

GROUPE SPECIALISE 02
E T O I L E S

REUNION DE PROSPECTIVE
5-6 novembre 1969

rapport rédigé par Annie BAGLIN
Observatoire de Nice
Le Mont-Gros
06- NICE

OCA - NI - 0 111 66



W 263 011166
Usuel OCA



011168

W 263

Usuel OCA

Groupe Spécialisé 2 Etoiles.Compte-rendu de la réunion de prospective
des 5 et 6 novembre 1969

Cette réunion avait été décidée par le conseil du groupe, lors de sa réunion de mai 1969.

Son but était de permettre à tous les membres du conseil

- de recueillir les informations scientifiques nécessaires pour pouvoir porter des appréciations sur les travaux en cours dans le groupe. Lors des examens de dossiers de demande de crédits de personnel ou de chercheurs, de telles appréciations sont nécessaires puisqu'il y a des choix à faire ;

- de discuter des grandes orientations à favoriser pour l'avenir, de façon à exercer un soutien particulier à certaines formations de recherche, de façon aussi à pouvoir conseiller et éventuellement réorienter de jeunes et moins jeunes chercheurs, qui le souhaitent.

Dans cette réunion, la première du genre, il a été uniquement parlé de science et de programmes. Aucun travail administratif n'a été fait. Celui-ci est reporté à une autre réunion du conseil les 27 et 28 novembre 1969.

L'assemblée comprenait le conseil scientifique du groupe et un certain nombre de personnes invitées, à la réunion par le comité permanent qui l'avait organisée.

Etaient présents :

- Conseil du Groupe : Baglin, Bücher, Doazan, Hernandez, Le Contel, Rousseau, Spite, Van't Veer, Querci.

- Invités : Praderie (section X) pour l'ensemble de la réunion
Balaskovic, Bijaoui, Cayrel, Delache,
Delhayé, Delplace, Labeyrie, Lortet, Pecker,
Rösch, Schatzman,

qui ont assisté à toute la réunion ou en partie seulement (essentiellement le 6 novembre).

La première journée a été consacrée à un examen de l'activité scientifique du groupe telle qu'elle ressort des rapports que les équipes de recherche et les membres individuels ont envoyés au conseil, ainsi que des compléments d'information fournis par les rapporteurs.

Des rapporteurs avaient été désignés (cf lettre du 20/10/69). Des discussions ont suivi chaque rapport et une discussion générale a terminé la première journée.

.../...

.../...

Les rapports d'activité ne seront pas repris ici. Il a été décidé de publier au printemps 1970 un fascicule sur l'activité du G.S. en 1969-70, à l'aide de rapports nouveaux demandés aux équipes de recherches. Seules les discussions seront résumées ici.

La journée du 6 a été consacrée à des exposés des invités et des discussions sur les développements futurs de la physique stellaire.

Les exposés sont ici résumés. Les discussions seront retransmises le plus fidèlement possible.

Le conseil souhaite que ce document constitue, vis à vis des membres du G.S. un exposé clair de sa pensée définissant la politique qu'il a suivie et entend suivre dans toutes les décisions et les avis qu'il a du et devra prendre.

.../...

I - DISCUSSION faisant suite aux rapports sur :

- étoiles variables, modèles stellaires,
- étoiles doubles et particulières,
- étoiles servant à l'étude de la galaxie.

Le bilan de la situation est : accumulation énorme d'observations non interprétées, dans certains domaines, en particulier Novae, * Am, Ap, * Be, * symbiotiques, et pratiquement pas de travaux théoriques permettant leur interprétation. Cependant, un certain progrès a été fait au niveau de l'interprétation primaire des résultats, et de l'obtention de certains paramètres intermédiaires.

Le déficit en théoriciens est énorme dans ce G.S. et les passerelles entre les quelques théoriciens et les observateurs sont très nettement insuffisantes.

Une discussion s'est engagée sur ce que l'on entend par "une bonne observation" et on a mis en évidence la nécessité de la définition préalable d'un programme, à la fois théorique et observationnel, où la conception globale de l'objet à étudier conditionne la méthode d'approche.

Il faut choisir les observations qui, étant donné l'état des théories existantes, permettent d'infirmer ou de confirmer l'une ou l'autre, de façon à faire progresser les travaux théoriques. Il faut aussi s'attacher à définir pour chaque théorie des tests observationnels.

Depuis un certain temps, on assiste à des regroupements fructueux parmi les observateurs, mais insuffisants au niveau des théoriciens, aucun groupe n'a la masse critique pour faire une percée.

La création d'équipes, de RCP, permettrait d'améliorer la situation, en particulier en rompant le mythe de la spécialisation en observateurs ou théoriciens.

Certains sujets, nécessitant des discussions approfondies et des confrontations ont été dégagés par exemple : classifications stellaires, étoiles Am.

Les chercheurs préoccupés par ce problème organiseront des journées de travail au cours desquelles pourraient se dégager des programmes coordonnés.

D'autre part, dans la période de basse conjoncture que nous traversons, il ne sera possible d'encourager que les équipes qui produisent des observations interprétables et d'accepter les programmes d'observation nouveaux qu'après examen sérieux. De toute façon on s'attachera à favoriser l'encadrement théorique.

Le cas de certains chercheurs isolés a été soulevé. Il sera discuté lors de la 2ème réunion de novembre du G.S. 2.

../..

II - DISCUSSION faisant suite aux rapports sur :

- les méthodes caméra électronique,
- les méthodes I.R.,
- les méthodes U.V. et espace.

Peu d'équipes utilisent régulièrement la caméra. Cependant un progrès est enregistré. Le G.S. 2 estime que la C.E. doit constituer un élément de progrès important dans les années à venir car c'est un récepteur sur lequel on possède une avance réelle. Toutefois de nombreux problèmes se posent. Il n'existe pas encore de spectrographe bien adapté à la C.E. ni à l'O.H.P. ni au Chili. Le futur spectrographe C.E. de BARANNE, attaché au tél. de 1,52 m de l'O.H.P. fournira certainement l'occasion de mettre sur pied des programmes nouveaux qui utiliseront au maximum les possibilités de ce récepteur. D'autre part, le problème du dépouillement des plaques électrographiques se pose dès à présent.

Il devient urgent d'étudier ce problème si l'on ne veut pas à nouveau remplir nos tiroirs de plaques non dépouillées. Bijaoui a été chargé d'étudier et de rédiger un projet chiffré de microdensitomètre digitalisé spécialement conçu pour la C.E., qui sera ensuite soumis au conseil de Direction de l'I.N.A.G..

D'autre part, il ne suffit pas de faire des spectres caméra, il faut avoir défini une ligne scientifique et on retombe sur le problème de la relation observateurs théoriciens abordée précédemment.

Les techniques I.R. mises au point par Connes devraient également permettre aux chercheurs français de se placer à un niveau international très compétitif.

Mais, aucune équipe de théoriciens n'est actuellement capable de travailler sur l'interprétation des spectres I.R. publiés par l'équipe de Connes, alors qu'aux E.U. on a déjà sorti des résultats. De jeunes chercheurs ont été recrutés, mais on doit déplorer l'insuffisance de leur encadrement scientifique.

Le C.G.S. a longuement discuté de la façon de créer cet encadrement. Un appel aux thermodynamiciens (Prêtre) sera fait. On envisage aussi d'inviter des étrangers comme professeurs associés (japonais, canadiens, américains).

On envisage ensuite la situation de l'U.V. et des techniques spatiales appliquées aux étoiles. Le laboratoire ayant les expériences les plus importantes engagées est le L.A.S.. Un gros travail de prévision et ensuite d'interprétation est à faire. La construction de modèles d'étoiles chaudes démarre. La collaboration entre théoriciens et expérimentateurs est à encourager tout particulièrement dans ce domaine. Les restrictions budgétaires au C.N.E.S. ne permettent cependant pas d'espérer une expansion considérable des expériences dans les prochaines années.

../..

.../...

III - E. Schatzman : Reflexion sur l'astrophysique stellaire.

Il ne s'agit pas d'un effort pour tracer un programme ni pour dessiner des perspectives de recherche concrètes. Il s'agit plutôt d'une exploration, d'une tentative pour indiquer ce qui est important, de façon à provoquer une discussion et ensuite à engendrer des programmes de travail.

Si l'on veut se livrer à une étude prospective de l'astrophysique stellaire, deux démarches sont possibles. D'une part il paraît nécessaire de mettre d'abord en évidence les grands processus physiques qui gouvernent la matière stellaire, les paramètres essentiels définissant les structures et caractérisant les propriétés des étoiles, et de chercher ensuite dans quelle mesure ces grandeurs sont observables.

D'autre part, on peut chercher quelles méthodes et quels domaines d'observation, capables d'amener des nouvelles découvertes, doivent être développées. Dans le premier cas, des études de faisabilité doivent être entreprises, afin de dégager des perspectives et d'établir des programmes.

Problèmes de structure stellaire

Les étoiles ne nous sont connues que par leur propriétés globales (quand on peut les atteindre : luminosité, masse, rayon) et par leur spectre. Si j'ai tenu à rapporter cette banalité, c'est parce que l'étude des atmosphères stellaires ne peut être séparée de l'étude des structures stellaires et réciproquement. Or, ce serait une erreur de dire que la relation atmosphère-structure est réellement comprise.

1) atmosphère :

Pour une discussion plus détaillée cf. exposé de Delache. L'étude fine des atmosphères conduit à la fois à déterminer leurs paramètres physiques et l'abondance des éléments qui les constituent. Mais si l'on veut bien faire le point aujourd'hui, et malgré des progrès considérables, il s'agit d'un vœu pieux.

Un grand nombre de processus mal connus interviennent. On peut en citer quelques uns sur lesquels une étude pourrait être entreprise.

L'élargissement des raies fait intervenir les processus microscopiques fort mal décrits : turbulences, ondes et effet Zeeman stochastique. Ce dernier effet, suggéré à Stockholm en 1956 est resté ignoré. Des efforts sont faits à l'I.A.P. pour le mettre en évidence dans le soleil. De toutes façons, il serait souhaitable dans l'étude de la courbe de croissance, et, toutes les fois que cela est possible, de classer les raies d'un même élément d'après leur facteur de Landé.

La détermination éventuelle des micro-champs magnétiques est sans aucun doute d'une importance considérable. Ces champs sont liés au

.../...

.../...

mécanisme dynamo, lui-même déterminé par une combinaison d'effets dus à la rotation et à la turbulence.

On sait que la plupart des modèles d'étoiles présente une couche avec inversion de densité. La nature des mouvements qui prennent naissance dans un tel milieu est mal connue. Il serait intéressant de déterminer dans le diagramme HR la région occupée par les étoiles dont l'atmosphère présente une inversion de densité. Il conviendrait également d'examiner dans quelle mesure une étude des profils de raies, sans aller naturellement jusqu'à la résolution à la Roddier, permettrait de faire avancer le problème hydrodynamique.

Avec le problème des abondances, on touche à un des problèmes majeurs de l'étude des atmosphères stellaires. D'ordinaire on suppose implicitement qu'une atmosphère est de composition chimique uniforme. Il paraît évident, à première vue, que les mouvements dans une atmosphère sont si violents, qu'ils brassent celle-ci de façon continue. On sait depuis le travail de Delache sur la Couronne qu'un triage thermique est possible. Certainement sans importance au niveau photosphérique dans les étoiles de la série principale, il conviendrait de rechercher si cet effet est toujours sans importance.

2) Structure interne :

Les problèmes de composition chimique sont là encore fort importants et très mal connus.

Des variations de composition chimique peuvent certainement exister du centre à la surface d'une étoile et l'étude des abondances superficielles peut fournir des tests de cette hétérogénéité.

Cette question est liée aux phénomènes de transport à l'intérieur de l'étoile. On connaît au moins deux mécanismes importants : la circulation méridienne induite par la rotation, et la diffusion turbulente.

L'étude de la concentration en chaque point de l'étoile et à chaque instant de son évolution doit tenir compte des phénomènes de création et de destruction nucléaire ainsi que des processus de transfert.

Les éléments se comportent très différemment :

- Certains éléments pré-existent à la formation de l'étoile et sont détruits, ou leur abondance est affectée par les réactions thermo-nucléaires.

C'est par exemple le cas des éléments légers (Li, Be, B), des éléments du cycle du carbone (C^{12} , C^{13} , N^{14} , N^{15}).

- Certains éléments sont formés à une certaine phase et leur concentration modifiée ultérieurement. C'est le cas typique des éléments légers (Li, Be, B).

.../...

.../...

- Certains éléments diffusent au cours de leur production thermonucléaire. C'est par exemple le cas de l'hélium ^3He , du carbone (cycle du carbone, hélium burning) etc...

L'étude de l'abondance des éléments, à condition de procéder à un choix judicieux, devrait permettre de trouver au moins l'ordre de grandeur des phénomènes de diffusion turbulente à l'intérieur des étoiles. A titre d'exemple, on peut mentionner une possibilité d'explication des relations complexes entre $[\text{Li}]$, $[\text{Li}] / [\text{Be}]$, et rotation.

On doit aussi se poser le problème des abondances à la formation, de la persistance des homogénéités fossiles puis du rôle de l'accrétion éventuelle par échange dans un système double ou un amas très serré, par pollution des explosions de S.N..

Du point de vue modèle de structure interne, l'époque est passée des étoiles sphériques. Néanmoins, en ce qui concerne les étoiles en rotation, il faut probablement distinguer entre les étoiles isolées et les étoiles doubles, et parmi celles-ci, distinguer les effets dûs à la rotation des effets dûs à la duplicité. Ce qui est important, c'est que la rotation engendre toute une série de phénomènes, les uns classiques, les autres nouveaux.

La question brûlante est celle de l'établissement de la rotation différentielle, de la stabilité des lois de rotation (th. de Golreich et Schubert), de la loi de variation de perte de moment angulaire.

Du côté observationnel des progrès incontestables ont été faits dans ce domaine depuis quatre ans, soit en établissant la correction de magnitude absolue due à la rotation, soit en établissant la correction de couleur, soit enfin en calibrant la mesure de $V \sin i$ à partir des profils.

Une tentative particulièrement intéressante qui mérite d'être développée, est celle de Brunner (Genève) qui a essayé d'utiliser D (discontinuité de Balmer) $B-V$ et la magnitude absolue pour déterminer $V \sin i$ simplement par la photométrie. A cet égard, le choix des bandes paraît d'une importance considérable. La relation âge-rotation étudiée par Wilson et Kraft devrait être reprise.

3) Stabilité :

Le problème de la stabilité des systèmes mécaniques complexes que sont les étoiles n'a pas seulement un intérêt astrophysique.

- Du point de vue global, une étoile qui pulse, dans n'importe quel mode peut être considérée, dans un diagramme utilisant des variables canoniques, comme ayant atteint un cycle limite. La question des cycles limites est une question mécanique importante (théorie de Van der Pol), et l'on doit toujours se demander si le cycle limite est atteint à partir d'un état d'équilibre ou à partir d'un état dynamique.

.../...

.../...

On peut aussi se demander si un système doit toujours atteindre un cycle limite. Le résultat de Hillendahl, dans lequel les phénomènes de réflexion multiple d'une onde de choc dans les régions extérieures ont des périodes incommensurables entre elles et incommensurables avec la période d'oscillation globale de l'étoile conduirait plutôt à penser qu'il y a des cas où un système n'atteint jamais de cycle limite. Il serait intéressant de faire le point des connaissances mathématiques actuelles sur ce problème.

- Du point de vue local, un problème encore incomplètement résolu est celui du couplage dynamique-transfert. Passablement traité dans un très petit nombre de cas particuliers, abordé par des méthodes numériques puissantes dans certains cas, il ne semble pas qu'on puisse éviter le calcul numérique. Mais ce calcul doit être conduit de façon à approfondir la signification physique des phénomènes.

- Du point de vue local, également, un problème non résolu est celui du couplage de l'oscillation avec la turbulence de la zone convective. Mentionné au colloque de 1965, le problème ne semble pas avoir fait de progrès depuis.

Les mécanismes stabilisants ou déstabilisants ne sont certainement pas tous connus. Kappa mécanisme et Cp mécanismes sont bien connus. Auré (1969) a montré que le mu-mécanisme ne permettait pas d'expliquer les oscillations des étoiles β C Ma.

Dans cette situation que peut apporter l'étude observationnelle des étoiles variables ? En ce qui concerne les étoiles variables type Céphéides, leur prolongation vers les Céphéides naines et éventuellement vers les δ Scuti pourrait permettre de délimiter exactement les frontières du domaine des étoiles variables. La recherche des paramètres physiques (rotation, champ magnétique), l'étude de la composition chimique, la détermination du caractère double ou non, pourraient aider à comprendre les mécanismes d'instabilité. La détection éventuelle du passage des ondes de choc, des ondes de raréfaction en particulier, éclairerait le problème "dynamique-transfert". Dans tous ces domaines, une haute résolution est nécessaire, soit haute résolution spectrale (étude de profils de raies), soit haute résolution dans le temps (passage des ondes thermiques), et de préférence les deux.

Les questions de stabilité des objets non sphériques (ex : composante d'une double serrée, étoile en rotation rapide) sont importantes.

Il y a une possibilité qu'une étoile ayant une déformation finie puisse osciller sur des modes qui seraient stables pour une étoile sphérique (exchange of stability). Ce processus mérite d'être examiné.

Etoiles doubles

En dehors des problèmes classiques de photométrie des étoiles doubles (déformation, assombrissement, étoiles doubles à éclipses,

.../...

.../...

étoiles doubles spectroscopiques), on doit faire face à un problème d'une très grande importance pour l'étude de l'évolution des étoiles doubles : le problème de l'échange de masse.

Les données que l'on peut recueillir sont les suivantes :

- Données cinématiques : détermination exacte de la période et du taux de changement de la période. Ceci est en principe possible pour les étoiles doubles photométriques connues depuis longtemps. Une étude bibliographique paraît nécessaire, afin d'examiner s'il y a lieu de reprendre ce qui a déjà été fait et par quels moyens.

- Données photométriques : en général, ces étoiles présentent des anomalies photométriques dues au nuage circum-stellaire. La calibration exacte de ces anomalies permettrait de déterminer la quantité de lumière qui provient du nuage stellaire.

- Données spectroscopiques : le nuage circum-stellaire est, par moment, un trait spectroscopique dominant. L'étude du profil des raies d'émission pourrait fournir des données dynamiques essentielles, en particulier la fonction de distribution de la quantité de mouvement.

D'autre part, il conviendrait de reprendre le problème hydrodynamique. Quelle est l'approximation mathématique la plus adéquate pour traiter ce problème ?

Il paraît d'une simplification exagérée de supposer que toute la masse perdue par une étoile aille sur l'autre. Quelle fraction de la masse est perdue par le système ? Les deux hypothèses, accrétions complètes et pas d'accrétions du tout, mériteraient d'être comparées et discutées.

Les hypothèses de Renson et de Van den Heuvel sur la capture dans les étoiles Am et Ap devraient être discutées à nouveau. Il est clair, d'après les études sur la diffusion, que la couche présentant les anomalies de composition est épaisse (si même il ne s'agit pas de toute l'étoile). Y a-t-il aussi une anomalie du rapport $[H] / [He]$? Dans l'hypothèse Renson, Van denHeuvel, quelle est la probabilité de trouver une étoile entrain de devenir Am ou Ap ? Est-ce-qu'une telle étape de l'évolution est détectable observationnellement ?

Etoiles I.R.

Une grande partie du colloque de Liège a été consacré aux étoiles I.R..

Il est clair que l'étude de ces objets va de pair avec une étude classique dans le visible et U.V.. Leur importance pour la compréhension du mécanisme de formation des étoiles paraît justifier des efforts observationnels considérables, et immédiatement après, des efforts théoriques non moins importants.

.../...

.../...

Novae

Sujet ancien et réputé classique, qui ne paraît cependant guère résolu à l'heure actuelle. La littérature contient 3 ou 4 théories des novae, et il n'y a même pas d'accord sur l'hypothèse éjection continue ou éjection en couche.

Il paraît utile d'utiliser un certain nombre de très bonnes observations de novae pour reprendre le problème. En particulier, la question de la direction de l'éjection de matière (calottes polaires, anneau équatorial) récemment revu par Mustel dans le cas de Nova Aquila 1918 et de Nova D Herculis 1934, peut jeter un jour nouveau sur le mécanisme d'instabilité et le mécanisme d'éjection lui-même. Selon Mustel, l'observation montre que les calottes sont éjectées parallèlement à l'axe de révolution du système double et l'anneau équatorial dans le plan de l'orbite. On doit cependant tenir compte de la distance à laquelle se trouve le gaz lorsqu'il est observé. L'éjection est suivie d'un mélange et d'une dilation du gaz par suite de la cinématique du système. En tout état de cause il paraît difficile d'accepter des modèles d'enveloppe de Novae supposant des couches sphériques et la symétrie sphérique.

Du point de vue théorique, on peut noter l'échec d'un modèle de Finzi pour expliquer la formation des nébuleuses planétaires par pression de radiation. Cet échec paraît dû à un certain nombre d'approximations, soit mathématiques, (modèle stationnaire), soit physiques (coefficient d'absorption hors ETL et mécanisme de production d'énergie). Cependant il prouve qu'une éjection de matière par pression de radiation est possible.

On peut se demander s'il n'y aurait pas avantage à aborder le problème de l'éjection de matière par pression de radiation dans une étoile non sphérique (composante géante de l'étoile double). Une production supplémentaire d'énergie va augmenter la pression de radiation et créer quelque part dans l'étoile une gravité négative. S'il s'agit d'une étoile à couche convective profonde, avant instabilité, la gravité n'est pas proportionnelle au flux, comme dans une étoile à couche radiative. Une augmentation du flux produira un effet dynamique différent suivant les régions différentes de l'étoile, et un effet qui variera au cours de l'éjection, par suite des modifications de structure dues à la pression de radiation elle-même.

Conclusion : Physique fondamentale et Astrophysique

Chaque problème astrophysique peut être envisagé sous plusieurs angles. Mais on peut toujours se poser la question de savoir comment et en quoi l'étude des astres permet d'atteindre la connaissance des lois fondamentales de la physique. Je donnerai là une liste brève de questions importantes non résolues et pour lesquelles l'étude des étoiles est décisive.

.../...

../..

1) Turbulence et couche limite : L'existence presque certaine de la diffusion turbulente dans les étoiles pose le problème de la genèse de cette turbulence en milieu compressible. La couche limite (couche turbulente produite dans un gradient du champ de vitesse) se produit-elle, ou non dans une étoile ?

En application on trouve : la figure du Soleil et son moment quadrupolaire, l'avance du périhélie de Mercure, la signification de l'expérience de Dicke, la validité de la relativité générale d'Einstein.

2) Cosmochronologie : Dans le domaine $1,2 - 0,5$ Mo, les étoiles n'ont pas de noyau convectif. La diffusion de l'hélium 3 change l'échelle de temps de l'évolution stellaire et la diminue (peut-être de 30 %). Cela peut conduire à une recalibration de l'âge de notre galaxie et à une nouvelle évaluation des échelles de temps.

3) Nucléo-synthèse et Cosmologie : La détermination de l'abondance de l'hélium et de quelques autres éléments pilotes peut permettre de fixer les conditions du big bang et par là même de fixer le modèle d'univers. L'un des aspects importants est de savoir si la constante cosmologique doit être prise nulle ou non.

4) Mécanismes d'accélération : L'abondance des éléments est étroitement liée aux spallations produites par des particules rapides. Par quel mécanisme ces particules sont-elles produites ? Il n'y a probablement pas de mécanisme unique dans l'univers, mais les étoiles sont peut-être le siège d'un mécanisme particulier.

Il s'agit là d'une thermodynamique particulière, la thermodynamique du non équilibre, qui se réalise spontanément dans la nature dans un très grand nombre de cas.

La discussion, assez vague, a montré l'intérêt actuellement d'étudier les problèmes hydrodynamiques, couplés ou non avec les phénomènes de transfert, les phénomènes nucléaires dans de très nombreux domaines, et de s'appuyer sur des connaissances physiques.

Un point déjà évoqué a été de nouveau mentionné :

La découverte des pulsars et des quasars peut-elle être analysée de façon à définir une méthodologie de la découverte d'objets nouveaux.

../..

.../...

IV - Ph. DELACHE : Processus physiques dans les atmosphères stellaires.

L'Observation idéale fournit l'intensité émergente I en fonction de la longueur d'onde λ , des coordonnées θ, φ sur le disque stellaire et du temps t .

On cherche à déduire de $I(\lambda, \theta, \varphi, t)$ les conditions physiques qui règnent dans la région d'où provient ce rayonnement (atmosphère). On sait que cette démarche passe usuellement par des paramètres intermédiaires (fonction source, et profondeur optique) et par la fabrication de modèles.

Dans un modèle, on cherche à mettre tous les processus physiques qui paraissent a priori importants, et on fixe les conditions aux limites. Après quelques simplifications (mathématiques, ex : approximation "plan-parallèle" ; physiques, ex : atome à deux niveaux), on est capable de prédire I ; on compare alors à telle ou telle observation (discontinuité de Balmer, couleur, largeur équivalente, variation centre-bord). On modifie alors un ou plusieurs des paramètres "libres" du modèle pour obtenir s'il y a lieu un meilleur accord (ex : gravité, composition chimique). L'unicité de la solution n'est jamais garantie (voir à ce sujet le livre de J.T. Jefferies, "Spectral Line Formation").

On cherche donc à introduire toute la physique. Or nous ne sommes que des utilisateurs de cette physique, et notre travail est double :

- dans le monde de la Mécanique Quantique (comme pour les astronomes dans le monde de la mécanique céleste), il faut se pencher sur les problèmes pratiques ; ex : calcul ou mesure de forces d'oscillateur. Notons qu'il y a une approche purement astrophysique de ce genre de problème : par exemple quelles transitions faut-il observer dans une nébuleuse planétaire pour en déduire une valeur de la température électronique ?

- dans le monde macroscopique il nous faut utiliser les méthodes de la physique statistique. C'est ce point que nous allons développer :

. La thermodynamique classique, qui ne connaît pas l'hypothèse atomique et ne sait décrire que des états d'équilibre thermodynamique (E.T.) permet d'obtenir de nombreux résultats, très importants ; son succès n'est d'ailleurs pas récent, mais s'applique surtout aux études de structure interne. L'apparition des bases microscopiques ne fait que préciser certaines constantes (cf. : l'exposé de J.M. Lévy-Leblond au Colloque "Physique Astrophysique", Nice 1969).

Par définition, peut-on dire que l'E.T. ne s'applique pas aux atmosphères puisqu'on les voit. Cette irréversibilité fondamentale est un obstacle à une étude thermodynamique. On fait alors l'hypothèse (E.T.L.) que l'équilibre statistique est réalisé pour la matière, mais pas pour le rayonnement ; il existe une température, la fonction source est égale à la fonction de Planck, matière et rayonnement sont physiquement découplés, il reste à résoudre une équation de transport qui

.../...

.../...

contient toute l'irréversibilité du problème : l'équation de transfert. Le problème devient alors purement mathématique.

On doit ajouter des conditions (ex : équilibre radiatif, pas de vitesses) et des paramètres (composition, gravité). On peut être obligé de lever une de ces contraintes pour obtenir un accord avec l'observation, ex : champ de vitesse. Il y a là un danger : si le problème qui était posé était légitime, c'est-à-dire si la quantité d'information contenue dans les observations était égale à la quantité d'information recherchée dans l'atmosphère (cf. Jefferies), l'apparition d'une nouvelle inconnue doit être accompagnée de l'équation correspondante qui existe nécessairement : c'est l'équation qui s'écrit $0 = 0$ lorsqu'on "néglige" ce paramètre, ex : équation de conservation de la masse et champ de vitesse.

On peut également faire jouer un rôle à la matière, tout en conservant le découplage E.T.L. ; il s'agit de faire appel aux théories de l'hydrodynamique, de la turbulence. Le support observationnel de ce travail réside dans de grands pouvoirs de résolution spectro-spatio-temporels qui ne sont pour l'instant possibles que sur le Soleil. On doit alors traiter les problèmes de transfert en milieu inhomogène et en fonction du temps. Il est clair qu'on a affaire à des couches élevées de l'atmosphère, où la légitimité de l'hypothèse E.T.L. est en cause.

On étudie alors les équations couplées de l'équilibre statistique et du rayonnement non-E.T.L. où non-E signifie état stationnaire.

Remarquons d'abord que cette étude doit marcher : à chaque niveau atomique nouveau on introduit l'équation correspondante :

$\frac{\partial n_k}{\partial t} = \dots = 0$. Chacun sait quelles sont les complications d'une telle étude. Deuxième remarque : l'aspect macroscopique a pratiquement disparu, tout se passe comme si la thermodynamique des processus irréversibles était encore à créer, en dépit d'une série d'articles de R. Wildt (cf. Ap. J. 146, p. 413) et de Oxenius qui ne semblent pas avoir rencontré l'intérêt qu'ils méritent.

On peut dans ce cadre élargi ajouter les processus matériels déjà mentionnés. Champ de vitesse, turbulence (sans oublier la présence du champ magnétique cf. U. Frisch). Peut-être y aurait-il lieu de commenter par ajouter une source d'énergie : est-ce que la remontée de température chromosphérique est due à une dissipation d'énergie mécanique, ou à des effets non E.T.L. dans une atmosphère en équilibre radiatif ? (Question posée par R. Thomas).

Plus on s'élève dans l'atmosphère, plus il faut tenir compte des processus irréversibles connus : diffusion, conduction, viscosité, etc...

Il faut ensuite tenir compte de phénomènes non locaux : par exemple les ondes (observations solaires), ou bien les corrélations (ex : distinction entre micro et macro turbulence ?). Notons à ce propos que la turbulence (paramètre ξ) est l'exemple typique du processus physique ajouté en général sans équation correspondante.

.../...

.../...

Enfin, on peut penser que l'introduction du temps permettra de mieux comprendre bien des choses. En effet tous ces processus irréversibles conduisent à des phénomènes de transport décrits par des équations du type équation de diffusion ; pour des phénomènes assez rapides il peut se faire que l'évolution au cours du temps ne passe pas par une succession d'états d'équilibre mais soit au contraire gouvernée par une équation où le terme en $\frac{\partial}{\partial t}$ est important. Notons qu'en général, tous les paramètres sont connus : on n'ajoute pas d'inconnue supplémentaire, pas de processus physique nouveau, par rapport au problème stationnaire. On conçoit alors que la confrontation entre théorie et observation puisse alors devenir beaucoup plus riche d'enseignements, la quantité d'information présente dans les observations devenant plus importante que celles que l'on recherche concernant les processus physiques dans l'atmosphère (ex : les observations des émissions coronales dans la phase "thermique" de décroissance d'une éruption).

Enfin, il faut mentionner l'existence de phénomènes baptisés "non thermiques", c'est-à-dire pour lesquels l'écart à une distribution de Maxwell est tel que seules les équations microscopiques sont utilisables ; il semble que seules les couches les plus extérieures des atmosphères puissent être intéressées par ce genre de processus.

.../...

.../...

Discussion à la suite de l'exposé de Delache

Dans la théorie des atmosphères stellaires les hypothèses classiques doivent être petit à petit abandonnées.

- $\frac{\partial}{\partial t} = 0$ qui n'est pas équivalent à une mesure avec intégration au cours du temps.
- Les observations à bonne résolution temporelle sont dans certains cas possibles (étoiles variables) et obligent à supprimer cette hypothèse.
- Traitement local du milieu homogène : on ne peut pas négliger les actions à longue portée si on introduit des phénomènes comme la turbulence.
- Découplage matière rayonnement qui supposait que toute l'irréversibilité se manifeste à travers la seule équation de transfert.

La discussion a porté essentiellement sur la carence en connaissance de la physique fondamentale. (cf. discussion générale).

.../...

.../...

V - M.C. LORTET : Recensement de quelques interférences entre les G.S. Etoiles et Galaxies.

1) Etoiles chaudes et matière interstellaire :

a) Loi d'extinction interstellaire - Poussière dans les régions H II. Nature des grains.

Il est maintenant certain que la loi d'extinction interstellaire est différente dans le milieu H I et dans le milieu H II (voir par exemple : observations de Carruthers en U.V. lointain, de Goy et Maeder (Genève) en 7 couleurs).

Il en résulte que l'utilisation de la même loi de rougissement pour toutes les étoiles est certainement incorrecte. Elle peut conduire soit à une dispersion des mesures (ex : Viton) soit à soupçonner des désaccords avec les modèles d'atmosphère. Il convient donc d'être très soigneux dans la façon de "dérougir" les observations d'étoiles chaudes en U.V. lointain.

D'autre part si les variations de la loi d'extinction sont essentiellement dues à la taille des poussières, la mise en évidence de ces variations peut être un critère très sensible d'âge de l'étoile (Goy et Maeder).

b) Vents stellaires.

Les observations de Morton, interprétées avec diverses hypothèses, montreraient que l'énergie du rayonnement corpusculaire des étoiles O et géantes B est du même ordre que l'énergie rayonnée au-dessous de 912 Å. Ce processus doit alors être très important pour la dynamique des régions H II, et l'on doit étudier l'intensité de ce vent à divers stades de l'évolution de l'étoile, sa composition chimique, etc,...

c) Problème des étoiles enveloppées de poussière ("cocoon-stars").

Ces étoiles, très faibles dans le visible, nécessitent l'utilisation de très bonnes techniques.

Dans de nombreuses régions "H II compactes" le problème de la détection des étoiles chaudes excitatrices se pose. D'autre part il serait important de déterminer si l'excitation de ces régions est due à un rayonnement U.V. ou corpusculaire.

d) Calibration du type spectral en T_{eff} des modèles d'étoiles chaudes.

La mesure du flux radio (continuum) d'une région H II donne le nombre de photons U.V. émis par l'étoile excitatrice. Il n'est pas nécessaire de connaître la distance.

.../...

.../...

Une fois les modèles testés par d'autres observations (U.V. à 912 Å, Brackett ... etc.), ceci permet de passer du type spectral empirique à la T_{eff} du modèle.

Les calibrations actuelles, d'après cette méthode, sont seulement approximatives, notamment parce qu'il n'est pas sûr que l'on connaisse toutes les étoiles excitatrices des régions H II utilisées (voir 1 c).

La construction de modèles d'étoiles chaudes les plus raffinés possible est nécessaire : non E.T.L. (genre Feautrier, Auer et Mihalas) éventuellement perte de masse. Il faudrait par exemple prévoir les variations de la magnitude absolue au cours de l'évolution; ce qui permettrait peut-être de résoudre la question du critère de luminosité pour les étoiles O.

Du point de vue observationnel les points essentiels à développer sont :

- Test des modèles d'étoiles chaudes en infra-rouge et en U.V..
En U.V. ce travail pourra être entrepris grâce au projet Atlas (L.A.S.).
En I.R. les projets interférométriques de Connes permettraient d'atteindre pour une étoile de magnitude $V = 2$ les résolutions à 2μ de 30 Å au 1,52, 10 Å au 4 m, et 0.4 Å au télescope de 20 m.

- Détection d'étoiles chaudes très rougies dans les régions H II.
Il faut absolument atteindre des magnitudes plus faibles, par exemple :
 $m \sim 16$ ^{pour} spectres dans le visible (au lieu de 12 (chambre IV) ou 13 (Chalonge)).
 $m \sim 14$ ^{pour} spectre infrarouge, projet Mme Andrillat.
U, B, V ~ 16 en photométrie au tel. 60 (au lieu de 13,5).

Recherche systématique d'étoiles bleues au prisme objectif = il faudrait atteindre $m = 16$ (au lieu de 13, Survey au P.O. de Hambourg).

2) Etoiles froides, sources de molécules du milieu interstellaire.

- Relier les études d'étoiles froides aux études de molécules du milieu interstellaire.

- Etudier la variabilité éventuelle de ces objets par exemple en utilisant les objets I.R. du catalogue de Caltec dont il existe des spectres dans la clicheothèque de l'O.H.P..

3) Données sur le milieu interstellaire à travers l'étude d'objets stellaires.

L'étude des raies interstellaires dans le visible à très grande dispersion permet de séparer les nuages de matière interstellaire individuels (cf. Hobbs, ApJ. 1969, résolution 0,3 km/s); ceci pourrait être entrepris au TGR.

L'étude des pulsars du background a renouvelé la question de

.../...

../..

l'inhomogénéité et du chauffage du milieu interstellaire. Cette étude doit être poursuivie.

4) Abondances dans le milieu interstellaire.

Il serait important de déterminer plus précisément les abondances dans le rayonnement cosmique, celles de certaines molécules telles que HC^{13}HO . Il faut alors tenir compte convenablement du mécanisme de formation des raies certainement en non-E.T.L..

5) Populations stellaires dans le noyau des galaxies.

a) - (en relation avec le paragraphe précédent) Les étoiles centrales sont-elles plus riches en métaux ?

b) - Existe-t-il des étoiles supermétalliques ? Dans notre Galaxie ? Dans d'autres galaxies ?

c) - L'interprétation des spectres intègre surtout un noyau de galaxie demande des données quantitatives sur les intensités des raies d'étoiles de Population II.

6) Photométrie absolue.

- Calibration des magnitudes en éclaircissement : ce problème, résolu par Willstrop pour le visible, doit l'être aussi dans l'U.V. et l'I.R..

- Connaissances de distributions spectrales etalon pour permettre par exemple de comparer les intensités de deux raies de domaines spectraux différents (ex S II 9 000 et 4 000 Å --- critère excellent de rougissement dans une région H II où se trouve une nébuleuse planétaire).

- L'interprétation du spectre intègre d'une galaxie nécessite la connaissance de la distribution spectrale absolue de divers types d'objets. Actuellement, trop peu d'objets ont été étudiés (pas de géantes, pas d'étoiles de population II, trop de distance entre types spectraux consécutifs).

../..

../..

VI - A.M. DELPLACE : Etoiles chaudes évoluées.

Etoiles B à émission

Un point important est de reconsidérer l'origine de l'enveloppe.

Pendant les quinze dernières années, tous les travaux sur les étoiles B à émission ont été orientés par l'hypothèse de Struve : l'enveloppe est formée par l'éjection de matière équatoriale due à une très forte rotation. Mais la rotation est difficile à mesurer, sur des profils extrêmement complexes.

De plus, le fait que les étoiles Be se situent au-dessus de la séquence principale est compatible avec l'hypothèse d'étoiles évoluées. D'autre part, ces étoiles pourraient être dans la courte phase de contraction, post-séquence principale. Cette contraction provoquerait sur une étoile massive tournant rapidement, une instabilité qui aboutirait à la formation d'une enveloppe circumstellaire.

Sur la base de cette nouvelle hypothèse quelques idées se dégagent : il est intéressant d'entreprendre une étude statistique sur ces étoiles et de les placer dans un schéma d'évolution ou plus précisément :

- à l'aide d'un catalogue photographique, former des sous-classes d'étoiles Be, d'après la différence de leurs caractères émissifs, leur variabilité, la présence d'enveloppe absorbante pulsante de courte période (quelques jours), ou de longue période (une dizaine d'années).
- chercher s'il existe des relations période-luminosité ; perte de masse et sous classe d'étoiles Be.
- revoir le pourcentage des binaires parmi les étoiles B : certaines étoiles B suspectées comme binaires par Pétrie, se révèlent étoiles à émission. La variation de vitesse radiale dans ce cas traduit-elle un mouvement de l'enveloppe ou un mouvement orbital ?

Un autre problème posé par les étoiles B à émission est celui de la classification ; les diverses méthodes classiques (U-B-V, Chalonge) ne s'appliquent que partiellement à ces étoiles. La détermination des paramètres est faussée par la contribution de l'enveloppe.

Enfin les études simultanées de photométrie et de spectroscopie sur la raie $H\beta$ révèlent pour ces étoiles des variations de luminosité de quelques heures qui seraient peut-être dues à des variations de fond continu.

Au point de vue théorie des atmosphères, aucune théorie ne rend compte réellement des phénomènes analysés dans certaines étoiles Be. Il faut d'abord dégager des modèles cinématiques empiriques, à partir des corrélations : dynamique de l'enveloppe et profils d'émission.

../..

.../...

Les Supergéantes de type P Cygni

Les problèmes soulevés sont ici : origine de ces atmosphères accélérées ; relation entre la perte de masse, la luminosité et le type spectral ; les supergéantes de type P Cygni sont-elles une sous-classe des étoiles B e ?

Les Wolf-Rayet

Ces étoiles sont très lumineuses par rapport à leur masse et forment un groupe inhomogène. Les hypothèses sont controversées sur le stade de leur évolution : étoiles très jeunes en contraction vers la séquence principale, ou, étoiles évoluées post-séquence principale.

Les problèmes posés sont encore : origine de l'enveloppe extensive, cause de l'expansion, insuffisance des théories sur la formation des raies.

Les β Canis Majoris

Elles présentent des variations périodiques en luminosité et en vitesse radiale.

Il existe pour les β Canis Majoris, un très gros problème de sélection observationnelle (spatiale et temporaire). L'utilisation de la caméra électronique augmente les possibilités d'investigation, et elle met en évidence, pour ces étoiles, des profils de raies variables, dissymétriques, perturbés par des composants secondaires. Elle pose aussi le problème de la signification de la mesure de vitesse de rotation à partir de tels profils.

Enfin, les théories basées sur une oscillation radiale, une oscillation non radiale, une zone semi-convective, une onde de choc n'expliquent pas de manière satisfaisante la pulsation de ces étoiles.

Au cours de la discussion il a été longuement souligné que le groupe Be dispose d'un matériel d'observation important, qui augmentera dans les années à venir. Un effort d'interprétation doit être fait. De nombreux travaux peuvent être entrepris dans des directions variées : statistiques sur différents objets, étude de l'éjection de masse, mécanisme de formation des raies d'émission et signification des raies observées, processus d'évolution et nature des phénomènes Be. Il y a du travail pour beaucoup de gens !

.../...

.../...

VII - J. DELHAYE : les perspectives de l'astronomie galactique.

Les besoins de l'astronomie galactique en données stellaires ont fait l'objet d'une mise au point présentée par A. Blaauw à la fin du colloque tenu à Besançon en 1963. Ce texte a été inséré dans le compte-rendu du Cours d'été d'Aix-en-Provence (1966) - fascicule 1, 2e article, p. 41 . Il conserve une valeur certaine.

On dispose à présent d'estimateurs "d'évolution" qui permettent d'étudier la structure galactique, non seulement dans son état présent, mais dans son "histoire".

Pour cela, il faut constituer des échantillons bien définis, et aussi complets que possible du point de vue des données fournies. Pour illustrer leur importance, il suffit par exemple de rappeler les résultats que l'on a pu tirer du catalogue d'étoiles proches de Gliese, ou l'intérêt qu'ont présenté les travaux conjoints de Strömberg (photométrie) et Contopoulos (orbites).

C'est en particulier pour cela que l'installation d'un "Centre de données stellaires", fut proposée, il y a plusieurs années (voir rapport de conjoncture du C.N.R.S. - 5e Plan). Différé en raison de l'indisponibilité de ses promoteurs (R. Cayrel - J. Delhaye), ce projet est actuellement repris d'une manière active par un groupe animé par P. Lacroute et J. Jung.

La constitution de tels échantillons nécessiterait une plus grande concertation des programmes d'observation, qu'elles soient faites à l'Observatoire de Haute Provence ou à l'E.S.O..

Certains programmes limités pourraient être proposés après discussion, concernant par exemple : les étoiles qui se trouvent au voisinage de la courbe limite de blanketing dans le diagramme de Dixon ; les géantes rouges ; les étoiles situées dans les directions ℓ^{II} = 90 degrés ou 270 degrés ; les étoiles situées dans la direction des pôles galactiques.

Discussion

Les paramètres que l'on cherche à obtenir pour l'étude de la structure galactique sont : les vitesses radiales, les estimations de distance, la composition chimique.

Un problème très important est également celui de la détermination des masses.

Le projet de centre de données est fondamental. Pour se développer il doit rassembler plus de personnes. Il permettrait de mieux coordonner les programmes. On peut penser que dans 2 ans ce centre pourrait préconiser, à

.../...

partir des données recueillies, des orientations pour les observations à entreprendre. En particulier il pourra signaler clairement les lacunes.

Dès à présent le problème de la concentration et de la coordination des programmes se pose. Il est vraisemblable que l'E.S.O. donnera une priorité aux programmes concertés.

.../...

../..

VIII - Madame HERNANDEZ : Le traitement de l'information (Résumé de l'exposé) .

Le traitement de l'information comprend trois stades :

- Transmission de l'information de l'extérieur vers le calculateur sous une forme assimilable par le calculateur.
- Analyse de cette information par le calculateur à l'aide d'un programme préalablement élaboré.
- Transmission des résultats du calculateur vers l'extérieur.

Transmission de l'extérieur vers le calculateur

L'information émise sur un support convenablement choisi est transmise au calculateur par l'intermédiaire des périphériques.

Le programme

L'information à traiter et le but du programme doivent être d'abord définis d'une manière précise. Le programme peut être écrit en différents langages, le dernier né PLI sera probablement le langage le plus utilisé dans l'avenir.

L'élaboration du programme comprend 4 stades :

- L'analyse mathématique,
- L'analyse numérique et l'organigramme,
- L'écriture des instructions,
- L'essai du programme et la vérification sévère des résultats tests.

Perspectives d'avenir

Elles sont difficiles à prévoir. On peut considérer que de 1952 à 1964 trois générations d'ordinateurs ont vu le jour.

- 1ère génération 1952 - type 650 IBM - caractérisée par l'utilisation en mode séquentiel direct.
- 2ème génération 1959 - type 7040 IBM - caractérisée par l'utilisation en mode séquentiel indirect.
- 3ème génération 1964 - type 360 IBM - caractérisée par l'utilisation en mode concurrentiel du multiprogramme.

Les ordinateurs futurs seront probablement caractérisés par une synthèse de ces différents modes.

Le perfectionnement des calculateurs est dû à l'amélioration du hardware d'une part, au perfectionnement du software d'autre part. Les ordinateurs puissants sont groupés dans des centres de calculs souvent éloignés des utilisateurs, c'est pourquoi il semble que la formule qui sera adoptée dans l'avenir sera le traitement à distance de l'information par l'intermédiaire de terminaux. C'est le télé-traitement ou téléprocessing. Les terminaux peuvent être passifs ou du type ordinateur satellite.

../..

../..

Les terminaux passifs

1) Télétype:

C'est une machine à écrire par l'intermédiaire de laquelle on communique à l'ordinateur principal le programme et les données. En fin de traitement les résultats sont transmis du calculateur à l'utilisateur par l'intermédiaire de la machine à écrire.

2) Lecteur de cartes - type 2780 IBM - les résultats en provenance du terminal sortent sur l'imprimante du 2780.

Ordinateurs satellites

Ils permettent d'être utilisés en liaison ou non avec le calculateur principal.

On peut citer le 1130 IBM et le 360/25 IBM.

Dans tous les cas la communication terminal-centre de calcul se fera par une ligne téléphonique soit ordinaire, soit louée. La qualité de la transmission est évidemment liée à la qualité de la ligne.

Il faut signaler que parallèlement à l'évolution des ordinateurs gigantesques, se développe une génération de petits ordinateurs pouvant dans certains cas concurrencer les terminaux connectés à de grands ordinateurs.

A la suite de la communication de Madame Hernandez une discussion s'est engagée sur les mérites comparés pour les astronomes d'un gros centre et d'un équipement léger dans les centres de recherches (s'appuyant éventuellement sur les moyens locaux existant : facultés, etc., ...) et un équipement plus dispersé en ordinateurs de plus petite taille.

L'ensemble des présents n'a pu dégager un avis commun. Certains voient dans le grand centre la possibilité de traiter des problèmes qu'il est impossible de mettre en oeuvre sur des ordinateurs moyens. De plus, les gros ordinateurs ont un rendement meilleur que les petits (à coût égal) et deviennent de plus en plus souples (multiprogrammation, temps partagé). Par contre d'autres insistent sur la nécessité d'un accès facile au plus grand nombre de chercheurs et sur le fait que les utilisateurs de très grosses unités sont très peu nombreux.

../..

(Le texte de l'exposé complet peut être obtenu auprès d'A. BAGLIN)

.../...

IX - CAYREL : Les projets de grands instruments.

Au Ve Plan, étaient inscrites les opérations suivantes :

5.7. M F	Station d'Astrophysique Expérimentale	- Schmidt (1,50/0,90 m)
	Site à choisir après campagne de prospection	- Télescope de 1,50 m (photométrie et spectroscopie)
7 M F	Pic du Midi	- Télescope 2 m
20 M F	Site à choisir après campagne de prospection	- Télescope 3,50 m universel à réaliser sur Ve et VIe Plan

Il a été réalisé d'autre part :

- O.H.P. 1 télescope spectrographique Spectro Coudé achevé en 70.
de 1,52 m
- E.S.O. (1/3 pour la France) Télescopes (1 m photométrique
(
(1,50 m spectrogra-
(phique
(
(1,50 m Schmidt
(
(3,60 m Etude achevée
(réalisation
(commencée
(Le barillet est
(construit et le
(polissage est en
(cours
- I.R. Un télescope-mosaïque de 4,20 m servant de test pour un projet
de 20 m.
Collecteur de 10 m² au Pic (écho laser sur la lune).

Pour le VIe Plan (qui sera, en pratique, un plan de quatre ans),
il est retenu par la Section X le complément de crédits pour le 3,60 m,
un 2 m photométrique, un 20 m I.R..

Au Ve Plan, il a été décidé de supprimer le 1,50 m de la Station
d'Astrophysique expérimentale, de maintenir le 2 m du Pic du Midi et
de dériver les programmes photométriques du télescope de 1,50 m supprimé
vers le télescope de 2 m du Pic.

Il paraît d'autre part impossible de renoncer complètement à un
projet de grand télescope dans l'hémisphère Nord, mais on pourrait faire
une construction commune avec un autre pays, si l'enveloppe "Astronomie"
du VIe Plan ne permettait pas de maintenir cette opération dans son
intégralité.

.../...

.../...

Une discussion s'est engagée sur la possibilité d'utiliser des télescopes moyens en parallèle. Cette solution est économiquement avantageuse à première vue, puisque le prix d'un télescope croît plus vite que le carré du diamètre du miroir. Cependant, si cette remarque n'était tempérée par aucun autre argument, on en arriverait à la conclusion évidemment inacceptable qu'il faut mettre en parallèle une infinité de télescopes de diamètre infiniment petits. Si l'on prend en considération le coût de l'équipement associé à chaque télescope et qui ne tend pas vers zéro avec le diamètre du télescope et si on tient compte aussi des dépenses de fonctionnement associés à n instruments au lieu d'un, on arrive à la conclusion qu'il existe en réalité un diamètre optimum. Ce diamètre optimum dépend du site de l'instrument (les frais de mission sont fonction de la distance à parcourir) et ne peut être donné avec précision en l'état actuel des choses. Cependant, une estimation sommaire montre que le diamètre optimum est assez élevé, de l'ordre de 3 à 4 m, précisément celui de tous les grands télescopes actuellement projetés ou en construction.

La prospection des sites est terminée. Les résultats sont en cours de dépouillement. Leur rapport sera produit par l'I.N.A.G. dans environ trois mois.

Discussion à la suite de la communication
de CAYREL

Le choix du site est prépondérant pour un grand télescope. Selon qu'on se place au Jungfraugoch ou en Californie on passe de 600 h d'observations à 2.200 h par an.

De plus sont importants, la qualité photométrique du ciel, la répartition plus ou moins égale des bonnes nuits dans l'année, l'accès à la moitié ou aux trois quart du ciel (c'est le cas à $+ 30^\circ$ de latitude) et finalement pour la plupart des programmes, l'efficacité d'un télescope de grand diamètre dépend fortement du seeing, au point que, par mauvaises images on ne gagne rien en temps de pose à avoir un télescope de grand diamètre.

.../...

.../...

X - BALASKOVIC : Avant projet d'observatoire embarqué.

L'intérêt des observations astronomiques effectuées à partir de satellites se limite pratiquement à l'extension du domaine spectral observable, car les autres avantages liés à l'absence d'atmosphère - tache image réduite à la tache de diffraction, durée d'observation utilisable à 100 % etc... - sont compensés par des difficultés technologiques importantes surtout pour le pointage et par des coûts extrêmement élevés.

Nous proposons ici un observatoire embarqué à bord d'un ballon dirigeable stratosphérique plafonnant entre 15 et 20 km.

A cette altitude nous sommes au-dessus de la zone des jets stream (la vitesse des vents n'excède pas 50 km/h).

Ceci permet d'obtenir :

- Une extension du domaine spectral observable comparativement à un observatoire au sol, la transmission atmosphérique ne se trouvant limitée que vers l'U.V. ($\lambda < 3000 \text{ \AA}$).

- La contribution de l'atmosphère subsistant au-dessus du ballon à la dimension de la tache image devient négligeable, celle-ci n'étant plus définie que par la tache de diffraction et la précision de pointage. Il est possible d'espérer une précision de pointage de 0,1 d'arc. Dans ces conditions un télescope de 2 m travaillant dans le visible est équivalent à un instrument de 10 m au sol.

- Une réduction très importante du fond de ciel.

La structure du ballon serait toroïdale avec la plateforme d'observation au centre.

Sur cette plateforme il est possible de monter 3 télescopes destinés respectivement au visible, à l'infra-rouge et à l'observation micro onde.

Sous la plateforme une nacelle pressurisée sert de base vie aux observateurs et à l'équipage.

Caractéristiques du ballon :

- gaz aérostatique : hélium
- dimensions :
 - diamètre 260 à 300 m
 - hauteur 40 à 50 m
- masse :
 - masse embarquée 60 T
 - masse totale 90 T

Au cours de la discussion, qui a essentiellement comporté des

.../...

.../...

questions sur la réalisation du projet, on a souligné que l'un des avantages essentiels du projet de plateforme stratosphérique est l'amélioration de la résolution. Si on peut atteindre des résolutions de 0,1", ce que les asservissements modernes (piezo) permettent, l'intérêt astronomique est énorme. Actuellement on peut penser que la précision du pointage pourrait être de 1" à condition d'utiliser l'asservissement d'une pièce optique mobile.

Cayrel pense que l'intérêt le plus immédiat est l'étude de l'I.R. et la photométrie précise puisqu'on aura supprimé les nuages. En effet on n'est pas absolument sûr d'avoir de bonnes images car d'autres facteurs interviennent comme les effets d'ambiance ou de micro-sites.

Le Conseil souhaite qu'une étude plus poussée soit faite sur cet avant-projet.

.../...

../..

XI - J. RÖSCH : les possibilités d'observation au Pic-du-Midi.

Le site a été comparé aux autres sites français (Saïssac). Le nombre d'heures de nuit (aube et crépuscule exclus) utilisable par an est estimé à :

600 h Strasbourg, Besançon
900 h Bordeaux, Toulouse
1 100 h Ajaccio
1 120 h Pic
1 300 h Marseille, Nice
1 340 h Montpellier (OHP)

A l'Observatoire du Pic du Midi, la transparence est très bonne à cause de l'altitude.

On peut travailler à de très grandes distances zénithales (cf. dte de Bouguer excellentes).

Le fond du ciel est très faible - observation d'objets faibles bien meilleure qu'à l'OHP. Les travaux de Lenouvel montrent que l'on gagne 0.6 mag par rapport à l'OHP, (télescope de 60 cm).

Il existe de nombreuses nuits où la transparence est bonne et où les images n'ont pas la qualité optimale. On pourrait organiser les programmes d'observation de façon différente de l'OHP, en prévoyant des programmes de remplacement adaptés aux conditions atmosphériques.

Les instruments :

- Lunette de 60 cm ($F = 18m$)
- Télescope de 1m 06 Cassegrain $F/15$; problème d'empêchement stérique aux déclinaisons supérieures à $+ 30^\circ$ qui pourrait être résolu.
- Collecteur composite formé de lentilles simples. 10 m2 - 210 lentilles de 25 cm de diamètre. Diaphragme 10" ramené sur 1 seul P.M..
- Projet de télescope de 2m conçu pour la haute résolution dont les programmes pourraient être :
 - . programmes planétaires,
 - . étoiles doubles,
 - . identification de radio sources faibles,
 - . programmes photométriques prévus initialement sur le 1m50 (qui pourront aussi être partiellement absorbés par le 1m).

Monsieur Rösch demande qu'un photométriste siège dans la commission scientifique du 2m.

Le G.S. demande à Mianes de le faire. Il a accepté.

Le projet prévoit un foyer primaire "replié" ($F/5$) un foyer Cassegrain $F/25$ et l'aménagement du foyer coudé. Le financement des spectres est prévu au VIème Plan. On peut penser que le télescope sera terminé courant 1973.

../..

.../...

XII - A. LABEYRIE : Les nouvelles techniques optiques - Résumé de l'exposé :

Les progrès récents de techniques optiques telles que l'interférométrie, la synthèse d'ouverture, l'holographie permettent de prévoir la réalisation prochaine de certaines observations jusqu'ici impossibles.

Etant donné d'autre part que des télescopes de grand diamètre seront satellisés d'ici 2 ou 3 ans, il va probablement devenir possible de détecter des composantes faibles et des planètes autour d'étoiles brillantes.

Le gain de 10 à 100 en résolution sur le ciel doit permettre de gagner 5 à 10 magnitudes sur les photographies d'objets faibles.

Par contre, en ce qui concerne les spectres, les limites actuelles (fixées par la quantité de lumière disponible plus que par la turbulence) ne pourront guère être dépassées. La suppression de la turbulence permettra seulement de diminuer la dimension des spectrographes.

Dans l'avenir immédiat, et pour l'observation à partir du sol, il faut prévoir des progrès instrumentaux en ce qui concerne d'une part la mesure interférométrique des diamètres stellaires et d'autre part la conception des spectrographes :

Le regain d'intérêt pour la technique interférométrique utilisée autrefois par Michelson aboutira vraisemblablement à la construction d'interféromètres optiques possédant une résolution de l'ordre de 10^{-3} seconde d'arc et atteignant la 10ème magnitude. L'utilisation d'une base lunaire permettrait, dans un avenir plus lointain de dépasser la 20ème magnitude.

On sait que dans les domaines spectraux où l'on dispose de récepteurs quantiques d'images, les spectrographes à réseaux restent les plus avantageux pour l'étude des sources ponctuelles. Les performances de ces spectrographes sont actuellement diminuées par leur complexité optique, complexité qui résulte de la nécessité d'utiliser des chambres susceptibles d'apporter une double amélioration sur ce point : d'abord par l'augmentation de la surface gravée, ensuite par l'exploitation des propriétés stigmatiques remarquables de certains réseaux holographiques à forte ouverture. On peut par exemple réaliser des spectrographes ouverts à f/I (ouverture de chambre), comprenant pour unique composant optique un réseau holographique concave.

.../...

.../...

XIII - BIJAOU : Les possibilités de l'Astronomie optique.

Parallèlement aux nouvelles branches de l'Astronomie d'observation (radioastronomie, infra-rouge, ultra-violet, rayons X, γ ou même neutrinos), l'Astronomie Optique continue à se développer ; de nouveaux moyens sont apparus depuis la fin de la guerre et un certain nombre de projets en cours de réalisation peuvent amener un changement considérable pour les données observationnelles.

Actuellement les récepteurs utilisés sont de plusieurs types :

- La plaque photographique reste le récepteur le plus utilisé. Sa sensibilité augmente très peu, si l'on excepte l'utilisation des moyens de sensibilisation (ammoniaque pour l'I.R., chauffage, flashage...). Toutefois les propriétés photométriques ne sont pas modifiées. Son emploi étant très commode, elle reste le moyen idéal pour dégrossir un problème.

- Les amplificateurs de brillance sont de plus en plus utilisés surtout aux U.S.A. et en U.R.S.S. particulièrement dans le rouge et le proche infra-rouge. Leurs propriétés photométriques ne sont pas nettement plus intéressantes que celles de la plaque photographique. Leur domaine d'utilisation est la détection de signaux faibles non noyés dans du bruit (spectre de quasar, de pulsar (?), détection de nébuleuse très faible).

- Les caméras de télévision sont les récepteurs les plus intéressants pour l'Astronomie spatiale. Aucun de ces récepteurs toutefois, n'atteint les performances souhaitées pour l'astronomie au sol et il n'est pas probable que cette situation évolue dans les années qui viennent.

- Les tubes images utilisant l'électronographie sont certainement les récepteurs amenés au plus grand développement dans la décade qui vient. Outre la caméra électronique de l'Observatoire de Paris, il existe deux sortes de tubes qui ont été imaginés pour limiter les manipulations : le tube à fenêtre de Lénard et la caméra électronique à vanne. Dans le premier, une paroi de mica très fine isole l'enceinte de la plaque nucléaire. Les difficultés sont énormes et d'autant plus grandes que le champ augmente. Or, dans l'avenir un champ de l'ordre de 10 cm sera nécessaire et il ne sera pas certain que l'on puisse réaliser un tel tube avec fenêtre de Lénard. L'on peut penser que ce tube est une solution provisoire. Plus intéressante est la solution de G. Kron ; dans ce cas, une vanne isole l'enceinte lors du changement des plaques. Cela permet de conserver la photocathode pendant un temps très long. La difficulté du champ n'existe pas car on peut imaginer des vannes aussi grandes que possible. Remarquons que l'introduction d'une vanne ne diminue pas beaucoup les temps de manipulation, mais cela permet de conserver la photocathode très longtemps.

Le champ de ces récepteurs sera probablement augmenté ; plusieurs voies sont étudiées : d'une part avec l'optique électrostatique, d'autre

.../...

.../...

part avec l'optique électromagnétique. Dans ce cas, deux méthodes sont développées : l'une est la méthode généralement employée, l'autre utilise des bobines à supraconduction. Pour cette dernière solution, la résolution pourrait être de l'ordre de 100 dt/mm ou même supérieure.

La caméra électronique sera dans cette décade le type de récepteur permettant de résoudre les problèmes posés aux observateurs. La mise en place d'une équipe de techniciens sachant la manipuler à l'Observatoire de Haute Provence et l'existence d'une telle infra-structure à l'Observatoire du Pic du Midi permettra de résoudre, de façon raisonnable, les problèmes d'emploi de ce récepteur.

Toutefois, pour que son utilisation soit pleinement profitable, il est nécessaire de poursuivre en laboratoire les diverses études sur les propriétés photométriques de ce récepteur. Il faut également améliorer l'homogénéité des plaques nucléaires car c'est cela qui limite en grande partie la précision de l'instrument.

A côté de cela, on peut adjoindre le développement des cellules photoélectriques. Ce n'est pas dans le domaine de l'U.V. que l'on doit attendre des progrès mais dans le rouge et l'infra-rouge. Quelques équipes essayent d'augmenter le rendement quantique dans ce domaine. L'utilisation de couches à bon rendement quantique dans le rouge et l'infra-rouge permettrait d'aborder de nombreuses études.

En dehors des récepteurs, des progrès sont possibles dans le domaine des spectrographes.

La spectroscopie par transformée de Fourier possède un très grand intérêt dans l'infra-rouge. Pour le domaine des longueurs d'onde visible, cette méthode présente seulement l'intérêt de pouvoir obtenir une très grande résolution, la taille des réseaux traditionnels augmente très peu.

Les réseaux holographiques pourront peut être résoudre ce problème. En principe, la lumière diffusée est nettement diminuée, le nombre de composants optiques décroît, la luminosité de l'instrument est plus grande. Ces réseaux holographiques sont donc très prometteurs. Pour augmenter la résolution, Roddier, à Nice, se sert d'un montage utilisant la résonance, la résolution est de l'ordre de plusieurs millions.

Une méthode de très grand intérêt théorique pour obtenir une excellente résolution est la méthode dite "de battement de photons" de Forrester et ses collaborateurs.

L'interférométrie stellaire est une méthode qui est peut-être amenée à évoluer très vite. De nombreuses équipes dans le monde essayent actuellement de résoudre le problème des fluctuations de la phase dues à l'atmosphère. On peut penser que l'électronique rapide peut permettre de résoudre cette difficulté qu'à rencontrée Michelson. Il ne sera pas toutefois possible de déterminer la phase ; l'interférométrie stellaire, si elle se développe comme on peut l'espérer, donnera les effets centre-bord

.../...

.../...

mais non une structure à deux dimensions.

Déjà la méthode de H. Brown basée sur la corrélation de photons peut donner des diamètres stellaires et des effets centre-bord. Cette méthode utilisant la corrélation de photons qui est toujours très faible, est limitée en magnitude.

Parmi les méthodes d'observation d'avenir, on peut citer la photométrie stellaire à l'aide de la caméra électronique. Cette méthode se développe dans de nombreux observatoires dans le monde (Paris-Meudon, Pic du Midi, U.S.A. ...). Cette méthode est plus intéressante sur certains aspects que l'utilisation du photomultiplicateur car la transparence varie très peu d'un point à l'autre. Elle a déjà apporté des données d'observation très intéressantes dans certains domaines et pourra fournir des informations de grande qualité sur des objets inaccessibles par d'autres méthodes. L'étude de la polarisation des étoiles pourrait être abordée de façon extrêmement précise avec cette méthode.

La spectrophotométrie à l'aide de la caméra électronique peut amener des changements qualitatifs très importants sur la connaissance des atmosphères stellaires grâce à la possibilité d'obtenir des profils de raies d'excellente qualité et des largeurs équivalentes très précises.

De plus, nous pensons réaliser un spectrographe multifente de faible dispersion pour lequel chaque astre d'un champ serait centré dans un diaphragme. A partir des spectres ainsi obtenus nous pourrions déterminer n'importe quel indice photométrique, si l'appareil est correctement réalisé.

La grande capacité d'informations de la caméra électronique nous oblige à utiliser des moyens de dépouillement digitalisés. Depuis quelques années ces appareils se développent énormément. Nous pensons que trois appareils seront nécessaires :

- un photomètre pour la détermination des magnitudes stellaires,
- un microphotomètre pour le dépouillement des spectres,
- une machine à mesurer.

Sur le plan commercial il existe un assez grand nombre de ces instruments mais ils n'ont pas été conçus pour la caméra électronique. Leur précision laisse souvent à désirer. Il est nécessaire d'en concevoir de nouveaux pour la caméra électronique.

L'utilisation de moyens de dépouillement automatiques permettra de développer des méthodes de traitement mathématiques. La qualité de la caméra électronique fait que les méthodes usuelles de traitement ne sont pas assez fines pour ce récepteur. Il est nécessaire d'utiliser une méthode basée sur le processus de Poisson (et non gaussien comme on le fait généralement). L'élimination du bruit et la déconvolution sont des problèmes en suspens. Le problème mathématique dépend

.../...

.../...

de plus du cas considéré. C'est probablement dans le cas d'un objet très faible ou très rapidement variable que les méthodes sont particulièrement intéressantes.

La détermination du champ magnétique stellaire peut être aussi facilitée.

L'utilisation à la limite des récepteurs et des méthodes de dépouillement (appareillage et méthode mathématique) pourrait peut-être permettre de faire de l'interférométrie spectrographique. Nous avons déterminé que pour la caméra électronique cela est actuellement possible. Mais il est absolument fondamental de posséder des moyens de dépouillement digitalisés et ultra-rapides (peut-être comptage de traces automatique).

Je pense que ce genre d'expérience doit être un but fondamental de l'instrumentation optique car elle bouleverserait les données d'observation dans tous les domaines et en particulier celui des atmosphères stellaires.

.../...

.../...

A la suite des exposés de Labeyrie et de Bijaoui une discussion s'est engagée sur les techniques nouvelles d'observation. Pecker a rappelé qu'en France on a conçu et construit la caméra électronique, mais c'est Walker le premier qui en a tiré des résultats astronomiques. Il semble que l'absence de véritable programme scientifique soit la raison majeure. Pecker remarque que le rendement des astronomes a été inférieur au rendement de la plaque photographique. Un progrès vient d'être fait avec l'installation d'une équipe camera à St Michel mais c'est très tard.

L'introduction de techniques nouvelles pose un problème de rééquilibrage entre les techniques et le choix des programmes. Schatzman fait remarquer qu'au CERN on a pour principe que l'introduction d'un nouvel instrument conduit à en abandonner un autre, ce qui veut dire qu'à un certain moment il faut faire un choix entre les programmes d'avenir et les programmes en cours, et arrêter les programmes en cours. Pour faciliter la reconversion des chercheurs Van't Veer propose l'organisation de réunions débats sur ces techniques et sur les programmes d'avenir qu'elles permettraient de réaliser. En effet, il faut remarquer que c'est souvent par ignorance, ou par peur du nouveau que les chercheurs continuent à exploiter des programmes ayant perdu souvent une grande partie de leur intérêt scientifique.

.../...

.../...

XVI - Discussion Générale - Rôle du Conseil du G.S.

Le Conseil souhaite que les équipes membres du G.S. , et éventuellement contestent, la doctrine définie au cours de cette réunion, telle qu'elle apparaît dans ce compte-rendu.

Il leur propose de rédiger des projets de programme qui pourront être confrontés aux lignes directrices ainsi définies de façon à aider les chercheurs du G.S. dans la définition et l'orientation de leurs travaux futurs. Pour l'amélioration du travail scientifique dans l'ensemble du G.S. les points essentiels suivants ont été dégagés :

- La nécessité d'une formation plus approfondie des chercheurs en physique fondamentale.

Le manque de formation actuellement dans ce domaine peut s'expliquer par un certain nombre de faits tels que la coupure entre les astronomes et l'université, la scission parmi les astronomes entre les "physiciens" (regroupés dans le G.S. physique) et les autres.

Un gros effort doit être fait au niveau de la formation des jeunes chercheurs. Il est d'ailleurs en cours (le C4 d'Astrophysique à Paris est une option de "champs et particules") et au niveau de la formation permanente des moins jeunes.

D'autre part, une école d'été sur la thermodynamique est proposée.

Il semble en effet que, dans de nombreux cas, si un support théorique plus solide existait, avec des possibilités réelles de contact avec les observateurs, les programmes d'observation pourraient être définis plus directement en fonction des possibilités actuelles de compréhensions des phénomènes observés.

Un certain nombre de programmes en cours, dont l'intérêt a été souligné (ex : U.V. spatial) nécessitent la formation d'équipes s'intéressant à l'interprétation des résultats, avec des chercheurs ayant de solides connaissances de physique.

- Le développement des questions où les observateurs et les théoriciens risquent de se rejoindre.

Ainsi, dans les domaines où les observations sont en avance, (ex : caméra I.R.) il faut avant tout favoriser la discussion de problèmes théoriques de façon à orienter les observations vers la détermination d'observables fondamentaux ayant une signification physique (diamètre stellaire, masses, température).

Par exemple, la bonne résolution temporelle et spatiale du TGR donne accès à la structure fine des atmosphères et nécessite l'étude des problèmes de transfert dépendant du temps, du couplage des phénomènes

.../...

.../...

hydrodynamiques aux phénomènes de transfert.

L'étude de l'I.R. nécessite les connaissances de la physique des molécules, et l'interprétation des résultats de Connes ne pourra se faire que grace à une bonne compréhension des atmosphères froides.

- Dans les domaines où existe un matériel d'observation important (ex : Be, Novae) cette accumulation rare d'information pourrait servir à établir des propriétés typiques.

- La poursuite de programmes non spectaculaires mais fondamentaux (ex : centre de données stellaires) qui ne sont pas pcursuivis ailleurs.

.../...

D'une façon générale, le Conseil du G.S. voit son rôle d'animation et de promotion ainsi :

- Organiser le maximum de contacts et de discussions entre les chercheurs français et aussi avec les étrangers.

Il peut ainsi aider à l'organisation de petits colloques sur des sujets précis (ex : colloque d'Orsay plus restreint) regroupant des chercheurs éloignés.

Il doit aussi chercher à provoquer des petits colloques à l'occasion de passages d'étrangers.

Il peut favoriser la constitution de groupes tenant des réunions bibliographiques régulières : établissement de fichiers collectifs, discussion des articles et "preprints" au fur et à mesure de leur arrivée ; mais il doit aussi faire connaître les groupes existants !

- Organiser des réunions d'information sur les questions nouvelles ou bien sur les sujets qu'il considère comme plus importants de façon à faciliter des reconversions en dissipant la méfiance avec laquelle elles sont trop souvent envisagées.

- Faire un effort dans la diffusion de l'information scientifique.

- Susciter la création d'équipes et de toutes formations de recherche mêlant observateurs et théoriciens ; en particulier l'utilité de l'implantation de tels groupes, près des moyens instrumentaux nouveaux est soulignée. L'O.H.P., pourrait en France être un lieu particulièrement bien adapté.

- Encourager les "bulldozers", individus prêts à se battre dans des domaines nouveaux, en particulier en leur fournissant des moyens et des hommes.

