

7

NOTICE

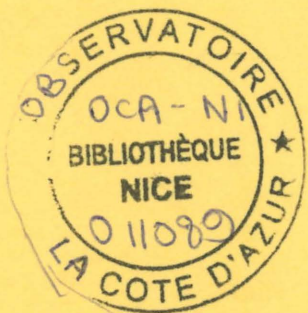
sur les

TITRES ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES

de

Jean-Paul ZAHN

juin 1974



Cote: W 238

N O T I C E

sur les

T I T R E S E T T R A V A U X S C I E N T I F I Q U E S

de

Jean-Paul ZAHN

juin 1974

CURRICULUM VITAE

Né le 23 mars 1935 à Mulhouse (Haut-Rhin)

Marié le 26 août 1957 avec Rosine Ferran - 4 enfants.

Etudes secondaires (Collège moderne et Lycée de Mulhouse)	1947 - 1953
Propédeutique (MPC) à la Faculté des Sciences de Besançon	1954
Mathématiques spéciales au Lycée de Metz	1954 - 1955
Ecole Normale Supérieure	1955 - 1959
Licence de mathématiques	1956
Licence de physique	1957
DES de mathématiques (Astronomie approfondie)	1957
DES de physique (Astrophysique)	1958
Agrégation de sciences physiques	1959
Assistant à la Faculté des Sciences de Paris	1959 - 1963
Service militaire	1960 - 1962
Maître-assistant à la Faculté des Sciences de Paris	1963 - 1966
Doctorat ès-sciences	1966
Astronome-adjoint à l'Observatoire de Nice	1966 -
Boursier de recherche de la NASA à New York	1969 - 1970
Visiting associate professor à New York University	1970 - 1971
Directeur de l'Observatoire de Nice	1972 -
Médaille de bronze du CNRS	1967
Prix Antoinette Janssen (Académie des Sciences)	1968

Avant d'aborder mon activité proprement scientifique, je crois utile de commenter en quelques lignes le curriculum vitae qui est présenté sur la page précédente sous forme résumée.

Deux personnes ont joué dans mon orientation vers l'astronomie un rôle déterminant: un astronome amateur, H. KERN, qui me donna la première initiation à l'oculaire d'un télescope dont il avait lui-même taillé le miroir, et un professeur au lycée de Mulhouse, R. CALLOT, qui sut me communiquer sa passion pour les sciences physiques et m'encouragea à entreprendre des études universitaires. En 1953, j'entrai à la Société Astronomique de France qui allait bientôt publier dans son bulletin le compte-rendu de mes premières et fort modestes observations d'amateur.

Je fus l'un des derniers étudiants de l'ancien certificat d'astronomie approfondie et c'est là que je fis la connaissance de E. SCHATZMAN qui y enseignait l'astrophysique. Connaissant mon goût pour l'observation, il me proposa comme sujet de diplôme d'études supérieures la mise au point d'un instrument permettant la détection d'astres dont le spectre montre la raie H_{α} en émission. R. MICHARD avait alors la charge du télescope de 1 mètre de Meudon; il m'accueillit dans son laboratoire où je fis construire un spectrographe sans fente qui, placé au foyer du télescope, donnait le spectre des étoiles jusqu'à la onzième magnitude en dix minutes de pose, à la manière d'un prisme-objectif. Le paraboloïde étant ouvert à $f/3$, il fallut trouver un moyen de porter le champ utile à un degré environ; les crédits alloués étaient maigres, mais j'eus la chance de pouvoir monter un doublet pratiquement afocal qui corrigeait la coma sans introduire trop d'astigmatisme avec deux lentilles prélevées sur un antique objectif photographique à portrait que je m'étais procuré chez un brocanteur. Je ne dirai rien de plus de ce travail de diplôme qui aboutit à la conclusion prévisible que le meilleur instrument pour ce genre de détection serait un télescope de Schmidt muni d'un système peu dispersif.

A ma sortie de l'Ecole Normale, E. SCHATZMAN m'offrit le premier poste d'assistant qu'il venait juste d'obtenir et il me chargea de l'organisation des travaux pratiques du certificat d'astronomie. Malgré mon grand désir, il n'était pas possible de prévoir des observations réelles à cause du ciel trop souvent couvert à Paris pendant les mois d'hiver, et nous dûmes nous contenter d'expériences en salle obscure sur des étoiles artificielles. L'imitation de la nature alla jusqu'à la fabrication d'un amas dont les étudiants établissaient le diagramme couleur-magnitude. Une autre expérience consistait à observer le passage au méridien d'une étoile dont le mouvement était commandé par un genre de sidérostas imaginé par E. SCHATZMAN. Tout fut prêt pour la rentrée de 1960; je partis à l'armée en laissant à S. SOUFFRIN et B. MORANDO, qui venaient d'être nommés à leur tour, la tâche délicate de rôder ces travaux pratiques artificiels sur des étudiants réels.

Après mes deux années de service militaire, pendant lesquelles je ne pus entreprendre rien de sérieux, je revins à la Faculté des Sciences de Paris où j'allais m'occuper presque exclusivement du D.E.A. d'astrophysique. Ce fut une période extrêmement fructueuse, car la préparation de ces séances de travaux dirigés que j'animais m'obligea à élargir mes connaissances à un moment - je terminais mon travail de thèse - où la tendance naturelle m'aurait porté plutôt à me spécialiser à l'extrême.

Entre temps j'avais fait la connaissance d'un étudiant passionné d'astronomie, G. COUPINOT, et nous décidâmes de créer un club pour les étudiants désireux de faire des observations réelles. Nous n'y serions pas parvenus sans l'aide bienveillante de plusieurs astronomes: A. DANJON qui nous permit d'utiliser la lunette dite de la Sorbonne, E. SCHATZMAN qui nous attribua une partie de ses crédits de chaire, D. CHALONGE qui nous prêta un télescope et dénicha pour nous une vieille monture équatoriale, V. KOURGANOFF qui nous confia la lunette qu'il venait d'acquérir pour ses étudiants d'Orsay, et A. LALLEMAND qui accepta la transformation de la coupole de l'Institut d'Astrophysique de manière qu'elle puisse abriter, la seule au monde de cette sorte probablement, deux instruments équatoriaux à la fois.

Ce fut alors que se posa le problème de mon orientation après le doctorat. Les conditions de travail allaient en se détériorant à Paris, et nous étions un certain nombre de jeunes chercheurs à envisager un départ en province. Mais quelques expériences malheureuses dont nous avions eu connaissance nous avaient convaincus qu'il fallait partir à plusieurs, s'entourer de garanties et choisir la destination avec quelque soin, en examinant avant tout les possibilités de développement futur. Cette recherche ne demeura pas longtemps abstraite, car J.-C. PECKER prit contact avec nous et nous offrit d'aller à Nice. Nous avions entendu parler de l'énorme tâche de restauration qu'il avait entreprise dans cet observatoire qui sortait d'une longue léthargie et nous fûmes enthousiasmés à l'idée de collaborer avec lui. C'est ainsi que Ph. DELACHE, P. SOUFFRIN et moi-même fîmes connaître au Conseil des Observatoires notre intention de nous rendre à Nice, ensemble, et à condition qu'on nous aide dans cette entreprise. J.-F. DENISSE, qui était alors directeur de l'Observatoire de Paris, fut très favorable à notre projet et il nous aida à obtenir les postes nécessaires à notre transfert en province.

Je garde le meilleur souvenir de ces années pendant lesquelles, grâce à l'énergie et à l'habileté de J.-C. PECKER, l'observatoire de Nice atteignit rapidement, et bien plus tôt que nous avions osé l'espérer, sa masse critique. Ma contribution à ce développement fut bien modeste en comparaison. A l'université, F. RODDIER m'avait demandé de faire un cours de structure stellaire dans le cadre du D.E.A. d'astrophysique, ce qui permit d'orienter quelque peu le recrutement des jeunes chercheurs. Mais mon rôle s'exerça surtout au sein des conseils dont j'étais un membre élu: la Section X du C.N.R.S. où j'oeuvrai pour que l'observatoire obtienne et conserve le statut de Laboratoire Associé, et le Conseil de Direction de l'I.N.A.G. où j'essayai de plaider pour toutes les entreprises de décentralisation. Je fus également à l'origine de la collaboration entre l'observatoire et le Laboratoire d'Astronomie Spatiale de Marseille, collaboration qui avait pour objet les projets post-Apollo et qui nous permit de financer la location d'un petit ordinateur dont nous avions grand besoin. Sur le plan national, je participai entre autre à l'élaboration du rapport de conjoncture en animant un groupe de travail sur les moyens de calcul qui recensa les équipements existants et tenta de prévoir les besoins pour la période couverte par le VI^e plan.

On peut déplorer mon désaccord avec J.-C. PECKER sur les conclusions à tirer des événements de mai 1968 - mais comment aurait-il pu en être autrement? Nous avons vécu cette période d'une manière si différente: lui, à l'étranger, analysant avec finesse la situation et essayant d'imaginer des solutions pour l'avenir, et moi, sur place, prenant conscience soudain des aspirations de toutes les catégories du personnel dans un observatoire touché par la vague de grève générale. Mais cette divergence de vues n'entama pas notre amitié, et quand la loi d'orientation fixa clairement les règles du jeu, nous nous retrouvâmes côte à côte pour rédiger les statuts de la future U.E.R. Je fus de ceux qui regrettèrent vivement son départ de Nice, que je trouvais prématuré car l'observatoire - l'avenir allait le prouver - avait besoin de lui pendant quelques années encore.

De mon côté, j'avais éprouvé le besoin de tourner une page et aussi d'entreprendre un autre type de recherche, et j'avais répondu à l'offre que m'avait faite E. SPIEGEL de passer un an aux Etats Unis. Ce séjour, qui se prolongea d'une autre année, fut des plus enrichissants sur tous les plans; il marqua le début d'une collaboration passionnante et féconde dont je parlerai plus loin. La deuxième année, pour me faire une idée sur l'enseignement universitaire américain, je sollicitai et obtins un poste de professeur à mi-temps à New York University; j'y enseignai les mathématiques appliquées et cette expérience fut également des plus intéressantes. De plus, elle me mit en contact avec des chercheurs de grand talent qui ne considèrent pas que les mathématiques appliquées sont une science impure et qui tiennent beaucoup au dialogue avec les principaux utilisateurs que sont les astronomes et les physiciens.

A mon retour Ph. DELACHE, qui avait remplacé M. TRELIS à la fin de l'intérim de celui-ci, me fit part de son désir d'abandonner la direction de l'observatoire. Je fis le mieux que je pus pour l'en dissuader et acceptai avec M. HENON et M. SCHNEIDER de partager quelques unes de ses responsabilités. L'expérience ne fut pas assez concluante et Ph. DELACHE, estimant qu'il se trouvait placé devant l'alternative de diriger l'observatoire ou de faire de la recherche, décida de démissionner. Pour le remplacer, le Conseil de l'observatoire contacta un certain nombre de personnes extérieures, mais sans succès. Devant le

résultat négatif de cette prospection, et après avoir longuement réfléchi aux multiples aspects du problème, je décidai de me porter candidat tout en m'organisant de manière à pouvoir poursuivre le travail entrepris avec mes collègues américains. Le Conseil accepta le principe d'une année sabbatique durant laquelle je pourrais me rendre aux Etats Unis.

J'ai dirigé le travail de J. LATOUR sur les zones convectives des étoiles de type A: il fut le premier à soutenir sa thèse parmi les jeunes chercheurs que nous avons recrutés à Nice. Nous continuons à collaborer de manière très étroite sur divers sujets, comme on le verra plus loin. Jusqu'à mon départ aux Etats Unis, j'étais également le directeur de thèse de J. de FREITAS PACHECO qui étudiait divers processus physiques contrôlant l'évolution de la matière interstellaire et la diffusion des rayons cosmiques dans la Galaxie. Auparavant, à Paris, j'avais suivi de très près les thèses de troisième cycle de A. BRAHIC (instabilité séculaire des étoiles), de C. CHEVALIER (évolution du système de Sirius) et de M. DUHURT (polytropes en rotation rapide), toutes trois préparées sous la direction de E. SCHATZMAN.

Qu'il me soit permis, pour terminer, de mentionner mon activité dans le domaine de la vulgarisation scientifique. J'attache beaucoup d'importance à la communication entre les chercheurs et le public, et je lui consacre une partie non négligeable de mon temps. Cette activité a revêtu plusieurs aspects, outre la création déjà évoquée du club d'astronomie avec G. COUPINOT: articles, conférences, émissions à la télévision, participation à la vie de la Société Astronomique de France (je fus pendant plusieurs années responsable du bulletin pour étudiants), sans oublier l'organisation de journées "portes ouvertes" à l'observatoire de Nice

× × × × × × × × × × × × × × ×

Une grande partie de mon activité scientifique a été consacrée jusqu'ici à l'étude des étoiles soumises à une cause de perturbation extérieure, en l'espèce un champ magnétique ou gravitationnel, étoiles que l'on qualifie généralement de non-sphériques.

Mon intérêt se porta d'abord sur les étoiles magnétiques dont on commençait alors à connaître les principales propriétés. Je tentai de construire un modèle d'étoile magnétique basé sur le mécanisme dynamo de E. PARKER ; dans cette théorie, qui prétendait expliquer entre autre le cycle solaire de 22 ans, le champ magnétique était entretenu et modulé par l'action conjuguée d'une rotation différentielle et de mouvements convectifs turbulents. Après quelques essais fort prometteurs, je soumis le mécanisme lui-même à un examen plus critique et je découvris qu'il était basé sur une hypothèse pas nécessairement vérifiée : PARKER supposait que le signe de la vorticité verticale était corrélé avec le sens des mouvements verticaux - il admit d'ailleurs la gratuité de cette hypothèse dans une conversation privée. Depuis, la question a été quelque peu clarifiée, notamment par F. KRAUSE qui montra le rôle de l'hélicité des mouvements turbulents dans la transformation en champ poloidal du champ magnétique azimuthal engendré par la rotation différentielle. Je décidai d'arrêter là, provisoirement du moins, mon travail sur le magnétisme stellaire ; j'étais à la recherche d'un sujet de thèse, et un travail valable dans ce domaine me semblait exiger des délais bien trop importants. Ce que j'avais accompli m'avait convaincu de la nécessité d'étudier d'abord sérieusement les mouvements de toute sorte qui se produisent dans une étoile perturbée par une cause extérieure.

Un objet de choix pour ce genre d'étude est l'étoile double serrée : chaque composante d'un tel couple voit son équilibre gravitationnel, et même thermique, profondément modifié par la présence du compagnon proche. Cette interaction gravitationnelle produit quelques effets bien connus : par exemple, la forme des composantes est altérée

et leur ellipticité est mesurable par des observations photométriques précises. Un autre effet est dû au fait que la distribution des masses à l'intérieur de chaque composante perd sa symétrie sphérique ; il en résulte un champ gravitationnel quadrupolaire qui perturbe le mouvement orbital du couple : si l'orbite est elliptique, la ligne des apsides ne reste pas fixe dans l'espace mais tourne d'un mouvement lent qui a été mis en évidence chez un certain nombre d'étoiles doubles serrées. On utilise cette propriété pour évaluer la répartition des masses à l'intérieur des deux composantes.

Je me suis intéressé à une autre conséquence de cette interaction gravitationnelle qui est la faculté d'échanger du moment angulaire entre la rotation des étoiles et leur mouvement orbital. Autrement dit, la rotation d'une composante peut être freinée (ou accélérée selon le cas) par la marée produite par l'autre étoile ; elle est freinée si la marée est en retard sur le passage de l'astre perturbateur, et accélérée dans le cas contraire. Cet effet avait été invoqué par plusieurs auteurs pour expliquer une propriété observée chez les couples serrés et sur laquelle nous reviendrons avec plus de détail : le fait que la rotation de chacune des étoiles est pratiquement synchronisée avec le mouvement orbital ; mais toutes les descriptions de cet effet étaient restées qualitatives. En analysant les processus physiques mis en jeu dans l'oscillation de marée, je fus en mesure de donner la première évaluation quantitative de ce transfert de moment angulaire (1965) ; celle-ci devait être confirmée ensuite par W. DZIEMBOWSKI.

Si l'étoile répondait au potentiel perturbateur par une oscillation parfaitement adiabatique, la marée serait en phase avec le passage du compagnon ; le déphasage, s'il existe, ne peut être causé que par un effet dissipatif. La viscosité de la matière stellaire est tellement faible qu'elle ne joue aucun rôle ; pour que la décélération devienne sensible, il faudrait attendre un temps cent ou mille fois supérieur à la durée de vie nucléaire de l'étoile (qui est le temps nécessaire à l'épuisement de l'hydrogène dans ses régions centrales). L'amortissement radiatif, c'est-à-dire les écarts à l'adiabaticité dus au transfert radiatif de l'énergie, joue lui un rôle

nettement plus important ; il donne naissance à un déphasage que j'ai appelé la marée radiative (1966c) . Mais le processus qui domine est le déphasage causé par la viscosité turbulente (eddy-viscosity) des zones convectives de l'étoile ; cette marée convective est particulièrement efficace quand la zone convective est épaisse et qu'elle est située près de la surface, ce qui est le cas des étoiles dont la masse est inférieure à 1.6 masse solaire d'après les théories actuelles sur leur structure interne. Quand une telle étoile est membre d'un système double serré, je trouvai que sa rotation se synchronise avec le mouvement orbital dans un temps très court comparé à sa durée de vie nucléaire (1966b, 1967a). De plus, je fus en mesure d'expliquer pourquoi les orbites des binaires serrées comprenant une étoile de faible masse étaient toutes circulaires. Contrairement à ce qu'affirmait J.H. JEANS en toute généralité, l'excentricité des orbites décroît en effet quand l'une des composantes du couple possède une importante zone convective extérieure. Or, l'observation montre précisément que les couples dont l'orbite est elliptique ne contiennent pas d'étoiles dont la masse est inférieure à 1.6 masse solaire : la seule exception, selon l'usage, confirme la règle car c'est une paire très séparée pour laquelle le temps de circularisation calculé est de l'ordre de plusieurs milliards d'années (1966c).

L'interaction gravitationnelle dans les doubles serrées produit d'autres effets plus subtils qui peuvent affecter l'évolution nucléaire elle-même de ces étoiles en provoquant le remélange de zones rendues inhomogènes par la combustion de l'hydrogène (1967b). J'ai décrit également un phénomène que j'ai appelé, faute de mieux, pseudo-résonance ; il se manifeste par des mouvements horizontaux de grande amplitude et se produit pour certaines vitesses de rotation bien définies (1966a, 1966d). Quand la rotation est uniforme, par exemple, la pseudo-résonance intéresse toute l'étoile et elle a lieu pour une vitesse de rotation supérieure de $1/2$ à celle qu'exigerait la synchronisation avec le mouvement orbital ; quand la rotation n'est pas uniforme, le phénomène est localisé au voisinage d'une ou plusieurs surfaces équipotentielles discrètes (d'où le nom de pseudo-résonance). L'oscillation propre excitée dans cette résonance a été trouvée peu après et indépendamment par l'hydrodynamicien W. MALKUS ; il se dit persuadé qu'elle joue un rôle important dans l'atmosphère terrestre où il lui a donné le nom de "shellular mode".

Ce travail, qui constitua le sujet de ma thèse dirigée par E. SCHATZMAN, était basé sur une hypothèse communément admise : celle que la structure de l'étoile reposait sur l'équilibre hydrostatique. Nous avons vu plus haut que la marée hydrostatique rendait bien compte des observations en ce qui concerne la rotation des composantes de doubles serrées de masse inférieure à 1.6 soleils, mais elle est incapable d'expliquer leur comportement quand la masse est plus grande, c'est-à-dire quand ces étoiles ne possèdent pas de zone convective extérieure suffisamment épaisse. Les observations montrent en effet que dans ce cas aussi la rotation est en règle générale synchronisée avec le mouvement orbital quand la période de révolution du couple est inférieure à 6 jours environ. Pour expliquer cette propriété, j'ai repris l'étude des effets de marée, mais en abandonnant cette fois l'hypothèse de l'équilibre hydrostatique ; autrement dit, je me suis intéressé à la marée dynamique. Parmi les modes d'oscillations non-radiales d'une étoile certains, les modes de gravité, ont une période assez grande pour qu'ils puissent entrer en résonance avec le potentiel perturbateur périodique exercé par le compagnon. Comme la période de la marée est dans tous les cas nettement supérieure à celle de l'oscillation fondamentale, seules des harmoniques d'ordre élevé peuvent entrer en résonance, ce qui permet de résoudre le problème par une méthode asymptotique (1970a). J'ai trouvé ainsi que l'effet de ces résonances est loin d'être négligeable pour les couples serrés, contrairement à ce qui était admis jusqu'ici. Par exemple, si le défaut de synchronisme entre la rotation et le mouvement orbital est assez grand, la distribution de brillance sur la surface de l'étoile est nettement affectée, au point que le disque vu depuis l'autre composante perd sa symétrie Est-Ouest. Si dans ce cas on interprète les observations de la manière habituelle, on attribue l'asymétrie de la courbe de lumière ou de la courbe de vitesse radiale à une excentricité de l'orbite qui en fait n'existe pas (1974d).

Mais la propriété la plus intéressante de la marée dynamique est qu'elle donne naissance par amortissement radiatif à un couple de freinage très supérieur à celui de la marée hydrostatique : la synchronisation de la rotation peut s'accomplir en un temps de l'ordre de la durée de vie nucléaire de l'étoile pourvu que la période de

révolution de la binaire soit inférieure à 6 jours environ (le résultat dépend quelque peu des masses des deux composantes). La rotation lente et quasi synchrone des étoiles doubles serrées semble donc entièrement expliquée par les effets de marée (1972).

Entre temps, j'avais utilisé mon expérience dans le traitement des oscillations non-radiales pour tenter d'expliquer la variabilité des étoiles δ Scuti (1968). L'intérêt soulevé par les étoiles variables à courte période est tel que nous avons constitué ensuite, avec quelques collègues dont A. BAGLIN, A. BIJAOU, J.-M. LE CONTEL, F. PRADERIE, P. SOUFFRIN et J.-C. VALTIER une R.C.P. destinée à mieux les étudier à la fois sur le plan théorique et observationnel. Plus récemment, j'ai entrepris avec G. BERTHOMIEU une étude asymptotique pour déterminer les modes acoustiques non-radiaux qui peuvent être rendus responsables de l'oscillation de 5 minutes sur le Soleil.

Il me reste à parler d'un travail que j'avais entrepris en même temps que je préparais ma thèse et que je n'ai pu mener alors à son terme. Même l'étoile la plus commune est soumise à une force perturbatrice pour la raison qu'elle est animée d'un mouvement de rotation. A cause de la rotation l'équilibre radiatif ne peut être maintenu et il en résulte une très lente circulation de matière à l'intérieur de l'étoile. Cette circulation avait été découverte par A.S. EDDINGTON ; il levait ainsi le paradoxe de H. VON ZEIPPEL qui avait montré qu'une étoile en rotation ne pouvait être en équilibre radiatif que si la génération d'énergie suivait une loi très particulière, trop particulière pour être jamais réalisée. Mais EDDINGTON avait fortement surestimé la vitesse de circulation, que P. SWEET ramena ensuite à des proportions plus modestes. Il n'en demeurerait pas moins que cette circulation devait conserver à l'état homogène les étoiles en rotation relativement rapide; pour fixer les idées, les étoiles de masse supérieure à 2 masses solaires. Or les observations montrent clairement que l'évolution se poursuit de

façon inhomogène, du moins dans la grande majorité des cas, car la seule façon d'expliquer l'existence des géantes est d'admettre que le noyau de ces étoiles est beaucoup plus pauvre en hydrogène que leur enveloppe. L. MESTEL reprit le travail de SWEET en tenant compte des inhomogénéités de composition chimique qui, il le montra, altèrent complètement la circulation ; la raison en est que si la composition, et par conséquent l'opacité, ne sont pas constantes sur une équipotentielle, celle-ci cesse d'être une isotherme. Mais le traitement de MESTEL ne pouvait qu'être approximatif car on ne disposait pas alors d'ordinateur pour résoudre numériquement ce problème de caractère fortement non-linéaire. Je décidai de m'atteler à cette tâche, avec l'intention d'expliquer les étoiles anormales bleues que l'on trouve dans certains amas, et certaines doubles serrées, par une rotation rapide susceptible de maintenir ces étoiles à l'état homogène, ce qui prolongerait leur vie nucléaire. Je suivis l'évolution d'une étoile perturbée par un potentiel extérieur jusqu'au moment où l'hélium créé par la combustion de l'hydrogène atteint la surface de l'étoile. Dans certaines régions il se produit alors une inversion de composition qui donne lieu à une instabilité du type de celle que l'on observe dans les océans quand le degré de salinité décroît avec la profondeur. Mais quand l'évolution se poursuit, il se forme des gradients de masse moléculaire très élevés au voisinage du noyau convectif, et ma méthode d'intégration fut incapable de maîtriser les instabilités numériques qui s'y déclarèrent. Je ne pus poursuivre ce travail, qui devait à l'origine constituer la partie principale de ma thèse, mais en le mettant de côté je me promis de le reprendre plus tard. Depuis, j'ai pris conscience de l'importance des instabilités provoquées par la rotation différentielle qui est engendrée par la circulation méridienne, instabilités dont devra tenir compte tout calcul détaillé d'évolution stellaire (1974a).

Tous ces travaux avaient mis en évidence la nécessité de rendre les modèles plus réalistes en tenant compte des divers phénomènes hydrodynamiques susceptibles de se produire dans les étoiles. L'astrophysicien prend d'ordinaire des résultats trouvés par les

UNIVERSITÉ DE NICE

OBSERVATOIRE

LE MONT-GROS - 06300 NICE

TÉLÉPHONE : 89.04.20

TELEX : 46 004

NICE, LE 19 juin 1974

JPZ/144/cc

Monsieur Paul MULLER
Astronome Titulaire
de l'Observatoire de Paris
Observatoire de Meudon
5, place Janssen
92190 MEUDON



Eok W938

Mon cher Collègue,

J'ai l'honneur de vous faire connaître que j'ai posé
ma candidature à un poste d'Astronome Titulaire.

Je vous prie de trouver ci-joint une notice sur mes
titres et travaux.

Veuillez agréer, mon cher Collègue, l'expression de
mes sentiments les meilleurs,

et bien cordiaux.

Jean-Paul Zahn

Jean-Paul ZAHN

JOINT INSTITUTE FOR LABORATORY ASTROPHYSICS



UNIVERSITY OF COLORADO

UNIVERSITY OF COLORADO
BOULDER, COLORADO 80302



NATIONAL BUREAU OF STANDARDS

le 22 avril 1975



Eote: W238

Monsieur Paul Muller
Astronome titulaire
CERGA
Grasse

Cher Collègue,

J'ai l'honneur de vous faire connaître que j'ai posé ma candidature à un poste d'astronome titulaire.

Mon éloignement de Nice rend difficile une refonte complète de ma notice de titres et travaux, et je vous prie de bien vouloir excuser la procédure inhabituelle que je suis obligé d'adopter cette fois. L'Observatoire de Nice vous fera parvenir directement une copie de ma note de l'an dernier; pour la mettre à jour, je vous joins ici un rapport d'activité et une liste de publications concernant l'année en cours.

En vous remerciant d'avance pour l'attention que vous voudrez bien accorder à ma candidature, je vous prie d'agréer, cher Collègue, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Bien cordialement,

Jean-Paul Zahn

Rapport d'activité 1974-75

Comme il avait été convenu avec le Conseil de l'Observatoire de Nice, je suis parti pendant un an à l'étranger afin de poursuivre un travail entrepris avec deux collègues américains, Edward Spiegel (Columbia University) et Juri Toomre (University of Colorado). Ce détachement a été rendu possible par Philippe Delache, qui a bien voulu me remplacer à la direction de l'observatoire.

Pendant mon séjour au Joint Institute for Laboratory Astrophysics de Boulder, j'ai consacré la plus grande partie de mon activité à l'étude de la convection thermique. Avec Juri Toomre et Jean Latour, de Nice (qui a passé un mois avec nous à New York), nous avons terminé notre travail sur les zones convectives dans les étoiles du type A. Nous trouvons entre autre que les mouvements convectifs pénètrent profondément dans les couches stables adjacentes, et que les deux zones convectives (dus respectivement à l'ionisation de l'hydrogène et à la deuxième ionisation de l'hélium) sont connectées et forment une zone unique bien mélangée. Nos calculs montrent qu'il faut rejeter certaines explications des étoiles à raies métalliques basées sur la diffusion thermique des éléments: cette diffusion ne peut avoir lieu dans un milieu turbulent. Nous appliquons maintenant notre programme numérique à l'étude de la zone convective du Soleil, un problème beaucoup plus ardu car les mouvements convectifs s'étendent sur plusieurs échelles de hauteur de la pression.

Pour mieux analyser les différents mécanismes en jeu, nous poursuivons parallèlement une étude de la convection pénétrative dans les conditions Boussinesq (c'est-à-dire en négligeant la compressibilité de la matière stellaire et la stratification en densité). Ce modèle très simplifié nous permet de suivre la variation de la profondeur de pénétration en fonction de divers paramètres décrivant les propriétés du fluide et le degré de stabilité ou d'instabilité des régions concernées. Nous trouvons que cette profondeur de pénétration peut atteindre l'épaisseur de la zone instable. Un autre modèle simplifié est utilisé pour étudier les interactions entre deux modes convectifs présents simultanément; il s'agit de comprendre pourquoi au centre des cellules convectives le fluide monte quand il s'agit

d'un liquide, mais descend au contraire dans le cas d'un gaz (comme il est observé dans la photosphère solaire).

J'ai également profité de mon séjour à Boulder pour terminer la rédaction d'un travail sur la marée dynamique dans les étoiles doubles serrées. Cette marée est beaucoup plus puissante que la marée d'équilibre dans les étoiles de type jeune (qui ne possèdent pas de zone convective extérieure). Le mécanisme dissipatif qui est responsable du couple appliqué aux étoiles est ici l'amortissement radiatif dans les couches situées près de la surface. Les échelles de temps calculées sont en bon accord avec les observations; en particulier, je parviens à expliquer pourquoi les binaires X ont des orbites d'excentricité négligeable.

Enfin, j'ai poursuivi un autre travail sur la rotation différentielle des étoiles. L'an dernier, j'ai proposé les instabilités de cisaillement comme devant limiter l'importance de cette rotation différentielle, et j'ai donné un critère de stabilité pour le gradient vertical de la vitesse de rotation. J'analyse en ce moment le rôle du transport de moment angulaire par les ondes de gravité qui sont émises par les zones convectives. Les géophysiciens connaissent bien ces ondes; elles sont responsables de la turbulence observée dans le jet-stream atmosphérique, qui autrement serait une région de courant laminaire. La motivation de ce travail est d'examiner si le Soleil peut posséder un noyau en rotation rapide, comme il a été avancé par plusieurs théoriciens. Un tel noyau pourrait expliquer l'absence troublante des neutrinos solaires, et réconcilierait la théorie de la gravitation de Brans-Dicke avec les observations du mouvement du périhélie de Mercure.

Jean-Paul Zahn

Publications 1974-75

- 1974 Nonlinear cellular motions in Poiseuille channel flow (avec D. Gough, E. Spiegel & J. Toomre). J. Fluid Mechanics, 64, 319.
- 1974 Rotational instabilities and stellar evolution. Stellar Instability and Evolution. (P. Ledoux et al, edit.), 185.
- 1975 Differential rotation and turbulence in stars. Mém. Soc. Royale Sci. Liège, 6e série, VI, 31.
- 1975 The dynamical tide in close binaries. (soumis à Astron. & Astrophys.)
- 1975 Anelastic stellar convection theory. I. The anelastic approximation and the modal approach (avec J. Latour, E. Spiegel & J. Toomre). (soumis à Astrophys. J.)
- 1975 Anelastic stellar convection theory. II. Single-mode analysis of the second convection zone in an A-type star (avec les mêmes). (soumis à Astrophys. J.)

en préparation

Tidal friction in close binary stars.

Observational consequences of the dynamical tide in close binaries.

Penetrative Boussinesq convection. The single-mode analysis (avec J. Latour et J. Toomre).

La rotation du Soleil (pour publication dans La Recherche).

