.S.); M^{me} M. STEINBERG (assistante de recherche 3 A, C.N.R.S.) (jusqu'au 1^{er} février 1978); M. R. N. THOMAS (maître de recherche, C.N.R.S.); M. J. ZOREC (boursier du Gouvernement français, Argentine). Quatre stagiaires de l'Ecole Polytechnique, M^{lle} LE GAL, MM. FRIÈS, LE GOFF, METZ, ont travaillé dans le laboratoire, pendant l'année universitaire 1977-1978, sous la direction de M. PECKER.

De plus, des personnalités étrangères ont effectué au Laboratoire d'Astrophysique théorique des séjours courts ou prolongés, ou répétés : M. J. HEKELA, de l'Observatoire d'Ondrejov, une semaine en 1977; M. C. JAMAR, de l'Institut d'Astrophysique de Liège, plusieurs courts séjours; M. G. MICHAUD, de l'Université de Montréal; M. P. VAN DE KAMP, Observatoire de Sproul, un mois en octobre 1977; M. J. T. JEFFERIES, Université de Hawaii, quatre mois, octobre 1977 - janvier 1978; M. P. R. WILSON, de l'Université de Sydney, trois mois, février-avril 1978; M^{lle} A. B. UNDERHILL, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, dont le séjour a débuté le 1^{er} mars 1977, doit le prolonger jusqu'au 15 février 1979.

Des chercheurs parisiens sont associés régulièrement au laboratoire, où ils disposent d'un bureau : M. R. BONNET (L.P.S.P., Verrières), M^{me} S. COLLIN-SOUFFRIN (Observatoire de Meudon); M. H. REEVES (C.E.A., Saclay).

Une coopération étroite se poursuit avec le groupe de M. J. P. VIGIER, maître de recherche (Institut Henri-Poincaré), notamment avec MM. T. JAAKOLA, H. KAROJI, G. LE DENMAT, P. MÉRAT, M. MOLÈS, L. NOTTALE et J. P. VIGIER.

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE DU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE
(Année 1977)

I. RECHERCHES SUR LE SOLEIL

Expérience « Facules » sur OSO-8 (S. DUMONT, J.-C. PECKER, en collaboration avec G. CHAPMAN, E. HIEI, Z. MOURADIAN).

Le programme « Facules, spectres », qui bénéficie de l'aide du C.N.R.S. par l'intermédiaire de la RCP 310 et du C.N.E.S. pour certaines opérations, a comporté dans les années précédentes, à côté de la préparation théorique, trois périodes d'observations, l'une en octobre 75 et les autres en janvier et avril - mai 76. L'année 1977 a été essentiellement une année consacrée au dépouillement des données.

Les facules sont des régions actives du Soleil où existe un fort champ magnétique couplé avec le transfert d'énergie des couches internes du Soleil vers l'extérieur, ce qui détermine un comportement différent des fonctions-sources et par conséquent des raies observées. Pour déterminer la variation des paramètres physiques de la photosphère à la couronne, nous avons observé des raies qui se forment à différents niveaux dans l'atmosphère et obtenu des héliogrammes pour chacun d'eux, dans la mesure du possible. Les observations au sol nous renseignent principalement sur la photosphère et la basse chromosphère et les observations par satellite OSO-8 nous apportent des informations sur la chromosphère et la zone de transition chromosphère-couronne.

Les observations au sol faites à l'observatoire de Sacramento Peak ont été étudiées avec nous par E. Hiei (Observatoire de Tokyo) invité à l'Observatoire de Meudon pendant 6 mois. Il s'agit d'observations simultanées dans différentes raies et continus. Il a commencé l'étude des raies H et K de Ca II, ce qui permettra une comparaison intéressante avec les observations des mêmes raies par satellite. Il continue actuellement ce travail à l'Observatoire de Tokyo. D'autre part les images en CN et K3 ont été dépouillées au CDCA à Nice. Les cartes du champ magnétique observé en octobre 75 par G. Chapman (Department of Physics and Astronomy, C.S.U.N., Northridge, U.S.A.) ont été dressées pour quelques facules. Toutes ces images, complétées par des observations par satellite, serviront de base à l'étude morphologique des facules dont G. Chapman a exposé le principe au « OSO-8 Workshop » de novembre 1977.

Les observations par satellite faites avec l'instrument LASP (Boulder, Colorado) portent sur la zone de transition chromosphère-couronne. Nous avons d'abord étudié les raies du doublet de résonance de C IV. Les premiers

résultats obtenus montrent que, dans les régions actives, ces raies ne sont pas optiquement minces et que les champs de vitesse semblent plus hétérogènes que dans les régions calmes (OSO-8 Workshop, novembre 1977).

Un premier examen de données provisoires reçues en 1977 issues de l'instrument LPSP a montré l'aspect différent des raies de Ca II et de Mg II dans une facule au centre du Soleil ou proche du bord du Soleil.

II. MILIEU INTERPLANÉTAIRE

On notera l'importance, à l'égard de ces problèmes, du démarrage en 1978 de la RCP « Poussières », à laquelle est associé J.-C. PECKER et dont le but est l'étude physique (au laboratoire) des paramètres qui commandent l'évolution physico-chimique des poussières interplanétaires, interstellaires, voire intergalactiques.

III. ÉTOILES

A. Étoiles Be

(a) J. ZOREC étudie actuellement (avec le groupe de L. DIVAN, à l'I.A.P.) la structure non-thermique de l'atmosphère des étoiles B et Be, en appliquant aux observations entreprises les méthodes de diagnostic empirique des atmosphères stellaires sur la base d'une thermodynamique hors-équilibre et non-linéaire, pour des milieux hors-équilibre radiatif.

(b) *Étude du continu et des raies UV des étoiles Be*

F. Beeckmans a achevé la rédaction de sa thèse de doctorat, dont trois chapitres sont consacrés aux étoiles Be. Ces étoiles chaudes, qui présentent dans le visible des raies d'émission et aussi parfois des raies d'absorption très fines, caractéristiques d'une enveloppe absorbante (« shell »), ont été assez largement observées par le satellite TD-1 (expérience S2/68).

F. Beeckmans s'est attachée d'abord à les comparer à un groupe d'étoiles Be de référence. Pour cela, elle a dégagé quel paramètre de classification visible est le plus adapté : c'est l'indice S de Chalonge et Divan, ou par défaut un indice de couleur Q obtenu à partir de S. Puis elle a montré le danger que présente la correction de rougissement interstellaire classique appliquée à ces étoiles, et elle a proposé d'utiliser la profondeur de l'absorption à λ 2 200 Å pour « dérougir » le rayonnement UV observé. Ce travail statistique soigneux, portant sur 83 étoiles Be, a permis de mettre en évidence un défaut de flux UV systématique pour toutes les étoiles Be plus chaudes

que le type B6. L'absorption intrinsèque ainsi détectée est-elle purement due à des poussières? La réponse n'est pas claire. Mais l'étude de la corrélation entre ce défaut de flux UV et les caractéristiques de l'émission dans le visible a montré : (1) que le défaut UV est d'autant plus important que la « shell » est plus prononcée, (2) que la nature de l'opacité supplémentaire est différente selon que l'étoile Be est du type à forte shell ou du type à forte émission. Ces derniers résultats, fondés en partie sur l'étude de spectres visibles de l'Atlas d'A.M. et H. Hubert (1978) sont publiés conjointement par A. M. Delplace-Hubert et F. Beeckmans (*Astron. Astrophys.*, soumis pour publication).

F. Beeckmans a par ailleurs mis en évidence pour la première fois la variabilité du spectre UV des étoiles Be. Elle a étudié les caractéristiques de ces variations, en relation avec celles du spectre visible. Elle a découvert que l'absorption, due à des raies de Fe III vers 1930 Å, varie avec une amplitude plus grande que celle de l'absorption, due elle aussi à des raies Fe III vers 1550 Å. Le premier groupe de raies est issu de niveaux métastables, tandis que le second provient de niveaux ordinaires. Un modèle schématique de l'ion de Fe III a été utilisé pour rechercher quels paramètres physiques influencent les raies à 1930 Å sans modifier fortement les raies à 1550 Å. La thèse a été soutenue le 14 mars 1978, à Liège.

B. Etoiles A, Am, Ap

(a) Recherche de chromosphères dans les étoiles A (F. PRADERIE et al.)

Selon la problématique exposée dans le précédent rapport d'activité, l'étude a porté sur des profils de raies dont le centre est susceptible de révéler l'existence d'un renversement de température chromosphérique. R. Freire a achevé l'interprétation des profils de raies K (Ca II) observées à la tour solaire de Meudon (en collaboration avec J. Czarny et P. Felenbok pour α Lyr, α CMa, γ Gem, α Aql), ainsi que des profils de raies de résonance de C II et Si II vers 1300 Å, obtenus par Copernicus pour α Lyr. Il a pu montrer en bâtissant des chromosphères simulées de profondeurs différentes, que les profils observés sont tous compatibles avec une remontée de la température vers l'extérieur de l'atmosphère. Cependant, les chromosphères débutant à $\tau_{5000} = 10^{-3}$ ne rendent pas compte du rayonnement continu UV observé dans le domaine TD-1, donc sont à rejeter. Il conclut donc qu'il est possible que les étoiles A aient une chromosphère dont la base ne doit pas être plus profonde que $\tau_{5000} \simeq 10^{-4}$, tout en soulignant qu'aucun signe positif direct (telle une émission) n'apparaît dans les spectres observés.

R. Freire a soutenu sa thèse le 6 mai 1977. Un article est paru, un autre est sous presse, le troisième est en préparation. A Rio de Janeiro,

il poursuit son travail par l'étude des raies de résonance de Mg II dans les mêmes étoiles (données Copernicus, communiquées par Dr Y. Kondo).

A Meudon, J. Czarny continue le programme d'observations à la Tour Solaire, afin de confirmer certains phénomènes détectés (asymétries des raies K dans α CMa, γ Gem, α Aql). Enfin J. Czarny, P. Felenbok et F. Praderie ont proposé d'observer α CMa et γ Gem lors du prochain vol du ballon BUSS en 1978, dans les raies de résonance de Mg II et Fe II (proposition acceptée pour γ Gem).

L'étude de la raie Ly α (dans α Lyr) n'a pas progressé ; ce travail devrait être pris en charge par I. Hubeny, chercheur tchèque invité par le laboratoire d'Astrophysique théorique du Collège de France : celui-ci n'a pas encore obtenu un visa.

Une extension de ce programme de recherche de chromosphères par l'étude de raies fortes à haute résolution devrait intervenir en 1978, l'un des projets d'observation sur IUE étant consacré à cet objectif.

(b) *Etude des particularités spectrales des étoiles A* (F. PRADERIE *et al.*, M. GERBALDI)

L'analyse des spectres TD-1 S2/68 de 80 étoiles Ap a été achevée en 1977 par C. Jamar et F. Praderie. Un article est sous presse. La caractéristique la plus spectaculaire de ces spectres étant une vaste absorption à 1 400 Å, présente dans les Ap à Si et dans les Ap à Sr Cr Eu, une interprétation a été proposée : cette absorption serait due à un groupe de raies d'autoionisation de l'ion abondant Si II dans les Ap à Si, à des raies de Fe II dans les Ap froides.

Depuis la soumission de l'article, un effort a été fait pour renforcer cette interprétation dans deux directions : essai d'identification des raies d'autoionisation UV dans un spectre à résolution plus grande (C. Jamar) ; calcul de raies d'autoionisation du visible qui pourraient rendre compte de dépressions caractéristiques des Ap vers 4 200 Å et 5 300 Å (F. Praderie). Parallèlement, M. Gerbaldi (I.A.P.) a entrepris d'observer dans le visible un lot d'étoiles Ap ayant une forte dépression à 1 400 Å, afin d'identifier les raies de Si II éventuellement responsables des dépressions 4 200 et 5 300 Å ; par ailleurs, D. Pétrini (Nice) a calculé les probabilités de transition et largeurs de niveaux dans le spectre de Si II. On espère parvenir à renforcer ainsi les arguments favorables à l'interprétation proposée pour l'absorption à 1 400 Å.

(c) *Diffusion et anomalies spectrales dans les étoiles Ap* (F. PRADERIE *et al.*)

Les intensités anormales des raies de certains éléments dans les étoiles Ap peuvent s'interpréter en supposant que les atmosphères de ces étoiles sont

particulièrement stables et que des mouvements lents de migration sélective des éléments peuvent avoir lieu sous l'effet différentiel de forces (gravité, force radiative principalement). Cette théorie, développée par G. MICHAUD (1970), prédit que certains éléments s'accumulent en couches superficielles et se maintiennent à l'équilibre, tandis que d'autres tombent ou sont chassés vers le milieu interstellaire. En collaboration avec G. MICHAUD (Université de Montréal), J. BORSENBARGER et F. PRADERIE ont calculé les forces radiatives sur tous les éléments de configuration électronique extérieure observés dans les étoiles Ap. Un article est en préparation discutant le cas du bore dans les étoiles A et B normales et particulières. La thèse de 3^e cycle de J. BORSENBARGER doit prolonger et achever ce travail. Ces calculs utilisent la grille de modèles d'atmosphères calculée par J. BORSENBARGER et M. GROS (*Astron. Astrophys. Suppl.*, sous presse). Par ailleurs, pour étudier (toujours avec J. MICHAUD) la diffusion de l'hélium dans les étoiles dites « He-weak », J. BORSENBARGER a calculé des modèles hors ETL à abondances d'hélium différentes de la normale.

IV. SYNTHÈSE THÉORIQUE

L'effort de synthèse entre les observations — spatiales ou au sol — et la compréhension des atmosphères dites anormales imposent une réflexion concertée, depuis 1976, entre de nombreux chercheurs. Sous l'impulsion de R. N. THOMAS, avec l'aide essentielle de A. B. UNDERHILL, des *monographies* sur divers sujets (étoiles O et Of, B et Be, etc.) sont en cours de rédaction, avec la collaboration de nombreux chercheurs à Paris, en France, à l'étranger (voir Rapport 1976-1977).

Nous noterons quelques travaux plus spécifiquement théoriques, mais dans cet esprit analytique et physique.

(a) *Théorie de la structure atmosphérique*

Outre son rôle de coordinateur des monographies, R. N. THOMAS a fait progresser la rédaction du volume 1 (Théorie de la structure atmosphérique). Il a continué à travailler aussi sur le volume : « Etoiles F et G, Soleil, T Tauri », et, plus spécialement, sur un modèle pour décrire les étoiles T Tauri ; un article (avec L. CRAM et N. HEIDMANN) est en cours de préparation. Enfin, dans le domaine des étoiles Be, il étudie avec J. ZOREC le mécanisme de la formation des raies d'émission (en coopération avec N. HEIDMANN, A. B. UNDERHILL, et L. DIVAN, I.A.P., et V. DOAZAN, Observatoire de Paris) ; il s'agit d'étudier la structure non-thermique de l'atmosphère des étoiles B, Be et, pour cela, d'appliquer, et de développer en ce qui

concerne les détails du type spectral adopté, des éléments de diagnostic des atmosphères stellaires, sur la base d'une thermodynamique hors-équilibre, non-linéaire, pour des milieux hors-équilibre radiatif.

(b) *Binaires serrées* (J. ZOREC)

J. ZOREC a terminé un travail commencé à l'Instituto de Astronomia y Fisica del Espacio, Buenos Aires, Argentine, en collaboration avec V. NIEMELÄ. Dans la première partie, ils montrent les effets du champ de rayonnement des deux composantes d'un système binaire, sur les équipotentielles de Roche. Les surfaces correspondantes aux solutions d'équilibre eulériennes montrent, selon le cas, de nouvelles possibilités d'éjection de matière, et montrent en particulier que le transfert direct de matière par le point central d'équilibre est empêché dans les systèmes lumineux.

Dans la deuxième partie, ils étudient les configurations équipotentielles correspondantes aux systèmes : V 444 Cygni, CV Serpentis, V 729 Cygni et V 453 Sco. D'après les résultats il s'agirait de systèmes avec une abondance d'hélium supérieure à la normale, si l'on veut maintenir les étoiles en équilibre ; à moins qu'il n'y ait de fortes contributions d'origine non-thermique à la luminosité. Ce travail a été présenté à la Première Réunion Latino-américaine d'Astronomie, au Chili, janvier 1978.

*V. PROBLÈMES ARCHÉTYPAUX
RELATIFS AUX ATMOSPHÈRES STELLAIRES*

On a expliqué dans le rapport 1976 la différence que nous voyons entre les modèles empiriques et l'étude de problèmes archétypaux, non nécessairement réalistes, mais cohérents, et dont le choix est guidé par l'intuition initiale de leur importance.

Un effort nouveau a dû être fait afin de former les chercheurs à ce genre de problèmes. G. MAGNAN a assumé l'essentiel de cette tâche, comme suit.

(a) *Réflexion et enseignement*

Christian MAGNAN a donné, dans le cadre d'une école consacrée à la perte de masse, un cours sur les méthodes d'analyse des observations. Il s'agissait de faire le point, théoriquement et pratiquement, sur les diagnostics de perte de masse faits à partir d'observations de profils de raies. Le cours était centré principalement sur la méthode dite de Sobolev, approximation largement utilisée, mais non moins largement de façon totalement aveugle !

Christian MAGNAN a consacré deux séminaires à des conclusions prospectives sur la nécessité prochaine d'introduire dans notre physique les écarts à la loi de Maxwell pour la répartition des vitesses thermiques. L'un à Meudon sur les aspects plus spécifiques de la redistribution en fréquence, l'autre à Besançon sur les problèmes de transfert en présence de vitesses.

(b) *Transfert non-ETL en présence de champs de vitesse aléatoires*
(C. MAGNAN, M. L. LOUCIF)

Dans le cadre de « l'approximation des cellules effectives », il s'agit (dans la thèse de 3^e cycle de Loucif) de calculer les écarts de quantités telles que l'intensité ou fonction-source autour des valeurs moyennes. La vitesse de différents éléments turbulents pouvant déplacer le centre apparent de la raie le long de tout un profil, on s'attend à des effets extrêmement importants.

(c) *Atmosphères « distendues »*

Ce travail a été poursuivi par C. MAGNAN, avec M. GROS et R. KRİKORIAN. La méthode d'addition de couches a été généralisée avec beaucoup de succès à des cas non-linéaires. De fait, l'outil est quasiment au point et l'on aborde dès maintenant des programmes dans lesquels deux continus optiquement épais interviennent (de façon non-linéaire) concurremment dans un même atome, par exemple Lyman et Balmer pour l'hydrogène.

(d) *Formation des étoiles* (C. MAGNAN)

Un article, « The sudden appearance of stars », examine les conditions très particulières dans lesquelles se trouve un milieu presque totalement ionisé sous l'action d'un objet lumineux central, lorsque la frontière entre la région H I et la région H II coïncide justement avec la frontière du milieu. Une étude préliminaire du continu de Balmer est faite dans cet article, mais ce point très difficile devra être repris beaucoup plus à fond (c'est l'un des objectifs du point (c) ci-dessus). D'un point de vue semi-quantitatif, les résultats de cet article confirment les estimations faites grossièrement au départ : le système étudié est extrêmement sensible à de faibles variations des conditions physiques. Des fluctuations relatives de l'ordre de 10^{-5} peuvent entraîner des variations en luminosité observée de plusieurs magnitudes.

(e) *Problèmes de transfert de rayonnement dans les couches les plus extérieures des atmosphères stellaires* (E. SIMONNEAU)

Il existe des atmosphères stellaires assez étendues où le libre parcours moyen de photons devient comparable aux dimensions géométriques et il

est donc nécessaire de tenir compte des effets de sphéricité dans leur analyse. Aujourd'hui l'étude de ces atmosphères, toujours associées à des étoiles « instables », ou tout au moins ayant une grande perte de masse, est un sujet de grand intérêt.

En ce qui concerne le transfert, alors que les premiers essais datent de 1934 (W. P. Kosirev, *Mon. Not. Roy. astron. Soc.* 94, 430, 1934) ; Chandrasekhar, *Mon. Not. Roy. astron. Soc.* 94, 444, 1934), les premières méthodes complètes ne se développent que pendant les années 70 (J. P. Cassinelli, *Astrophys. J.* 165, 265, 1971 ; D. G. Hummer and G. B. Rybicki, *Mon. Not. Roy. astron. Soc.* 152, 1, 1971 ; J. Schmid-Burgk, *Astron. Astrophys.* 40, 249, 1975) et cela grâce à un grand effort numérique. Contrairement à ce qui a prévalu en géométrie des couches planes et parallèles, aucune approximation simple n'a précédé ces méthodes à cause de la difficulté du problème, ou bien parce qu'étant influencé par le lourd calcul numérique et l'utilisation d'ordinateurs, on a préféré obtenir directement des solutions correctes mais non facilement accessibles. Il faut remarquer qu'une de ces méthodes (HR) repose sur des itérations et a donc besoin d'une solution de départ qui évidemment ne doit pas être trop éloignée de la solution cherchée.

La contribution de SIMONNEAU à ce type de problèmes consiste dans le développement d'une nouvelle méthode qui permet de résoudre l'équation de transfert dans des atmosphères sphériques. Sa conception est simple, car c'est une adaptation à des cas sphériques de la méthode classique, dite de Chandrasekhar, développée pour la géométrie plane. C'est-à-dire qu'on peut la considérer comme une méthode des ordonnées discrètes avec des poids d'intégration pour le calcul de l'intensité moyenne J , du flux H , et de tous les autres moments ; mais évidemment ces ordonnées discrètes et ces poids d'intégration varient avec le rayon des couches atmosphériques, selon des lois spécifiées dans leur premier article (voir bibliographie). Sous un autre point de vue cette méthode peut aussi être considérée comme une méthode dite « de moments », dans laquelle on introduit des relations de fermeture à plusieurs ordres, relations qui tiennent compte des effets de courbure. En particulier, SIMONNEAU a démontré dans le deuxième article que la première approximation est équivalente, pour la géométrie sphérique, à l'approximation d'Eddington introduite dans la géométrie plane.

La différence entre cette méthode et les autres essais pour résoudre le même problème, a consisté en l'introduction, dans le choix des ordonnées discrètes et des poids d'intégration (ou bien dans la relation de fermeture pour les moments), des principales propriétés de la courbure, ce qui a simplifié grandement la solution du problème.

Ainsi, dans la première approximation, peut-on facilement obtenir des solutions aussi correctes que dans les approximations correspondantes dans

la géométrie plane. Ces solutions ont généralement une précision suffisante pour la plupart des problèmes, mais au cas où une plus grande précision est nécessaire, on peut les prendre comme données de départ dans un processus itératif, lequel ne demandera généralement qu'une de ces itérations pour donner un résultat avec une erreur plus petite qu'un pour cent.

(f) *Modèles en équilibre radiatif, NETL*

Ces modèles (qui supposent l'équilibre hydrostatique, et une géométrie plan parallèle) rentrent bien dans le cadre des archétypes, car ils sont dans l'ensemble inadaptés à la représentation détaillée des spectres, mais permettent d'utiles réflexions sur le rôle des paramètres T_{eff} , g , composition chimique.

Au début de 1977, G. BORSENERGER et M. GROS ont achevé les calculs de modèles d'atmosphère NETL par la méthode de Mihalas. Ils ont ainsi obtenu une grille de modèles théoriques NETL couvrant l'intervalle de température $10\,000\text{ °K} \leq T_{\text{eff}} \leq 15\,000\text{ °K}$, $\log g = 4$.

Au vu des résultats obtenus, ces modèles décrivent un milieu très proche de l'équilibre : bien que les populations des niveaux atomiques (pour l'hydrogène) soient calculées à partir des équations de l'équilibre statistique, donc en prenant en compte les processus microscopiques de peuplement et de dépeuplement, les résultats montrent que pour ce domaine de température effective et cette gravité ($g = 10^4$), les lois de Saha-Boltzmann sont finalement valables sur une grande portion d'atmosphère.

Il s'agit néanmoins de modèles élaborés, hors ETL ; ils rendent compte des régions NETL des photosphères ; de plus, la remontée de température dans les couches superficielles trouvée par MIHALAS et al. pour les étoiles chaudes ($T_{\text{eff}} > 15\,000\text{ °K}$) est présente également dans les modèles plus froids qui ont été calculés ; cette description des photosphères hors ETL est certainement très proche d'être correcte, et justifie le travail entrepris.

Ces modèles sont calculés avec des équations de contraintes fortes : en particulier, on suppose l'équilibre radiatif, l'équilibre hydrostatique : ils ne peuvent donc décrire de façon réaliste que les « photosphères ».

(g) *Rayonnements non thermiques*

John T. JEFFERIES a donné 8 leçons sur ce thème au Collège de France.

L'activité de R. KRİKORIAN s'est principalement concentrée vers l'étude des processus de rayonnement non thermique et leur application au problème de l'émission continue UV des T Tauri et autres objets instables.

KRIKORIAN analyse actuellement l'hypothèse de Gurzadyan selon laquelle cette émission continue serait due au processus de l'« effet Compton

inverse ». D'après l'analyse de KRIKORIAN, en collaboration avec S. KICHE-NASSAMY, il ressort que, pour des valeurs raisonnables de la densité d'électrons relativistes et des dimensions de l'enveloppe, l'émission continue ne peut être une conséquence directe de la diffusion électron-photon.

VII. GALAXIE, GALAXIES, QUASARS...

L'étude des étoiles est de plus en plus orientée vers une compréhension améliorée de la structure galactique. Les recherches de nature statistique se poursuivront dans l'avenir, espérons-nous, en coopération avec J. DELHAYE et R. CAYREL.

Actuellement les études spécifiques en cours sont orientées vers l'évolution galactique. D'ores et déjà des travaux importants ont été entrepris.

1. Formation du spectre des Galaxies de Seyfert de type I et des quasars (S. DUMONT, N. HEIDMANN, avec S. COLLIN-SOUFFRIN, M. JOLY)

On a étudié la formation des raies du Fe II, en admettant l'excitation par collision et radiation, dans le cadre de modèles photoionisés pour la région émettrice des raies larges. La région émettant Fe II est une région de transition autour de la région H II responsable des raies larges de Balmer, et elle est irradiée par le spectre continu observé.

L'étude montre qu'on doit résoudre le problème exact du transfert ; ceci fait (paramètres : n_e , T_e , τ_{shell} , $L_{\text{vis}}/4 \pi R_{\text{em}}^2$), on trouve que deux cas sont possibles :

(a) si $T_e \sim 10^4 \text{K}$, $L_{\text{vis}}/4 R_{\text{em}}^2 \geq 10^8$, $n_e \sim 10^9$, $\tau_{\text{shell}} \sim 10^2 - 10^3$, — cas à prédominance radiative, mais d'une géométrie étrange : la région émettant Fe II n'est pas sur le trajet de la source continue à l'observateur. On a des raies d'émission.

(b) $T_e \sim 2 \cdot 10^4 \text{K}$; $L_{\text{vis}}/4 R_{\text{em}}^2 \sim 10^8$, $n_e \sim 10^{10}$, τ_{shell} petit ; ce cas est dominé par l'excitation collisionnelle. Les raies UV l'emportent, le spectre est en émission.

Dans les deux cas, on trouve un degré élevé d'ionisation. Il semble que l'excitation collisionnelle soit plus probable dans un gaz chaud et ionisé, quel que soit le modèle de la zone émettant les raies larges de Balmer.

2. Région H II au centre des galaxies jeunes (J. C. PECKER)

Cette étude, orientée vers le calcul des forces susceptibles d'éjecter des masses d'hydrogène d'une jeune galaxie, a trois aspects :

(a) Transfert de rayonnement dans la raie Ly α , compte tenu d'une distribution de vitesses induite par la pression de radiation, ou par un autre processus.

(b) Structure de la région H II autour d'un noyau de galaxies très chaud. La variation de la densité en fonction de la direction (forme aplatie des galaxies en formation) entraîne une structure en forme d'aiguille perpendiculaire au plan équatorial ; mais l'émission de la région au contraire a une distribution presque sphérique.

(c) Ionisation de l'hélium dans une région H II.

Des calculs nouveaux, tenant compte de photons secondaires négligés jusqu'à présent, sont en cours. La discussion théorique est intéressante dans la mesure où deux cas semblent fort différents : à haute densité, la distribution des photons incidents commande les recombinaisons ; à basse densité c'est la distribution des électrons thermiques ($\sim 10^4\text{K}$) qui commande ces recombinaisons (c'est le cas général).

3. *Décalages anormaux vers le rouge, et sujets associés*

Ces travaux ont continué en liaison avec le groupe de l'I.P.H. (ERA 533), principalement, à l'I.A.P. par S. DEPAQUIT.

En 1977, ces recherches ont essentiellement porté sur les déplacements vers le rouge au voisinage du disque solaire, et sur l'anisotropie de la constante de Hubble. Ces derniers travaux ont été développés dans diverses études relatives à :

- a) la traversée des amas de galaxies ;
- b) les supernovae de type I et II.

Parallèlement une étude de divers tests du caractère cosmologique ou non, des quasars, a été poursuivie. Au cours de l'année écoulée, celle-ci a essentiellement porté sur les conséquences astrophysiques d'une périodicité des histogrammes de Q.S.O. en $\log(1 + z)$ mise en évidence par BURBIDGE, O'NEILL, BARNOOTHY et KARLSSON (mais contestée par WILLS). L'étude est encore actuellement poursuivie.

Jean-Luc NIETO, actuellement en mission aux U.S.A., a également travaillé sur les aspects statistiques des relations QSS-galaxies, et a montré que, statistiquement, les associations entre QSS et galaxies assez proches n'existent pas ; leur distribution sur le ciel suit les lois du hasard ; ceci n'exclut pas l'existence d'un petit nombre d'associations réelles.

VIII. TÉLESCOPE DE PHOTOMÉTRIE ABSOLUE SOLAIRE ET STELLAIRE

Ce travail, entrepris depuis plusieurs années sur des idées communes de J. C. PECKER et R. PEYTURAUX (I.A.P.) sur l'urgence de mesures absolues de précision des rayonnements solaire et stellaires, est en cours d'achèvement.

En 1977, le travail de l'équipe de R. PEYTURAUX a surtout été axé sur le montage, la mise au point et les essais de ce télescope et de ses éléments annexes, impliquant notamment la préparation de la thèse de 3^e cycle de M. MALINIE. Au début de l'année, le télescope lui-même était terminé et a été transporté et installé dans la coupole de l'I.A.P. On espère que la construction de la station d'observation au site du Chiran appartenant à l'O.H.P., pourra être commencée, afin de permettre la valorisation de ce télescope de très haute qualité.

IX. PHYSIQUE DE LABORATOIRE

RCP « Poussières »

Cette nouvelle RCP sur les propriétés physiques des poussières (avec encore les applications aux milieux interplanétaires, interstellaires, intergalactiques) implique la participation de J.-C. PECKER et de divers chercheurs de l'I.A.P. et d'ailleurs. La responsabilité de la RCP est assurée par J. LEFÈVRE, de l'Observatoire de Nice et de la Faculté des Sciences de Nantes.

PUBLICATIONS

F. BEECKMANS, *Etude de l'intensité du rayonnement ultraviolet des étoiles Be avec l'expérience spectrophotométrique S2/68 (Mém. Acad. Sci. Liège, t. 46, p. 310, 1977).*

F. BEECKMANS, M. BURGER, *Ultraviolet observations of β Canis Majoris stars with TD-1 A satellite (Astron. Astrophys., t. 61, p. 815, 1977).*

J. BORSENBERGER, M. GROS, *A grid of medium cool radiation equilibrium non-LTE models : $10\,000\text{ K} < T_{\text{eff}} < 15\,000\text{ K}$, $g = 10^4$ (Astron. Astrophys. Suppl. Ser., t. 31, p. 291, 1978).*

C. J. CANNON, R. N. THOMAS, *Origin of stellar winds : subatmospheric non-thermal storage modes versus radiation pressure (Astrophys. J., t. 211, p. 910, 1977).*

S. DEPAQUIT, G. LE DENMAT, J. P. VIGIER, *Liste de supernovae de type I dont la détermination du maximum de luminosité permet l'établissement d'échantillons homogènes* (C. r. Acad. Sci., Paris, t. 285 B, p. 161, 1977).

S. DUMONT, Z. MOURADIAN, J.-C. PECKER, E. G. CHIPMAN, *Establishment of a facular model from the photosphere to the corona. II. Preliminary results on C IV lines* (Proc. Nov. 1977 OSO-8 Workshop, p. 183).

R. FREIRE, J. CZARNY, P. FELENBOK, F. PRADERIE, *High resolution profiles in A-type stars. I. The Ca II K line observed with the Meudon Solar Tower* (Astron. Astrophys., t. 61, p. 875, 1977).

— *High resolution profiles in A-type stars. II. Vega Ca II H and K lines observed at the Meudon Solar Tower* (Astron. Astrophys., t. 68, p. 89, 1978).

T. JAAKKOLA, *Etudes sur la nature des décalages vers le rouge des galaxies* (Thèse de Doctorat, 15 juin 1977).

C. JAMAR, D. MACAU-HERCOT, F. PRADERIE, *Absolute ultraviolet spectrophotometry from the TD-1 satellite. X. The ultraviolet spectrum of Ap stars* (Astron. Astrophys., t. 63, p. 155, 1978).

S. KICHENASSAMY, R. KRİKORIAN, *Sur la variance relativiste de la section efficace de collision électron-photon* (C. r. Acad. Sci., Paris, t. 286 B, p. 127, 1978).

C. MAGNAN, *Méthodes d'analyse des observations* (C. r. Ecole de Goutelas : Perte de masse des étoiles, 4-8 avril 1977).

J.-C. PECKER, *Rapport de la Commission 5 de l'U.A.I.* (Trans. I.A.U., t. XVI B, p. 69, 1977).

— *L'astronomie infrarouge et les poussières galactiques* (en russe) (Zemlja i Vselennaja, n° 5, p. 43, 1977).

— *Aspects de l'astronomie d'aujourd'hui* (La Pensée, n° 195, p. 8, 1977).

— *The Sirius mystery*, by Robert K. G. Temple (Observatory, t. 97, p. 31, 1977).

— *L'Univers est-il en expansion?* (Rev. Palais de la Découverte, t. 6, n° 52, p. 18, 1977).

— *Le Ciel* (Hermann éd., Paris). Edition en langue espagnole. Emécé éd., 1977.

— *La recherche spatiale et la connaissance de notre Galaxie* (Exposés sur l'Astronomie, 9 mai - 6 juin, Acad. Sci., p. 31, 1977).

— *La photographie astronomique* (Revue de l'Art, n° 39, p. 23, 1978).

— *Compilation, critical evaluation and distribution of stellar data*, by C. Jaschek and G. A. Wilkins (Colloque U.A.I. n° 35) (Space Sci. Rev., t. 21, p. 473, 1978).

- *Ebauche d'un Tristan (Presenze, n° 14, p. 45, 1977).*
- *Astrophysiques « orthodoxe » et « hérétique » (La Recherche, n° 83, p. 1008, 1977).*
- Participation à un débat sur « *Les voies de la culture scientifique* », France-Culture, 2 déc. 1976 (*Asso. Ecrivains scientif. France Bull. Inf.*, n° 26, p. 23, 1977).
- *Un poeta, un astronomo et i loro sogni (Presenze, t. 2, n° 6, p. 26, 1977).*
- *Livre d'astronomie (Astronomie, juin 1977, p. 268).*
- *Editorial (Sciences, t. 8, n° 1, p. 2, 1978).*
- *Un étonnant paradoxe sur la chute des corps (Astronomie, mars 1978, p. 141).*
- *L'univers hiérarchisé est-il en expansion ? (L'Ingénieur constructeur, n° 228, janvier 1978, p. 12).*
- *Space and time in the modern universe, by C. C. W. Davies (Astronomie, février 1978, p. 82).*
- J.-C. PECKER, S. DUMONT, Z. MOURADIAN, G. A. CHAPMAN, *The establishment of a facular model from the photosphere to the corona. I. Morphological aspect (Proc. Nov. 1977 OSO-8 Workshop, p. 172).*
- F. PRADERIE, *Diagnostic of stellar chromospheres (Mem. Soc. astron. Ital., t. 47, p. 553, 1976).*
- E. SIMONNEAU, *Radiative transfer in atmospheres with spherical symmetry. II. The conservative Milne problem (J. quant. Spectrosc. radiat. Transfer, t. 19, p. 439, 1978).*
- *Radiative transfer in atmospheres with spherical symmetry. III. The Eddington approximation (J. quant. Spectrosc. radiat. Transfer, t. 20, p. 49, 1978).*
- R. N. THOMAS, *Irreversibility, evolution, Evolution and the process of local concentration (Foundations of Physics, t. 7, p. 137, 1977).*

THÈSES

- T. JAAKKOLA, *Etudes sur la nature des décalages vers le rouge des galaxies (Thèse d'Etat, Paris, 15 juin 1977).*
- F. BEECKMANS, *Contribution à l'étude du spectre ultraviolet des étoiles chaudes normales et particulières et de leur absorption inter- et circumstellaire à l'aide de l'expérience S2/68 (Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège, mars 1978).*

CONGRÈS, COLLOQUES, VOYAGES D'ÉTUDE

OSO-8 Workshop, L.A.S.P., Boulder, Colorado, 6-11 novembre 1977 (S. DUMONT).

Joint Scientific Meeting on UV Astronomy, Windsor, Londres, 29 novembre - 1^{er} décembre 1977 (R. FREIRE, F. PRADERIE).

Deuxième Assemblée Espagnole d'Astronomie et d'Astrophysique, Institut et Observatoire de la Marine, San Fernando, Espagne, 12-16 décembre 1977 (E. SIMONNEAU).

Second European Solar Meeting, *Highlights of solar physics*, Toulouse, 8-10 mars 1978 (S. DUMONT, J.-C. PECKER).

46^e Congrès de l'Association Canadienne-Française pour l'Avancement des Sciences (A.C.F.A.S.), Ottawa, 10-12 mai 1978 (J.-C. PECKER).

Rencontres et discussions scientifiques à l'Université de Montréal, 7-10 mai 1978 (J.-C. PECKER).

Symposium on *Important Advances in Twentieth Century Astronomy*, Copenhague, 30 mai - 1^{er} juin 1978 (J.-C. PECKER).

97^e Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, Mulhouse, 6-8 juillet 1978 (J.-C. PECKER).

Fourth European Regional Meeting in Astronomy, *Stars and star systems*, Uppsala, Suède, 7-12 août 1978 (J.-C. PECKER).

DISTINCTIONS, NOMINATIONS

M. PECKER a été nommé, pour 1978, président de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences.

M. PECKER a été élu, en 1977, membre de l'Académie Nationale des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Bordeaux.

M. PECKER est, depuis 1977, membre du Conseil Technique de la revue *Impact, science et société*, de l'Unesco, et, pour la période 1976-1980, membre du Comité Consultatif de la revue *Memorie della Societa astronomica Italiana*.

M. PECKER fait partie du Scientific Organizing Committee du Fourth European Regional Meeting in Astronomy qui doit se tenir du 7 au 12 août 1978 à Uppsala.