

PART IV
SYMPOSIA

I. SYMPOSIUM SUR L'EVOLUTION DES ETOILES

Le Comité Exécutif de Septembre 1951 désigna, sur proposition des Astronomes soviétiques, une Commission de quatre membres chargée de préparer le Symposium sur l'évolution des étoiles.

Cette Commission comprenait quatre membres: MM. V. Ambartsumian (*Président*), O. Struve, H. Bondi; E. Schatzman (*Secrétaire*).

La Commission élaborait le programme et choisit les orateurs.

En dernière minute, Fesenkov, Shajn, von Weizsäcker ne purent se rendre à Rome. Des télégrammes de vœux leur furent envoyés de la part du Symposium. MM. Fesenkov et Shajn firent lire leur rapport par Madame Masevich et M. Severny. M. von Weizsäcker n'a malheureusement pas eu la possibilité de préparer son rapport écrit à temps. M. B. Strömgren présenta, à sa place, un bref rapport.

La séance du matin se déroula sous la présidence de H. Bondi, la séance de l'après-midi, sous la présidence de O. Struve. Le secrétariat des séances était assuré par MM. Kopal et Schatzman.

I. DISCOURS INTRODUCTIF AU SYMPOSIUM SUR L'EVOLUTION DES ETOILES

Par V. A. Ambartsumian

Membre correspondant de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.

Mes chers collègues,

Le présent symposium, consacré à l'évolution des étoiles, a été organisé par l'Union Astronomique Internationale sur proposition des astronomes soviétiques. Ce problème, comme du reste tous ceux qui concernent l'origine et l'évolution des corps célestes, passionne les astronomes du Monde entier. Bien plus, tous les problèmes de cosmogonie ont une importance énorme pour la formation d'une conception scientifique juste de l'Univers. Il nous a, toutefois, semblé, que la discussion sur l'origine des galaxies, ainsi que des planètes et des comètes devait être isolée des problèmes concernant l'origine et l'évolution des étoiles, qui seuls pourraient être examinés ici. Il est évident que les problèmes mentionnés sont liés les uns aux autres, mais des considérations d'ordre pratique nous obligent à limiter le Symposium au problème de l'évolution des étoiles. Nous aborderons naturellement d'autres questions, mais dans la mesure seulement où cela sera nécessaire pour la solution de notre problème principal.

La nécessité d'une vaste discussion sur la genèse et l'évolution des étoiles découle tout d'abord de l'immense variété des données d'observation relatives aux étoiles et aux systèmes stellaires qui ont été accumulées par l'astronomie et l'astrophysique modernes.

Les valeurs numériques de nombreux paramètres qui caractérisent l'état physique et la composition chimique d'une étoile comme par exemple sa masse, sa luminosité, son rayon, son moment angulaire, la teneur en hydrogène dans son atmosphère, sa teneur en hélium, etc. varient d'un objet à l'autre. De même, on trouve une grande diversité dans les valeurs numériques des facteurs qui caractérisent les étoiles doubles et multiples ainsi que les amas ouverts et globulaires.

La richesse croissante de la documentation sur les divers états des étoiles et groupes stellaires, doit nous permettre de dégager dans l'espace des états possibles d'une étoile (pour les étoiles isolées ce sera, en gros, l'espace des valeurs M , L , R ou simplement le diagramme spectre-luminosité) ou de groupes d'étoiles, les directions qu'empruntent dans leur évolution une étoile isolée ou un groupe stellaire. Pour bien déterminer les lignes que suivent dans leur évolution les étoiles il est fort important de connaître les processus qui font varier les paramètres étudiés. C'est ainsi que les phénomènes observés d'écoulement de la matière et de l'éjection des enveloppes gazeuses à partir des photosphères des géantes chaudes entraînent, dans le temps, la diminution de la masse de l'étoile

et celle de son moment angulaire. En d'autres termes, l'étude des processus qui interviennent dans les étoiles doit permettre d'établir les voies d'évolution dans l'espace des états.

Passons à un autre exemple. L'existence des mouvements relatifs d'étoiles dans les amas ouverts entraîne entre les étoiles d'un même amas des rapprochements accidentels, des échanges d'énergies cinétiques et l'acquisition par certaines étoiles de vitesses supérieures à la valeur critique, nécessaire pour sortir de cet amas. On en déduit que, pendant au moins un certain stade de l'évolution, le nombre des membres de l'amas doit diminuer avec le temps.

Ainsi les conclusions sur les voies de l'évolution des étoiles se fondent sur la synthèse des faits. Il est certain que dans ces généralisations il faut largement utiliser les lois connues de la mécanique, de la physique théorique et de la dynamique stellaire. Pour mener à bien la généralisation des données acquises on doit utiliser divers schémas et hypothèses sans lesquels on ne peut conduire de recherche scientifique. Mais le développement de ces schémas et de ces hypothèses ne doit servir qu'à établir, sur la base des faits acquis, les lois fondamentales et les principes théoriques, régissant l'évolution des étoiles et des systèmes stellaires, les lois reflétant la réalité objective des phénomènes d'évolution qui interviennent dans la nature.

La cosmogonie scientifique moderne des étoiles est entrée résolument dans cette voie de *généralisation des faits*. Elle a acquis une base solide dans les faits, fruit des observations, et a pu réaliser ainsi de premiers succès notables.

Cette nouvelle voie dans le développement de la cosmogonie stellaire diffère radicalement de l'ancienne qui basait ses recherches sur des raisonnements à caractère spéculatif. Dans la cosmogonie classique les objets mêmes de l'étude étaient les divers schémas imaginables de l'évolution, fondés sur diverses hypothèses relatives à l'état initial et aux principales forces agissant dans cet état. Seules devaient être comparées aux résultats des observations les conclusions définitives d'un tel schéma d'évolution.

L'histoire des recherches cosmogoniques effectuées au cours de ces dernières années montre que la première de ces deux voies, celle aride, de l'étude et de la généralisation des faits, est très féconde et pleine de promesses. Dès à présent cette voie qui a conduit notamment à l'établissement de la théorie des associations d'étoiles, a non seulement permis d'expliquer un grand nombre de faits, mais a conduit encore à la *prévision de faits nouveaux* se distinguant d'ailleurs de ceux jusqu'ici connus dans l'astronomie stellaire. A l'heure actuelle nous sommes en mesure de constater que nombre de ces prévisions ont trouvé des confirmations complètes et, je dirai même,—étonnantes.

L'ancienne voie des schémas hypothétiques sur l'origine et l'évolution des étoiles se distingue par sa tendance à trouver simultanément des réponses à toutes les questions fondamentales de la cosmogonie stellaire. Cette voie a reçu dernièrement une extension nouvelle dans les travaux de von Weizsäcker (Allemagne) qui établit la théorie de la différenciation par turbulence du milieu gazeux initial, dans les travaux de Hoyle et de Lyttleton (Grande Bretagne) qui étudient le théorie de l'accrétion, dans ceux enfin de Lebedinski et Gurewich (U.R.S.S.) qui étudient la théorie de la condensation par gravitation.

Ces intéressantes tentatives de résoudre les problèmes fondamentaux de la cosmogonie stellaire n'ont malheureusement pas encore porté de fruits, et il serait difficile de nier, en particulier, que la théorie de l'accrétion (dans son acception actuelle) est en contradiction flagrante avec les observations.

I. SYSTÈMES ET ÉTOILES INSTABLES

Quels sont donc les faits de l'astrophysique moderne sur lesquels il faut avant tout porter l'attention lorsqu'on étudie la genèse et l'évolution des étoiles? Il nous semble qu'il faut considérer avant tout les groupes stellaires et les étoiles instables. Sous le terme de groupes stellaires nous entendons ici les systèmes qui font partie de la Galaxie.

Les observations témoignent de l'existence dans la Galaxie de groupes stellaires instables au point de vue dynamique (amas ouverts, associations O, chaînes d'étoiles, systèmes multiples du type Trapèze d'Orion) ainsi que de groupes relativement stables (tels que: étoiles doubles, systèmes multiples du genre ϵ Lyr).

Les observations indiquent également, qu'en plus des étoiles stables et stationnaires, il existe dans la Galaxie des étoiles instables changeant rapidement d'état (étoiles du genre Wolf-Rayet, P Cygne, Novae, étoiles du type γ Cassiopée et Pléione).

Pourquoi l'étude des états instables présente-t-elle un intérêt particulier? On sait, que *le principe moteur* essentiel de toute évolution dans la nature réside dans les contradictions. Ces contradictions se manifestent avec une netteté particulière lorsqu'un système ou un corps se trouvent dans un état instable, lorsqu'ils sont le siège d'une lutte entre des forces contradictoires, lorsqu'ils abordent des tournants dans leur développement. Voilà pourquoi les astronomes soviétiques, comme du reste beaucoup d'autres astronomes, étudient avant tout les objets célestes instables. Cela ne signifie nullement qu'il faut s'attacher uniquement à ces objets. Mais il faut entendre par là que les objets qui se trouvent dans un état instable méritent une attention particulière. Au cours de ces dernières années c'est justement dans l'étude des systèmes et des étoiles instables qu'on a enregistré de notables succès. On ne saurait nier, par exemple, que si la présente discussion avait été organisée sous les auspices de l'Assemblée de l'U.A.I. de 1948 on aurait eu infiniment moins de fondements pour résoudre les problèmes de l'évolution des étoiles et nos conclusions dans ce domaine auraient eu un caractère tout à fait incertain.

II. L'IRRÉGULARITÉ DANS LA DISTRIBUTION DES ÉTOILES

L'étude de la répartition des étoiles dans la Galaxie et dans les nébuleuses extragalactiques spirales les plus voisines montre son extrême irrégularité. Cette irrégularité se manifeste particulièrement par les étoiles multiples, les amas stellaires ainsi que les groupes plus étendus d'étoiles. Selon les évaluations les plus modestes les $2/3$ des étoiles avoisinant le Soleil appartiennent à des systèmes doubles et multiples. Plusieurs d'entre elles forment de larges couples où la distance entre les constituants est de l'ordre de dix mille unités astronomiques.

Or, la théorie de l'équilibre dissociatif montre que lors de l'équilibre statistique entre les phénomènes de destruction mécanique des binaires (provoqués par les perturbations des étoiles du champ qui passent au voisinage) et les phénomènes de formation mécanique des binaires par suite des rapprochements triples (capture), le nombre de couples larges, avec une distance entre les constituants de 1000 à 10,000 unités astronomiques, doit être 10^8 fois moindre qu'on ne l'observe actuellement. On aboutit à un contraste encore plus marqué si l'on examine les binaires avec des distances entre les composantes de 10 à 20 unités astronomiques. On ne peut expliquer cette divergence énorme qu'en attribuant la formation (actuelle ou récente) de nouvelles étoiles doubles ou multiples non à des processus mécaniques, mais à de profonds processus physiques à caractère cosmogonique. Le nombre des binaires nouvellement formées de cette façon dépasse le nombre de celles formées par capture, son ordre de grandeur étant de plusieurs millions de fois plus élevé.

Parallèlement il faut réfuter l'hypothèse que toutes les étoiles doubles et multiples se sont formées par fission d'étoiles ordinaires, car celles-ci ne possèdent pas et ne peuvent posséder de moment angulaire de rotation égal au moment angulaire de rotation d'un système comme α Cen ou d'autres larges binaires. Il n'y a aucune raison non plus d'attribuer des mécanismes différents de formation aux binaires écartées ou serrées. Bien plus, il n'y a aucune séparation nette entre les binaires écartées et les binaires serrées. Voilà pourquoi l'hypothèse de la formation des binaires par fission d'étoiles isolées est inconsistante.

Ainsi, pour expliquer la formation des étoiles multiples il faut que nous abandonnions aussi bien l'hypothèse de la capture que celle de la fission.

L'unique issue consisterait à admettre que les composantes d'un système multiple naissent ensemble à partir de la matière cosmique qui se trouve dans un état préstellaire d'évolution.

Cette même conclusion devient tout à fait triviale si on l'applique au problème de la genèse des amas ouverts. Il découle de la dynamique stellaire que les amas d'étoiles ne peuvent résulter de la capture mécanique. Bien au contraire, comme l'auteur a pu le démontrer, ces processus, et notamment les processus de rapprochements entre étoiles, entraînent peu à peu la désagrégation des amas. Il est évident de même qu'un amas n'a pu se former par fission d'une étoile.

Nous arrivons donc inévitablement à conclure, dans ce cas aussi, à la genèse commune d'un groupe d'étoiles. S'il en est ainsi, l'origine commune de divers groupes d'étoiles constitue une loi générale.

III. LES ASSOCIATIONS D'ÉTOILES

Si l'on admet que les étoiles naissent par groupes, on ne peut, sans raisons spéciales, estimer que l'énergie totale des nouveaux groupes ainsi formés doit toujours être négative. Il est certain que presque tous les systèmes étudiés jusqu'ici (étoiles multiples, amas ouverts) étaient doués d'énergie négative. Mais on sait aussi que les systèmes à énergie positive ne peuvent être stationnaires et doivent immédiatement se disperser en groupes divergents à énergie négative et étoiles isolées, ce qui entraîne la précarité de leur existence et leur rareté relative. De là cette conception que les étoiles isolées du champ galactique général, de même que les systèmes multiples à petit nombre de composantes, pourraient être les produits de la désagrégation de groupes riches en étoiles qui naissent dans la Galaxie et sont doués d'énergie positive. Si cette hypothèse était justifiée et si les étoiles de la Galaxie continuaient à se former au cours de l'étape présente de son évolution, nous devrions y observer des groupes d'étoiles à énergie positive, c'est à dire des groupes d'étoiles qui se forment ensemble et se dispersent dans l'espace. En d'autres termes, parallèlement aux groupes stationnaires d'étoiles nous devrions observer dans la Galaxie des systèmes en voie de désagrégation.

Les associations d'étoiles sont justement de tels groupes stellaires qui se désagrègent. Le fait de leur existence transforme les deux hypothèses susdites (à savoir: (a) que le processus de la formation d'étoiles continue à notre époque; (b) que les étoiles se forment par groupes) en lois bien fondées régissant l'évolution du monde stellaire, en principes fondamentaux de la cosmogonie stellaire. Cette importance des associations stellaires pour l'évolution des étoiles nous oblige à nous arrêter plus en détail sur ce problème. Pendant ces dernières années nous nous sommes attachés en U.R.S.S. à étudier deux types d'associations stellaires: les associations O et les associations T

Les associations O. Ce sont des groupes de géantes chaudes dont les diamètres sont compris entre 30 et 200 parsec. Parmi les membres de ces groupes on rencontre les étoiles du type B₀ ou plus chaudes.

Si les spectres des étoiles chaudes qui se rencontrent parmi le groupe appartiennent à l'intervalle B₁-B₇, il est commode de ranger à part ce groupe dans une classe d'associations B. Cependant notre attention a jusqu'ici été attirée surtout par les associations O.

Les associations O les plus rapprochées de nous sont: une association dans la constellation d'Orion à une distance d'environ 330 parsec de nous, une association autour de ζ Per à une distance de 300 parsec et l'association de Céphée II à une distance de 600 parsec. Parmi les associations plus lointaines on distingue, par leur richesse en étoiles, l'association autour de h et χ Per, l'association autour de P Cyg et de η Car. La dernière liste établie à l'observatoire de Burakan compte 25 associations O. Le nombre total des associations O dans la Galaxie entière doit se monter à quelques centaines.

Une particularité des associations O tient aux amas stellaires qui les constituent et qui en forment, en quelque sorte, les noyaux. C'est ainsi que l'association d'Orion contient des amas autour du Trapèze d'Orion et l'amas NGC 1981. L'association Céphée II comprend l'amas NGC 7160. On peut établir par le calcul des probabilités que les

associations O ne peuvent pas être des agglomérations accidentelles, surgies par suite des fluctuations statistiques dans la distribution des étoiles des types O et B. De même ce ne sont pas des formations apparentes, dues à la transparence particulière de l'espace galactique dans leur direction.

Il s'ensuit donc que ce sont des systèmes réels d'étoiles d'origine commune. Et c'est la raison pour laquelle se pose le problème du degré de stabilité de ces systèmes.

Les observations montrent que dans les associations O les plus proches, outre des étoiles O-B2 et plus 'avancées' de type B, on rencontre aussi des étoiles B8-B9 de même que des étoiles A. Aussi, bien que dans nos travaux la présence d'un groupe d'étoiles O-B2 fournisse le principal critère nous servant à établir l'existence d'associations O dans certaines régions de l'espace, il existe encore dans ces associations des étoiles qui appartiennent à des subdivisions plus 'avancées' de la Série principale. A titre d'exemple on peut citer l'association d'Orion où existent des étoiles B8-B9 et même plus 'avancées'.

Il est important de noter, cependant, que la fonction de luminosité dans les associations O se distingue nettement de la fonction de luminosité du champ stellaire général, en ce sens que la proportion relative des étoiles à faible luminosité dans les associations O est sensiblement moindre.

Autant que permettent d'en juger les données dont nous disposons, les associations O rappellent fortement à ce point de vue les amas ouverts où les étoiles les plus brillantes sont des géantes des types O ou B, c'est à dire des amas O, d'après la classification de Markarian.

Bien que nous manquions encore de données sur les fonctions de luminosité des associations O dans le domaine des très basses luminosités, la similitude avec les amas O que nous avons mentionnés permet dans une certaine mesure d'extrapoler la fonction de luminosité et de trouver, à partir de la relation masse-luminosité, la masse de chaque association. Connaissant les dimensions linéaires des associations on peut en déduire la valeur approximative de leur densité spatiale. Calculée de cette manière la densité spatiale des associations O se trouve être inférieure d'un ordre ou d'un 1/2 ordre décimal à la densité spatiale du champ stellaire environnant. Nous devons tenir compte, il est vrai, de la possibilité de sérieuses corrections positives. C'est ainsi, par exemple, qu'après avoir comparé la distribution des grandes nébuleuses gazeuses dans la Galaxie à la distribution des associations O, le professeur Shajn a démontré que toutes les associations O riches (à l'exclusion de l'association disposée autour de η et χ Per) contiennent de grandes nébuleuses diffuses brillantes. Il est possible que les associations comportent aussi d'autres corps, par exemple peu lumineux ou obscurs. Cependant, si nous doublons ou même triplons la valeur de la masse obtenue d'après la fonction de luminosité, nous n'obtenons qu'une densité ne dépassant pas celle du champ stellaire environnant. D'après le critère de stabilité, les systèmes stellaires qui sont doués d'une densité moyenne aussi faible ne peuvent se trouver dans un état stationnaire. Ils doivent se désagréger sous l'effet différentiel de la rotation galactique. En d'autres termes, il faut que le système se désagrège sous l'effet du champ d'attraction total de la Galaxie, car les forces d'attraction mutuelle seront insuffisantes pour retenir ses membres dans le volume initial. Pour la destruction du système il suffirait alors de quelques dizaines de millions d'années. Mais si la destruction des associations stellaires s'effectuait seulement grâce à l'effet différentiel de la rotation galactique, ces associations devraient prendre à la longue une forme très allongée. Les observations montrent qu'effectivement, projetées sur le ciel, les associations sont parfois allongées dans la direction du plan galactique. Pourtant dans certains cas cet étalement est peu marqué. C'est ainsi que dans les associations Persée I, Persée II et Céphée II l'étalement est pratiquement insensible. On ne peut expliquer ces phénomènes qu'en adjoignant à l'action de la rotation galactique différentielle encore une cause de désintégration des associations stellaires, à savoir: les vitesses propres d'éloignement (vers l'extérieur) acquises par les étoiles à l'époque de la formation de tout le groupe stellaire. Bien plus, il est indispensable d'introduire l'hypothèse de l'existence de ces vitesses pour expliquer comment le système a pu atteindre une

densité si faible qu'il a commencé à se désintégrer sous l'action différentielle de la rotation galactique. L'existence de vitesses 'propres' suffisamment grandes, avec lesquelles les membres de l'association s'éloignent de sa région centrale, tend à prouver que les associations O sont des systèmes à énergie essentiellement positive (relativement à leur centre de gravité). Ce n'est qu'à l'issue d'une longue période, lorsque les dimensions du système atteignent des valeurs considérables, que les variations de la vitesse acquises sous l'effet de la rotation différentielle de la Galaxie acquièrent le même ordre de grandeur que les vitesses initiales d'éloignement radial à partir du centre et que le système prend un allongement sensible.

Ce sont ces raisonnements qui dès 1948 nous ont conduit à prédire le phénomène d'extension des associations stellaires (celui des associations O, comme celui des associations d'autres types).

Cette année on a appris les résultats de plusieurs études sur les mouvements propres des membres d'associations. Ces études ont confirmé l'extension que nous avons annoncée dans le cas des deux proches associations O sur trois.

C'est ainsi que Blaauw à Leyde montra que l'association voisine de ζ Persée que nous appelons Persée II s'étend à la vitesse de $+0.0027 \frac{\text{secondes d'arc}}{\text{degré par an}}$. L'erreur probable commise sur cette valeur est dix fois moindre et équivaut par conséquent à

$$\pm 0.00027 \frac{\text{secondes d'arc}}{\text{degré par an}}$$

Cet auteur a obtenu son résultat en étudiant les mouvements de 17 étoiles qui font partie de l'association. Sa conclusion signifie que les étoiles de l'association Persée II sont nées il y a $1.3 \cdot 10^6$ années.

Markarian (Observatoire de Burakan) après avoir considéré les mouvements propres de 17 étoiles O-B2 qui font partie de l'association Céphée II (disposée autour de μ Céphée) a démontré que cette association s'élargissait à la vitesse de

$$+0.0008 \frac{\text{secondes d'arc}}{\text{degré par an}};$$

l'erreur probable commise sur cette valeur équivaut à $\pm 0.0003 \frac{\text{secondes d'arc}}{\text{degré par an}}$. Pour cette raison on évalue l'âge de l'association Céphée II à 4.5 millions d'années.

La vitesse linéaire d'éloignement des étoiles atteint dans le premier cas 12 km./sec. et dans le deuxième cas 8 km./sec.

Dans la troisième association (parmi les associations proches que nous avons mentionnées), celle d'Orion, nous assistons à un tableau complexe de mouvements. Il est probable que là aussi nous avons affaire à des divergences d'étoiles. Pourtant, à la différence des deux cas précédents il ne s'agit pas là d'une simple expansion radiale à partir d'un centre unique (fait indiqué pour la première fois par Gurzadian). Ce phénomène doit être rattaché aux circonstances suivantes.

Nous avons indiqué ci-dessus que les associations d'étoiles avaient des noyaux constitués par des amas stellaires. Les associations O riches possèdent généralement plusieurs noyaux. Comme nous l'avons indiqué plus haut, l'association d'Orion contient deux amas: NGC 1981 et l'amas autour du Trapèze. Cependant la Ceinture d'Orion, peut-être plus proche de nous que la partie centrale de l'association, est aussi le noyau d'un autre groupe d'étoiles faisant partie de la même association. Enfin la chaîne des étoiles chaudes, dans laquelle rentre λ Orion, appartient probablement aussi à cette association. Les deux groupes indiqués constituent, au fond, des amas ouverts. Aussi peut-on estimer que l'association d'Orion comporte quatre noyaux.

Il est tout à fait évident que les noyaux (amas) dont les étoiles les plus brillantes forment des figures à allure de chaîne ne peuvent être des formations stationnaires, étant donné que ces chaînes sont mécaniquement instables. D'autre part le Trapèze d'Orion

lui-même est un système multiple instable et doit être, pour cette raison, une formation très jeune dont l'âge est de l'ordre de 10^6 années. Il y a donc des raisons de supposer que dans les associations comme celles d'Orion nous avons non pas un seul mais bien plusieurs centres de genèse stellaire. Il s'ensuit donc que la divergence des étoiles de cette association doit, elle aussi, revêtir un caractère plus complexe. Voilà pourquoi le schéma de l'expansion radiale n'est tout à fait applicable ni à l'association d'Orion ni à d'autres associations à noyaux multiples. Pour étudier l'expansion de l'association d'Orion il faut procéder à une recherche détaillée et très méticuleuse.

Dans les associations O plus lointaines de la Galaxie la découverte de la divergence des étoiles est entravée par le fait que les mouvements différentiels propres doivent être inférieurs aux erreurs commises lors de la détermination des mouvements propres eux-mêmes. Il est au plus haut point nécessaire pour cette raison de préciser les mouvements propres dans ces systèmes.

Il se trouve que l'existence de chaînes de géantes chaudes ou de systèmes multiples analogues au Trapèze d'Orion est une propriété générale des associations O. Par les systèmes du type Trapèze d'Orion nous n'entendons pas obligatoirement des étoiles quadruples formant une configuration du genre Trapèze. Sous le nom conventionnel de système du type Trapèze d'Orion nous entendons les systèmes multiples qui satisfont aux conditions suivantes: ils comportent au moins trois composants séparés par des distances d'un même ordre. Il existe, notamment, des systèmes du type Trapèze dont on ne connaît que trois composants.

On sait cependant que la majorité des étoiles triples ne satisfait pas à la définition citée, car l'une des distances, disons AB, a généralement un ordre de grandeur inférieur à celui des deux autres distances AC et BC.

Les systèmes du type Trapèze sont généralement instables, même si leurs énergies sont négatives. Mais à notre avis il n'y a pas de raisons d'admettre que ces énergies soient effectivement négatives dans tous les cas. Aussi une part importante de ces groupements d'étoiles peut être dotée d'énergies positives, constituant ainsi des systèmes d'étoiles récemment formés, en train de diverger.

Dans les deux cas l'ordre de grandeur des âges des systèmes multiples genre Trapèze ne doit pas dépasser 10^6 années. Il faut pour cette raison attirer tout particulièrement l'attention des astronomes qui observent les étoiles doubles sur l'intérêt que présenterait un grand nombre de mesures précises sur des systèmes multiples du type Trapèze d'Orion.

L'ordre de grandeur de la durée des chaînes composées d'étoiles O et B est quelque peu supérieur.

Dans les associations O riches on rencontre généralement des amas, des chaînes et des trapèzes. Cela prouverait que dans les associations les étoiles naissent par petits groupes à des époques différentes et dans des lieux divers. Le processus de la désintégration de ces groupes mérite d'être étudié en détail.

Bien que l'étude des systèmes du type Trapèze et des chaînes d'étoiles soit entravée par l'existence de trapèzes et de chaînes optiques, l'existence de chaînes et de trapèzes réels dans les associations O ne fait aucun doute.

Citons un autre fait qui caractérise nettement le rôle évolutif des systèmes genre Trapèze.

L'examen du Catalogue d'Aitken des étoiles doubles et multiples montre 11 systèmes multiples, dont les étoiles principales sont plus brillantes que $5^m.5$ et qui appartiennent au genre Trapèze. Parmi ces onze étoiles principales on a trouvé quatre O-B2, deux B3, quatre B8-B9 et seulement une A2. Aussi parmi les étoiles principales des systèmes considérés on voit dominer nettement les étoiles chaudes.

Notons ici 4 systèmes du genre Trapèze dont les étoiles principales possèdent des spectres dans l'intervalle O-B2. Tout d'abord ce sont les étoiles σ Ori et θ^1 Ori qui font partie de l'association d'Orion. La troisième étoile ζ Per entre dans l'association Persée II dont nous avons parlé plus haut. Enfin, la quatrième étoile τ CMa entre dans l'amas NGC 2362 qui est le noyau d'une association O.

Parallèlement aux étoiles de types plus avancés il est intéressant de noter dans les associations O la présence de nébuleuses gazeuses gigantesques. Cela ne constitue évidemment pas une preuve du fait que les étoiles de l'association naissent directement à partir de nébuleuses, mais cela indique, en tous cas, l'existence d'une relation évolutive entre les géantes chaudes et les nébuleuses gazeuses qui sera exposée en détail dans la communication du professeur Shajn.

Certaines associations O comprennent des supergéantes des types spectraux plus avancés parmi lesquelles se font remarquer des variables semi-régulières et irrégulières. Parmi les représentants de cette classe d'objets une place en vue revient à μ Cép qui entre certainement dans l'association en expansion Céphée II fort bien étudiée. Il est intéressant de noter que l'association qui entoure η et χ Persée, étudiée par Bidelman et qui ne contient pas de nébuleuses gazeuses notables, comprend cependant plusieurs supergéantes rouges dont la plupart sont des variables semi-régulières. En outre, c'est dans cette association que l'on observe la plus forte proportion d'étoiles B à raies d'émission.

Les exemples que nous venons d'indiquer permettent de conclure à l'existence d'une parenté certaine entre les géantes chaudes et les supergéantes de types plus avancés.

Nous n'allons pas détailler ici les propriétés des associations T qui constituent le second type fondamental d'associations. Nous noterons seulement qu'elles se composent de naines variables du type T Tauri. Dans les spectres de ces étoiles on observe des raies d'émission et leur éclat subit des variations tout à fait irrégulières. La tentative d'expliquer les associations T par le fait qu'en pénétrant dans une nébuleuse poussiéreuse les nains normaux acquièrent ces propriétés physiques, n'a pas conduit à des conclusions raisonnables. Il faut donc admettre que cette variabilité et la présence de raies d'émission sont des propriétés qui dans une certaine mesure reflètent la nature interne et l'état de ces étoiles. Dans ce cas une suite de raisonnements, analogues à ceux que nous avons fournis pour les associations O, nous prouve que les associations T sont des groupes de jeunes étoiles en voie de désagrégation et que dans ce cas nous avons affaire de nouveau à une genèse stellaire en groupe.

Il est intéressant de noter qu'au moins dans un cas (celui de l'association d'Orion) nous nous trouvons en présence de l'ensemble d'associations O et T. Ce fait est corroboré par la présence d'un très grand nombre de variables du genre T Tauri dans la région entourant le Trapèze d'Orion.

Parenago a étudié en détail la distribution de ces variables dans la nébuleuse d'Orion. Il existe cependant un assez grand nombre d'associations T qui ne sont pas simultanément des associations O.

IV DEUX MÉCANISMES DE LA GENÈSE STELLAIRE

L'exposé ci-dessus permet d'affirmer qu'il existe deux mécanismes similaires de la genèse d'étoiles qui agissent à l'heure actuelle assez activement dans la Galaxie. Dans les associations O naissent des étoiles d'une assez grande luminosité et, en particulier, des étoiles de O à G appartenant à la partie supérieure de la Série principale. Dans les associations T se forment les étoiles de la partie basse de la Série principale, à savoir des nains G-M.

Cette conclusion est en plein accord avec de nombreux faits qui indiquent les différences de caractère entre les deux parties susmentionnées de la Série principale.

1. Les étoiles à haute luminosité forment, d'après Kukarkin, dans la Galaxie des sous-systèmes 'intermédiaires'

2. D'après Parenago la dispersion des vitesses ainsi que les autres caractéristiques cinématiques des sous-systèmes correspondants dans la Galaxie changent brusquement lorsqu'on passe de la partie supérieure à la partie inférieure de la Série principale. Cette brusque variation a lieu dans les premières subdivisions du type G.

3. D'après Parenago il existe sur le diagramme spectre-luminosité une coupure entre

les deux parties indiquées de la Série principale. Il n'existe pas de lien continu entre ces deux parties.

4. D'après Parenago et Masevich les structures internes elles-mêmes des étoiles qui appartiennent à ces deux parties de la Série principale sont différentes.

Les étoiles des deux parties de la Série principale qui se forment dans les associations séjournent pendant un temps assez restreint dans ces dernières pour diverger ensuite dans le champ général de la Galaxie, où elles passent leur vie au cours de milliards d'années. Il est donc naturel que les étoiles se trouvant dans les associations soient moins nombreuses que les étoiles du champ.

La durée du séjour des étoiles dans les stades O–B2, d'autre part, est faible. Elle est comparable à la durée de vie de l'association elle-même, c'est à dire qu'elle est de l'ordre de 10^7 années. Cela explique pourquoi ces étoiles (et en particulier les étoiles O) entrent pour la plupart dans les associations O. Leur type spectral a le temps de changer au cours de la période nécessaire pour quitter l'association. Il est naturel de supposer en outre (voir la suite) qu'au cours de leur évolution les jeunes étoiles chaudes se muent en étoiles de types plus 'avancés' caractérisées par une luminosité inférieure et une masse plus faible, étant donné que chez les étoiles chaudes nous observons des éjections de matière dans l'espace environnant.

Notons que parmi les étoiles des associations O et T on observe une très forte proportion de systèmes binaires et multiples. La proportion de larges couples est particulièrement élevée dans certaines associations T. Dans les associations O, parallèlement aux binaires visuelles, on observe un grand nombre de binaires spectroscopiques. Les plus intéressantes à ce point de vue sont les étoiles de Wolf-Rayet qui se rencontrent très souvent parmi les associations O.

D'après l'étude statistique de Mirzoyan presque toutes les étoiles de Wolf-Rayet doivent être des étoiles doubles et seule la sélectivité de nos observations fait que le caractère double n'est décelé que chez une partie de ces étoiles.

Une telle abondance de systèmes multiples parmi les étoiles jeunes est une confirmation directe de la conclusion que nous avons formulée précédemment (en partant d'autres considérations) à savoir que les composantes d'un système multiple ont une origine commune.

V LES LOIS D'ÉVOLUTION DES ÉTOILES FORMÉES

Après avoir conclu. (1) que la genèse des étoiles continue dans la Galaxie; (2) que cette genèse s'opère par groupes; (3) que les étoiles de la partie supérieure et de la partie inférieure de la Série principale se forment par des mécanismes différents, nous devons nous demander quel est l'état physique des étoiles nouvellement apparues et à quelles lois obéit leur développement.

Pour examiner ces problèmes il est commode d'utiliser le diagramme spectre-luminosité qui peut servir de diagramme d'état des étoiles. En procédant à cet examen il ne faut jamais oublier d'ailleurs que le spectre et la luminosité ne peuvent caractériser d'une façon complète l'état d'une étoile.

Le fait que parallèlement aux étoiles O–B2 nous rencontrons dans les associations O un certain nombre d'étoiles appartenant à des types spectraux plus avancés et présentant des luminosités plus petites, indique que les étoiles peuvent entrer dans la Série principale à différents endroits de cette série. Pourtant dans les associations O comme dans les amas stellaires la fonction de luminosité se distingue nettement de celle des étoiles du champ galactique général. Dans les associations O et les amas d'étoiles la proportion d'étoiles à faible luminosité est relativement réduite.

Etant donné que l'âge moyen des étoiles du champ général est sensiblement plus élevé que celui des étoiles appartenant aux amas et aux associations O on peut en déduire naturellement qu'après leur formation dans une association quelconque les étoiles suivent en 'descendant' la Série principale. D'autre part, comme il existe pour les étoiles de la Série principale une relation entre la masse et la luminosité, nous devons

inévitablement conclure qu'après leur formation les étoiles perdent systématiquement leur masse. La perte de masse par radiation électromagnétique au cours de la vie d'une étoile étant négligeable le rôle primordial dans ce domaine doit appartenir à la radiation corpusculaire. Ce problème a été étudié en détail dans les travaux de Fesenkov, Krat, Martynov et Masevich. Les résultats de ces travaux seront exposés dans la communication du professeur Fesenkov. Je n'en dirai, par conséquent, que quelques mots.

Fesenkov considère que l'écoulement de la matière à partir de nombreuses étoiles à haute luminosité et l'éjection d'enveloppes par ces étoiles est la preuve tangible de la variation de la masse d'une étoile au cours de son existence et, tout particulièrement, au cours des premiers stades de son évolution. La radiation corpusculaire d'une étoile provoque aussi une perte du moment angulaire de rotation. C'est ce fait qui permet d'expliquer que la 'descente' le long de la Série principale s'accompagne d'une baisse rapide de la vitesse de rotation moyenne des étoiles.

Il est facile de voir que l'intensité du rayonnement corpusculaire est fonction de la luminosité pour les étoiles du champ galactique général. Arrêtons-nous pour traiter cette question un peu plus explicitement. L'état d'une étoile qui appartient à la Série principale est défini par un paramètre: sa masse M ou sa luminosité L , par exemple. Il s'ensuit que la puissance du rayonnement corpusculaire $-\frac{dM}{dt}$ qui dépend aussi de l'état de l'étoile est définie par cette grandeur.

En d'autres termes

$$\frac{dM}{dt} = -f(L), \quad (1)$$

d'où
$$\frac{dM}{dL} \cdot \frac{dL}{dt} = -f(L),$$

ou
$$\frac{dL}{dt} = -\frac{dL}{dM} f(L).$$

La grandeur $\frac{dL}{dM}$ est aussi une fonction bien déterminée de L . Nous aurons donc

$$\frac{dL}{dt} = -g(L), \quad (2)$$

ou
$$g(L) = f(L) \frac{dL}{dM}.$$

De la relation (2) nous tirons la valeur du temps au cours duquel la luminosité change de dL , à savoir

$$-\frac{dL}{g(L)} = dt. \quad (3)$$

Admettons que la Galaxie se trouve dans un état stationnaire par comparaison au processus de genèse des étoiles et supposons pour un instant que toutes les étoiles naissent sous la forme d'objets ayant une même grande luminosité L_1 . Dans ce cas le nombre d'étoiles dont les luminosités sont comprises entre L et $L + dL$ devrait être proportionnel au temps durant lequel la luminosité reste comprise dans l'intervalle indiqué. En désignant la fonction différentielle de luminosité par $\phi(L)$ nous devrons en tirer d'après (3)

$$\phi(L) = \frac{C}{g(L)} = \frac{dM(L)}{dL} \cdot \frac{C}{f(L)}, \quad (4)$$

où C est une constante, définie par la normalisation de la fonction de luminosité.

Cependant les étoiles qui naissent réellement dans les associations stellaires apparaissent avec une luminosité initiale différente L_1 . Si nous désignons par $\psi(L_1)$ la fonction

différentielle de luminosité pour l'ensemble des étoiles qui naissent dans les associations de géantes chaudes, nous aurons au lieu de (4) une formule plus générale

$$\phi(L) = \frac{dM(L)}{dL} \cdot \frac{C}{f(L)} \cdot \int_L^{\infty} \psi(L_1) dL_1. \quad (5)$$

Telle est la simple expression qui relie la fonction de luminosité $\phi(L)$ du champ stellaire général de la Galaxie pour la partie supérieure de la Série principale à la fonction de luminosité $\psi(L_1)$ des étoiles qui naissent dans les associations des géantes chaudes. Comme les deux fonctions $\phi(L)$ et $\psi(L_1)$ peuvent être déterminées par les observations, nous en déduisons qu'il est possible de déterminer la fonction $f(L)$, c'est à dire la puissance du rayonnement corpusculaire comme fonction de la luminosité.

Bien plus, utilisant la supposition la plus simple admise par Fesenkov et confirmée par Masevich à savoir que $f(L) = aL$ (où a est une constante), et supposant la luminosité initiale de toutes les étoiles avoir la même valeur, Parenago, par des raisonnements analogues à ceux que nous venons d'exposer, a obtenu une assez bonne représentation de la fonction de luminosité observée pour la partie supérieure de la Série principale pour les étoiles qui appartiennent au champ galactique général. D'autre part, l'expression admise par Fesenkov pour $f(L)$ conduit à des conclusions tout à fait raisonnables sur le moment angulaire de rotation du Soleil au cours des époques écoulées et à des temps raisonnables pour l'évolution des géantes.

Ainsi toutes les données montrent qu'après leur entrée dans la Série principale les étoiles qui naissent dans les associations des géantes chaudes évoluent le long de cette Série en avançant jusqu'au type G.

Chez les étoiles du type solaire l'écoulement de la matière devient si faible qu'un avancement marqué le long de la Série principale demande déjà des dizaines de milliards d'années. A partir du type G, il entre dans la Série principale un grand nombre de jeunes étoiles qui naissent dans les associations T. Pour le moment il nous est impossible de dire comment et à quelle vitesse intervient l'avancement de ces jeunes étoiles le long de la partie G-M.

Le problème suivant de la théorie de l'évolution stellaire revient à établir si les étoiles nouvellement nées se placent immédiatement après leur apparition dans la Série principale ou si elles n'y passent qu'après un séjour, si court soit-il, dans les autres domaines du diagramme spectre-luminosité.

Indépendamment des théories concrètes de la structure interne des étoiles il faut penser que la relation entre la masse et la luminosité n'est valable que pour les étoiles qui se trouvent dans un état d'équilibre mécanique et radiatif. De même la relation entre la luminosité et le rayon, exprimée par la ligne moyenne de la Série principale sur le diagramme spectre-luminosité, correspond aux mêmes conditions d'équilibre.

Il est évident que lors de la naissance d'une étoile à partir d'autres formes d'existence propres à la matière cosmique, il lui faut un certain temps pour entrer dans un état d'équilibre (plus exactement, un état stationnaire) et pour acquérir la luminosité correspondante. Cette circonstance doit trouver son expression dans les écarts des étoiles récemment formées aussi bien à la relation masse-luminosité, qu'à la ligne moyenne de la Série principale. Les faits connus montrent que la ligne de la Série principale sur les diagrammes spectre-luminosité établis pour les associations O et les amas ouverts s'écarte de la ligne normale ou moyenne de la Série principale, les écarts les plus marqués ayant lieu pour les étoiles chaudes d'une association ou d'un amas donné. Un tel écart s'exprime par le fait que les étoiles chaudes des groupes stellaires indiqués possèdent en moyenne des luminosités plus élevées que les étoiles correspondantes du champ galactique. Pour être plus précis, l'extrémité supérieure gauche de la Série principale dans ces systèmes accuse une montée brusque, presque verticale. En outre dans les différents systèmes cette extrémité supérieure gauche correspond à des types spectraux différents. Dans le cas de l'association Persée I cette montée verticale de la Série principale intervient pour les types B0-B2, comme cela se voit nettement sur le diagramme établi par Bidelman. Dans le cas de l'association qui entoure ζ Persée la

même montée a lieu pour le type B1. Dans le cas des Pléiades et des Hyades elle a lieu dans les subdivisions spectrales plus 'avancées' Les faits de ce genre se rapportant à des amas ouverts ont été examinés en détail par O. Struve.

Les faits cités tendent à prouver que lors de la formation de nouveaux groupes d'étoiles, les plus massives de ces dernières passent à l'état d'équilibre plus lentement que les étoiles à faible luminosité et demeurent pour cette raison hors de la ligne moyenne de la Série principale pendant une période plus considérable.

Pour les étoiles jeunes on a également noté des écarts notables avec la relation masse-luminosité. Citons un exemple. Chez les binaires étroites qui possèdent une composante à spectre de Wolf-Rayet la deuxième composante présente souvent un spectre O. Bien que la masse de l'étoile Wolf-Rayet ne soit en général que la moitié ou le tiers de la masse d'une étoile O, leurs luminosités photographiques se distinguent peu l'une de l'autre et la composante de Wolf-Rayet se trouve être au point de vue bolométrique plus brillante. Cela signifie que l'étoile Wolf-Rayet, bien éloignée de l'état d'équilibre, possède une luminosité différant radicalement de celle qu'indiquerait la relation masse-luminosité.

VI. AUTRES OBJETS

Le tableau que nous venons d'esquisser et qui se base sur les données de l'astronomie stellaire laisse de côté plusieurs groupes importants d'objets. Nous allons nous y arrêter brièvement.

1. Géantes et Supergéantes rouges et jaunes

Nous avons vu plus haut que, parallèlement aux étoiles O-B, on observe parfois dans les associations O des supergéantes froides M. Comme les supergéantes M forment des sous-systèmes plats, on est conduit à penser qu'elles représentent certains stades d'objets naissant dans les associations O.

L'unicité de la relation masse-luminosité chez les géantes chaudes et plus avancées permet de généraliser l'affirmation que nous avons faite. Cette unicité tend à prouver en effet que la structure interne des étoiles de l'un ou de l'autre type est, au fond, identique. Cela signifie qu'une géante ou supergéante rouge se compose d'un noyau constituant au fond une étoile très chaude de la Série principale et d'une enveloppe étendue avec une densité et une masse relativement faibles. Dans le cas où l'épaisseur optique de cette enveloppe est faible nous observons une combinaison de critères externes d'une étoile chaude et froide. C'est par cette circonstance et non par la présence d'un satellite chaud qu'il faut expliquer, comme l'a montré Sobolev, les particularités spectrales des étoiles du type R Aqr.

Si ce point de vue est juste, il faut également considérer les Céphéides comme certains stades d'évolution d'objets qui naissent dans les associations O. Les Céphéides forment un sous-système plat; cependant leur distribution est tout à fait indifférente par rapport aux associations O. Ce dernier fait tend à prouver que les propriétés des Céphéides s'acquièrent à une étape relativement tardive de leur évolution.

2. Étoiles qui forment des sous-systèmes sphériques

Parmi ces étoiles il faut classer les sous-naines, les Céphéides à courtes périodes et d'autres objets. Le diagramme spectre-luminosité de ces étoiles indique des conditions de stationnarité qui diffèrent des conditions de stationnarité des étoiles de la Série principale. Cette circonstance est probablement due à une composition chimique différente. Après les travaux de Baade, consacrés à la nature de la population stellaire de la partie centrale de la nébuleuse d'Andromède, on peut considérer comme vraisemblable l'hypothèse émise par Parenago, Struve et d'autres auteurs que ces étoiles naissent dans la région centrale de la Galaxie et que, par conséquent, leur origine diffère nettement de celle des étoiles qui entrent dans la Série principale.

3. *Les naines blanches*

Si l'on conclut à l'origine commune des constituants d'étoiles multiples et des amas stellaires, on sera forcé d'admettre que le mécanisme de la genèse des naines blanches peut être identique à celui des étoiles qui appartiennent à des sous-systèmes plats, puisque assez souvent les naines blanches entrent comme composantes dans les étoiles multiples qui appartiennent à des sous-systèmes plats. Il est possible toutefois que les naines blanches se forment aussi en même temps que les naines rouges. L'évolution ultérieure de ces objets diffère cependant de l'évolution des étoiles de la Série principale.

4. *Nébuleuses planétaires, Novae et Supernovae*

Les problèmes de l'origine de ces objets qui sont relativement rares restent encore peu étudiés. Il est possible que par la valeur de leur masse ces objets se distinguent nettement des étoiles ordinaires. Nous pouvons nous référer ici aux travaux du professeur Mustel. Selon ces travaux l'ordre de grandeur des masses des Novae et des Supernovae devrait être beaucoup plus grand que celui des étoiles ordinaires.

5. *Amas ouverts*

La théorie des associations stellaires nous force à reconsidérer les idées que nous avons jusqu'à présent sur la dynamique des amas ouverts. Les observations montrent que la plupart des amas O entrent dans les associations O. Cependant les associations O sont sujettes à une désagrégation rapide. Si dès lors des amas O restent pendant longtemps à l'état de systèmes stationnaires, nous devrions observer dans la Galaxie un grand nombre d'amas résultant de l'évolution des amas O. Il est évident en outre qu'au cours de la désagrégation des associations le type spectral des étoiles chaudes de l'amas devrait subir une variation.

D'après Markarian les amas O se différencient des amas B et des amas A par une pauvreté extrême en étoiles. Il s'ensuit donc que nous devrions observer une très grande quantité d'amas pauvres qui ont été jadis des amas O. Mais les amas B occupent à ce point de vue une position intermédiaire.

Il nous reste à admettre qu'il intervient dans le temps non seulement une baisse de luminosité des membres des amas O, mais que la structure géométrique même de ces amas devient autre. Soit que ces amas se dispersent totalement dans l'espace soit qu'ils s'étendent à un tel point qu'ils deviennent inaperçus à de grandes distances, dans les deux cas il en découle que les amas O ne sont pas stationnaires. Il se peut qu'une diffusion de l'amas intervienne à la suite de la diffusion de toute l'association stellaire. Cela signifie que les amas O peuvent être des systèmes à énergie positive. Cela ne doit pas nous paraître étonnant. Si en observant des amas ouverts en général nous concluons au signe négatif de leur énergie et à leur caractère stationnaire, cette conclusion découlait de la grande durée hypothétique des amas, que corroborait leur grand nombre. Mais ce raisonnement n'est pas obligatoire lorsqu'on considère les amas O. La présence dans ceux-ci de chaînes d'étoiles et de systèmes multiples du type Trapèze prouve que ce sont plutôt des objets non-stationnaires. Il se peut donc que plusieurs d'entre eux soient doués d'une énergie positive.

VII. DE QUOI LES GROUPES STELLAIRES SE FORMENT-ILS?

Nous ne nous sommes pas encore arrêtés sur le problème suivant: de quoi se forment les étoiles des associations? Les faits cités dans la communication de Fesenkov arguent en faveur de la genèse des étoiles à partir de filaments et de 'caillots' de matières diffuses. Ils témoignent aussi du caractère groupé de la genèse stellaire. Les documents cités par Shajn confirment que la genèse stellaire est étroitement liée à l'évolution des nébuleuses diffuses. En résolvant le problème considéré il ne faut pas non plus perdre de vue

l'existence d'objets tels que les globules et les radio-étoiles. Ces deux types d'objets se rattachent à leur tour à la matière diffuse. L'étude des rapports entre toutes ces formes d'existence de la matière nous facilitera incontestablement l'étude de la genèse des groupes stellaires.

VIII. DE L'ACCRÉTION

Le tableau général exposé plus haut qui repose sur la synthèse des données sur les étoiles s'oppose nettement à la théorie de l'accrétion, proposée par le professeur Hoyle et ses disciples.

D'après la théorie de l'accrétion les étoiles augmenteraient continuellement leur masse à partir de la matière interstellaire. L'évolution des étoiles de la Série principale va dans un sens opposé à celui que nous avons indiqué et les géantes chaudes seraient de vieilles étoiles qui auraient capté des masses considérables.

D'après la théorie de Hoyle les étoiles multiples naissent à partir de larges systèmes multiples par suite de l'accroissement de leur masse. Les larges étoiles multiples à leur tour se formeraient par un mécanisme de capture.

Cependant la constatation du rôle important que la pression de la lumière joue pour la raie L_{α} , lorsque nous avons affaire à des masses gazeuses qui entourent les étoiles chaudes, fait douter de la possibilité même de capture de la matière gazeuse par les étoiles de types B et O, étant donné que la pression de la lumière doit surpasser en définitive les forces d'attraction. Malheureusement, tous les faits dont nous avons parlé plus haut s'opposent, eux aussi, à la théorie de l'accrétion.

Cette théorie est en contradiction avec l'existence même des associations d'étoiles. Elle est en contradiction avec leur expansion. Elle est en contradiction avec le fait qu'une proportion importante des étoiles O-B se trouve dans des amas compacts mais relativement pauvres. Elle s'oppose à l'existence même des systèmes multiples du type Trapèze et des chaînes d'étoiles. Elle est en contradiction formelle avec l'existence des systèmes multiples comme par exemple γ Andromède où un couple étroit BC (avec une distance $BC = 0'' \cdot 35$) et constitué d'étoiles de 5^e et 6^e grandeur, gravite autour d'une étoile principale A de 3^e grandeur, ou comme chez Rigel (β Orion) dont deux satellites visuels B et C forment un couple étroit de deux étoiles chacune inférieure de 8 grandeurs à l'étoile principale, la distance BC n'étant que le cinquantième de la distance entre A et BC.

Le manque de temps ne nous permet pas de nous arrêter sur d'autres théories qui à l'instar des anciennes théories cosmogoniques présentent elles-aussi un caractère spéculatif.

Ces théories, elles non plus, n'arrivent pas à expliquer les faits. Par contre, la conception que nous vous avons présentée constitue une généralisation rationnelle et naturelle de tous les faits cités et permet, en outre, de prévoir des faits nouveaux. Parmi les faits prévus et qui ne sont pas encore définitivement confirmés par les observations il faut mentionner l'instabilité des systèmes du type Trapèze d'Orion et de la divergence des étoiles des associations T

IX. CONCLUSION

Les données des observations astronomiques permettent dès à présent de déceler de nombreuses lois régissant l'origine et l'évolution des étoiles. La plupart des lois dont nous avons parlé plus haut ont été découvertes par les astronomes de l'Union Soviétique. Dans notre travail nous nous appuyons sur la vaste documentation réunie dans les observatoires astronomiques du monde entier ainsi que sur les recherches théoriques des savants de différentes nations. Voilà pourquoi nous attachons une importance énorme à la collaboration pacifique des astronomes du monde entier. Respectant profondément les travaux des vrais scientifiques, des vrais travailleurs de la science, nous pensons que l'étude en commun des grands problèmes scientifiques, y compris le grand problème de l'évolution des corps célestes, contribuera au rapprochement culturel entre les peuples et à leur compréhension mutuelle.

Ce sera ainsi notre modeste contribution à la noble cause de la consolidation de la Paix dans le monde entier.

Struve veut mentionner, en relation avec l'exposé de V. A. Ambartsumian, un certain nombre de faits:

(1) Herbig a présenté récemment à l'American Astronomical Society un certain nombre de résultats nouveaux sur le spectre des étoiles T Tauri. Leurs raies spectrales sont très étalées et peu profondes. Bien que de même type spectral que les naines de la série principale (type K), le spectre est différent de la normale. La forme des raies permet de calculer une vitesse de rotation très grande, de 50 km. sec.⁻¹ à l'équateur environ, beaucoup plus grande que la vitesse de rotation dans les étoiles ordinaires.

Struve en conclut, en accord avec les travaux d'Ambartsumian, de Kholopov, que les étoiles T Tauri forment un groupe spécial d'étoiles nées dans le nuage auquel elles sont associées.

(2) Struve fait remarquer que Joseph Meurers de Bonn a exprimé son désaccord sur la question de la réalité des chaînes d'étoiles. Struve exprime le vœu que les astronomes soviétiques ou les astronomes d'autres pays fournissent un test statistique de la réalité de ces chaînes d'étoiles.

(3) Struve rappelle que dans ses premiers articles, Ambartsumian a pensé que la matière dans l'état préstellaire était dans un état différent de celui de la matière inter-stellaire. Struve voudrait savoir si Ambartsumian a toujours le même point de vue.

Ambartsumian précise qu'il a fait exprès dans ses premiers travaux de ne pas insister sur l'état de la matière préstellaire, car aucune conclusion positive ne pouvait être tirée à ce moment-là. Il pensait plutôt à des groupes de petits objets, différents des étoiles et des nébuleuses. Maintenant, il pense plutôt que l'état préstellaire est lié à l'existence de filaments discrets qui semblent jouer, d'après les travaux de Fesenkov et Masevich, un rôle important. Mais il ne peut en réalité encore décider entre les deux hypothèses.

Bertil Lindblad lit un article sur l'évolution des systèmes stellaires:

The problem of stellar evolution is to some extent connected with the problem of the evolution of stellar systems. A certain phase in the evolution of stellar systems may probably be described as follows.

In a rotating proto-system consisting of gas, dust and stars processes of condensation of gas into dust and of gas and dust into stars cause a general increase of the degree of flattening towards the equatorial plane. If the angular momentum of rotation is considerable, this leads to the formation of a heavy sub-system in which the motion occurs mainly in circular orbits about the centre. In this sub-system differential rotation and mutual attraction of condensations have a certain tendency to form heavy rings of matter, especially at the effective boundary of the system and the centre. Bright O and B stars in the main sequence and in general stars of population type I will be formed here, whereas the stars earlier formed in the proto-system may be mainly stars of type II of smaller concentration towards the equatorial plane.

If the degree of flattening is sufficient, it appears that a density wave in which matter concentrates towards a certain diameter increases exponentially with the time. The wave divides the system into four whorls, two about maxima of density and two about minima. These whorl motions break up the system, and together with internal motions of other types produce the spiral pattern.

Different kinds of systems show characteristic similarities of structure but also great differences which are probably correlated with the amount of angular momentum per unit mass. A variation which may be of importance from the point of view of stellar evolution concerns the relative amount of matter of population types I and II. We may put up as contrasts the two spirals NGC 4594 and NGC 4216, which have both rather faint spiral arms. In the former system there is an extremely vast sub-system of low flattening and advanced colour, resembling the elliptical nebulae. In the latter system the true central nucleus of advanced colour is extremely small. It occurs in a small spiral structure surrounding the centre. An analogous case is the nebula NGC 7331. Whereas NGC 4594 has a considerable amount of dust in its outer regions, it is evident

that in NGC 4216 and NGC 7331 the central regions contain a considerable amount of dust too. These, and other differences between stellar systems which seem to behave from the dynamical point of view in a similar way, raise many questions concerning the main course of stellar evolution.

Masevich demande à Lindblad s'il y a, à son avis, des différences de composition chimique entre les nuages individuels qui se forment dans les galaxies.

Lindblad pense qu'il peut y avoir des différences de composition chimique, mais ne sait pas donner de réponse plus précise.

Oort fait l'exposé suivant:

In 1944 Dr Blaauw discussed a group of early-type stars in Perseus around ζ and σ Persei. He pointed out that although, judging from the distribution in the sky, the stars in this region should be physically related, their proper motions showed considerable differences. New proper motions which he has recently determined from entirely independent data confirm the differences and moreover that the group *expands*. The rate of expansion, corrected for the apparent contraction due to the fact that the group moves away from us, is $0.00268''/a.$ per degree; the probable error of this result is about 10%. The mean space velocity of expansion is 12 km./sec. These data give a direct support to the hypothesis put forward by Ambartsumian, according to which loose groups of early-type stars would have an inherent tendency to expand.

The expansion in the case of the ζ Persei group is exceptionally rapid. It indicates that the stars were formed about 1.3 million years ago in a volume of space considerably smaller than that at present occupied by the group. The group contains three stars of very high luminosity, viz. σ , ζ and ξ Persei. A cluster of small linear dimension south of σ Persei as well as a number of dense interstellar clouds are likely to be related with the expanding group.

A very similar expanding family has recently been found by Blaauw and W. W. Morgan in Lacerta, with centre at $l=67^\circ$, $b=-14^\circ$. The authors give 31 members of this group, among which the O-type star 10 Lacertae and 5 other stars (6, 8, 12, 14 and 16 Lacertae) brighter than -3.0 absolute magnitude; 12 and 16 Lacertae are β Canis Majoris variables. The dimensions are 120×70 parsecs, about three times those of the ζ Persei family. The coefficient of expansion is $0.00086''/a.$ per degree, hence the age of the aggregate is 4.2 million years. The mean space velocity of the expansion is 8 km./sec.

The two groups mentioned are so young that their dimensions are practically determined by the initial rates of expansion. When an expanding group becomes older than 10 million years the influence of the perturbing force of the Galaxy becomes of importance. After about 60 million years such a group will have got an elongated shape with axial ratio of 2.5, the long axis pointing towards 12° galactic longitude, thus making an angle of 45° with the direction of the galactic centre. The elongation increases with time, the long axis at the same time approaching the direction of rotation of the Galactic System.

It is not improbable that the large Scorpio-Centaurus group of B-stars, as well as the nucleus of the Ursa Major moving clusters (consisting of five bright and some eight known fainter stars in the Big Dipper), are cases of this kind. Dr Blaauw has made an exhaustive study of the Scorpio-Centaurus cloud. He found that it has an elongated shape, with dimensions, projected on the galactic plane, of about 290×100 parsecs, the major axis making an angle of about 45° with the direction of the galactic centre in the direction of increasing longitude. On the hypothesis that shape and orientation of the group are due to the mechanisms of initial expansion and differential galactic rotation these data would point to an age of 72 million years and a mean initial expansion of 0.7 km./sec.

The nucleus of the Ursa Major cluster is rather similarly elongated and oriented. If the elongated form is again interpreted as a sign of expansion the resulting age would be about 45 million years; the hypothesis of an expansion would appreciably diminish the discrepancy found by Miss Roman between the parallax determined from the motion and the mean trigonometric parallax. The members of this group range from A- to K-type dwarfs.

Further progress in the study of the expanding groups can only be made when proper motions of early-type stars will have been determined with greater accuracy. In view of the significance of this problem for cosmogony we wish to stress the importance of repeated, special observations of early-type stars by meridian circles.

REFERENCES

- A. Blaauw: The age and evolution of the ζ Persei group of O- and B-type stars. The evolution of expanding stellar Associations; the age and origin of the Scorpio-Centaurus Group, *B.A.N.* No. 433 (1952).
A. Blaauw: A Study of the Scorpio-Centaurus Cluster, *Groningen Publ.* No. 52 (1946).
Nancy Grace Roman: The Ursa Major Group, *Ap. J.* **110**, 205 (1949).

Baade doute que l'ellipticité du groupe d'étoiles B dans Scorpio-Centaurus soit due à la rotation. En effet, dans les nébuleuses extra-galactiques, les étoiles B se forment le long des bras spiraux, en motifs déjà très allongés.

Oort est d'accord et estime ne pas avoir suffisamment mis en évidence que tous les résultats présentés ne sont pas tous d'égale valeur.

Baade précise, qu'à ses yeux, le cas du groupe d'étoiles situé dans Lacerta et étudié par A. Blaauw et W. W. Morgan est plus sûr.

Gratton indique qu'un travail est en cours à l'Observatoire de Eva Peron sur l'amas χ Tucanae, qui ressemble beaucoup à une association stellaire.

Les vitesses radiales des étoiles de l'association ont été déterminées. Leur dispersion est trois fois plus grande au bord de l'association qu'au centre, ce qui est exactement ce qu'on pourrait attendre pour un système d'étoiles en expansion.

Kourganoff indique qu'une difficulté relative aux associations se trouve maintenant résolue, en raison de la récente découverte de Baade, présentée le 5 Septembre à la commission 27, de la multiplication par 2 de toutes les distances extra-galactiques.

On avait trouvé que les associations stellaires des systèmes M 31, M 33 et des nuages de Magellan avaient un diamètre environ deux fois plus faible que les associations galactiques. Si ces objets extra-galactiques ont leurs dimensions multipliées par 2, on obtient un ordre de grandeur comparable de 0.0004 étoiles p_s^{-3} .

Gold souhaiterait connaître plus en détail les raisons qui motivent la réfutation de la théorie de l'accrétion par Ambartsumian, avant de prendre la décision extrêmement importante que Ambartsumian nous presse de prendre, de supposer que l'accrétion ne prend pas une part essentielle dans l'évolution. Les faits qu'Ambartsumian utilise pour réfuter la théorie de l'accrétion sont précisément ceux qui sont utilisés par les auteurs de cette théorie pour la prouver.

Gold suggère qu'il n'est pas seulement nécessaire de discuter la désirabilité de la théorie de l'accrétion pour expliquer les faits, mais aussi de discuter directement la dynamique de l'accrétion, pour savoir si on est obligé de supposer l'accrétion, quels que soient les efforts que l'on doit faire pour la réconcilier avec les faits à notre disposition.

Ambartsumian fait remarquer qu'il n'est pas opposé à ce que l'on fasse des recherches dans le sens de Gold, Hoyle, Bondi. Il souhaite que ces recherches se tiennent plus près des faits d'observation, soient moins spéculatives. Il estime que des recherches de même nature que celles que l'on fait en U.R.S.S. ont un meilleur rendement.