

Vingt cinq ans de progrès en astronomie : periode 1937-1962

Autor(en): **Couderc, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen
Gesellschaft**

Band (Jahr): **8 (1963)**

Heft 81

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-900200>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ORION

Mitteilungen der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

JULI – SEPTEMBER 1963

No 81

3. Heft von Band VIII – 3^e fascicule du Tome VIII

VINGT CINQ ANS DE PROGRES EN ASTRONOMIE ¹ (PERIODE 1937–1962)

par P. COUDERC, Observatoire de Paris

Je me propose de passer en revue très brièvement les principales conquêtes de l'Astronomie depuis la naissance de la Société Astronomique de Suisse, c'est-à-dire au cours des 25 dernières années.

La moisson a été prodigieuse et je négligerai à regret des découvertes intéressantes mais qui ouvrent des perspectives moins vastes. Par exemple, je ne présenterai pas l'admirable explication des raies du *coronium* par GROTRIAN (1938) et surtout par EDLEN (1942) au moyen de métaux (Fer, Nickel ou Calcium) de dix à quinze fois ionisés. Je m'en tiendrai à sept chapitres fondamentaux, nouvellement entrés dans notre science, et dont les conséquences, les applications, les développements, bouleversent déjà et bouleverseront longtemps l'Astronomie.

Notre quart de siècle a d'abord découvert les réactions thermonucléaires par lesquelles les étoiles entretiennent leur rayonnement pendant des millions et, plus souvent, des milliards d'années. Mettons au premier plan ce résultat.

¹ Conférence donnée au Grand Auditorium de l'Institut des sciences exactes de Berne, le 28 avril, à l'occasion de la séance commémorative du 25^e anniversaire de la S.A.S.

I. COMMENT LES ÉTOILES ENGENDRENT LEUR LUMIÈRE

Dès 1919, J. PERRIN émit l'idée juste que l'énergie fantastique, déversée dans le vide par les étoiles normales, provient d'une transformation de leur hydrogène en hélium.

Mais il a fallu encore 20 ans de recherches physiques pour que l'un au moins des mécanismes subtils qui président à cette transformation soit précisé. C'est précisément à l'aube de la période que nous célébrons aujourd'hui, c'est à la naissance de la Société astronomique de Suisse, que BETHE, VON WEIZSÄCKER et leurs collaborateurs, publient un cycle de six réactions successives, qui conduit à l'agglomération de 4 noyaux d'hydrogène (ou protons) en une particule α (noyau de l'hélium). Ce cycle, auquel participent, au titre de catalyseurs récupérés, des noyaux de carbone C et d'azote N, est aujourd'hui célèbre sous le nom de cycle (C, N) ou cycle de Bethe. Nous savons maintenant que ce cycle engendre la lumière des étoiles *plus chaudes que le Soleil* et qu'il est extraordinairement sensible aux variations de température : l'énergie débitée, toutes choses égales par ailleurs, croît comme T^{18} (puissance 18 des températures T régnant dans la pile atomique que constitue la région centrale de l'étoile). Avec cet exposant élevé, la température ne saurait croître beaucoup, tant qu'il reste de l'hydrogène à convertir au cœur de l'étoile, sans que le débit devienne explosif. En fait, la température centrale des étoiles où fonctionne la pile à hydrogène ne saurait dépasser disons : 30 millions de degrés. Mais le cycle (C, N) ne s'amorce, ne débite de quantité appréciable d'énergie, que si la température dépasse nettement 10 millions de degrés.

Il a fallu attendre les années 1950 pour découvrir qu'un cycle plus élémentaire alimente les *étoiles au cœur plus froid*.

SCHATZMAN, et, un peu plus tard, FOWLER, ont montré que les protons, sans catalyseurs, pouvaient s'agglomérer entre eux à des températures plus basses, fournissant un débit appréciable, dans les conditions stellaires de pression centrale et de densité, dès que la température atteint quelques millions de degrés. Cette chaîne de réactions, dite chaîne proton-proton (P, P), conduit à l'hydrogène lourd (deutérium) puis à un hélium léger (He_2^3) et enfin à l'hélium ordinaire (He_2^4) par fusion de deux noyaux He_2^3 .

Ces réactions sont beaucoup moins volcaniques que le cycle (C, N) et l'énergie produite est fonction de T^4 seulement (puissance 4 de la température). Notre Soleil est tributaire à 99 % de la chaîne (P, P) : sa

température centrale, de 14 millions de degrés environ, n'est pas suffisante pour que le cycle (C, N) l'emporte sur la chaîne (P, P), mais il s'en faut de peu. Les étoiles au cœur légèrement plus chaud que notre Soleil doivent déjà au cycle (C, N) l'essentiel de leur débit

II. L'EVOLUTION DES ETOILES ET L'AGE DES ASTRES

Nous voici tout naturellement conduits à approfondir la question de l'évolution des étoiles, qui appartient tout entière à la période présente.

On suppose depuis longtemps que les étoiles évoluent puisqu'elles rayonnent, perdant de la lumière et de la chaleur. De temps en temps, sous le nom de *Nova*, on percevait un signe d'évolution brutale, une explosion d'étoile. Mais on peut dire qu'en fait, jusqu'à nos jours, on ne savait pas surprendre les signes permanents de l'évolution des étoiles, encore moins en soumettre au calcul les modalités. On s'en consolait en pensant que cette évolution est trop lente à l'échelle de la vie humaine pour que nous puissions la percevoir.

Les choses ont bien changé depuis 25 ans.

Deux diagrammes fondamentaux sont les bases de ce changement. Celui de Hertzsprung et de Russell (diagramme H.R.), établi vers 1912-1914 concerne les étoiles voisines du Soleil, que nous appelons maintenant la *Population I*. En abscisse, on porte la couleur de l'étoile ou, si l'on préfère, sa température effective, ou encore son type spectral. En ordonnée, figure sa luminosité, sa puissance lumineuse, souvent désignée par la magnitude dite *absolue*. La plupart des étoiles (90% environ) se groupent sur la diagonale descendant de gauche à droite, qu'on nomme la *série principale*: le Soleil s'y place au voisinage du milieu.

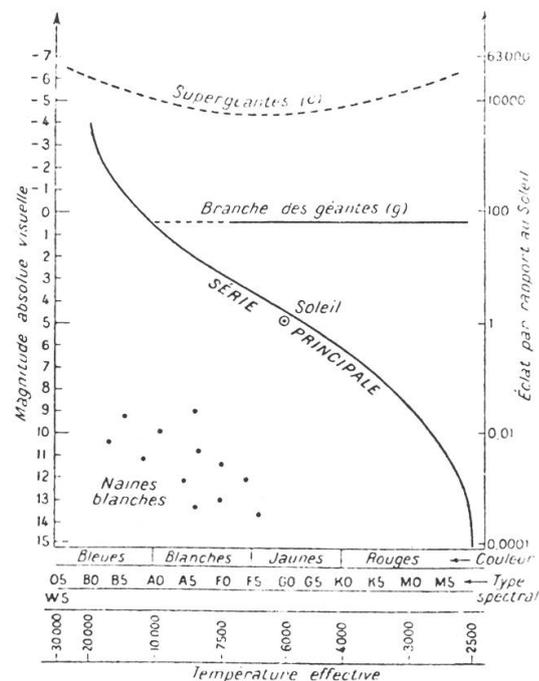


Figure 1: Diagramme de Hertzsprung-Russell pour le voisinage du Soleil (population I).

Puis, *les naines blanches*, étoiles anormales hyperdenses, occupant une aire assez étendue du coin inférieur gauche. Leur nombre est difficile à préciser parce qu'on ne les voit pas de loin, en raison de leur faible éclat; si l'on en juge par leur abondance parmi nos plus proches voisines, ce nombre peut atteindre de 5 à 10% de la population (I) totale.

Enfin, de *rare géantes*, cent fois plus lumineuses que le Soleil, et d'exceptionnelles *supergéantes*, cent fois plus brillantes encore, complètent la récolte.

Mais, en 1918, étudiant les *amas globulaires* qui allaient le conduire à découvrir le plan de notre Galaxie, H. SHAPLEY reconnut que leur population (dite maintenant *Population II*) se groupait en un diagramme différent du précédent, qu'il serait légitime, je pense, de nommer diagramme (H. S.) en hommage à son auteur. Là, la série principale se borne à un tronçon dans l'angle inférieur droit; du point le plus haut de ce tronçon, en un *rebroussement aigu*, part vers la droite une branche d'étoiles qui monte bientôt jusqu'à la région des *géantes* ou même des *supergéantes* rouges (figure 2).

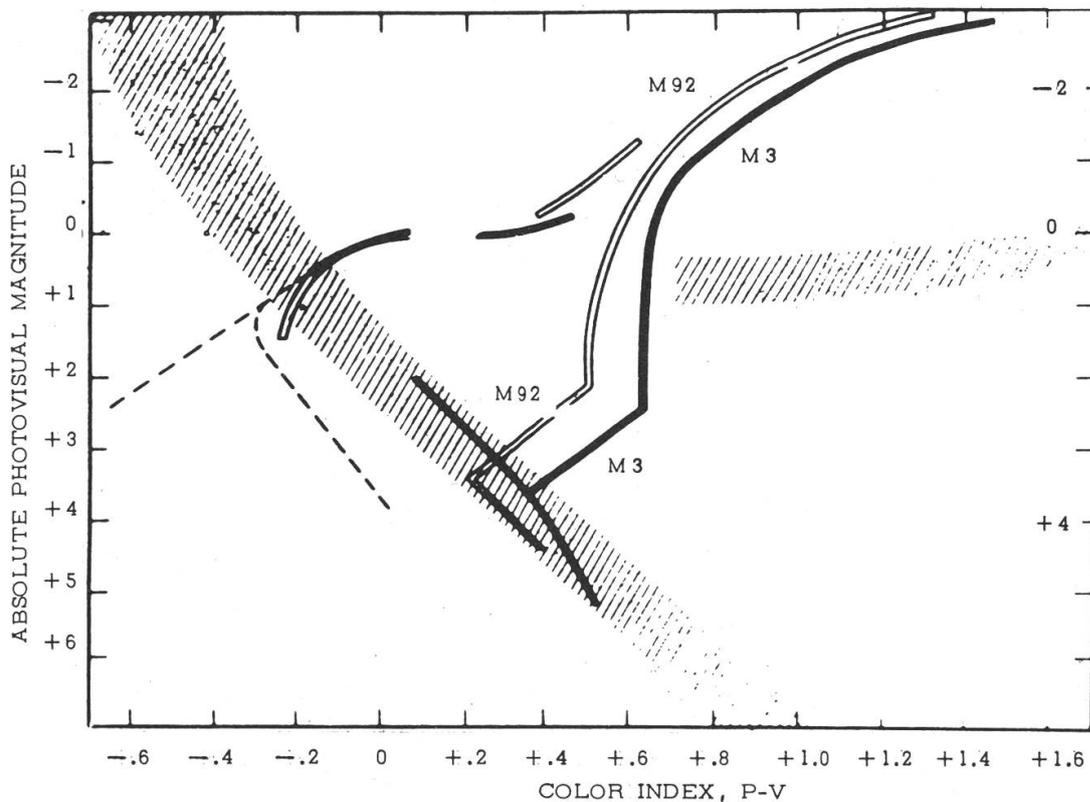


Figure 2

Enfin, de cette région culminante, une ligne d'étoiles descend vers la gauche et semble plonger vers le domaine des naines blanches.

Pendant bien des années, on a contemplé les diagrammes (H. R.) et (H. S.) comme s'ils étaient *statiques* et sans relation entre eux. C'est une des gloires de notre époque d'avoir démontré que l'un engendre l'autre. Les étoiles, qui naissent de la concentration d'un gaz diffus, viennent, en peu d'années, se placer sur la *série principale*, chacune en un point originel qui dépend de sa masse, les plus massives en haut, brillantes et claires, les naines vers le bas, à droite, sombres et rougeâtres.

Le temps qui passe altère cette *série principale* en commençant par le haut. Car les astres très brillants et très chauds du haut de la série, comme Rigel, qui rayonnent 50 000 fois ou même 100 000 fois plus que le Soleil, ne peuvent vivre longtemps : ils usent trop vite leur stock de combustible. Ceux que nous observons sont forcément *jeunes*, nés d'hier dans les spires de notre Galaxie. Au contraire, les étoiles jaunes, comme le Soleil, plus économes, peuvent rester une dizaine de milliards d'années, au voisinage de leur point d'arrivée originel sur la série principale, avant de subir l'évolution dramatique et rapide, qui précède leur passage à l'état final de naines blanches.

Enfin, les étoiles froides et rougeâtres, à vie ralentie, qui peuplent en grande abondance le bas de la série principale, ont une évolution extrêmement lente, qui ne sera sensible qu'au bout de 20, 50, 100 milliards d'années selon la faiblesse de leur éclat.

Le diagramme (HR) s'altère donc peu à peu et tend vers le diagramme (HS). La partie détruite de la série principale et le tronçon qui subsiste encore permettent de connaître *l'âge* des amas. Autrement dit, c'est la position du *point de rebroussement* dans un diagramme (HR) ou (HS), qui permet d'établir une chronologie. On connaît le processus qui préside à ce rebroussement. Quand l'hydrogène est épuisé dans un domaine assez grand au cœur de l'étoile (disons : dans 12% de la masse totale) l'étoile cesse d'être *normale*. Le noyau central privé d'hydrogène se comprime de façon extraordinaire, sa température s'accroît, montant vers le milliard de degrés — cependant que l'énergie libérée par cet écroulement interne souffle les régions extérieures, les dilate. Ces enveloppes externes de l'étoile se refroidissent dans la détente, passent au rouge. Voilà l'étoile devenue une géante rouge.

Mais en son centre surchauffé une nouvelle étape commence, où va brûler l'hélium à son tour, engendrant des éléments plus lourds (carbone, oxygène, etc.). L'étape sera courte, car ces réactions libèrent peu d'énergie (beaucoup moins que la combustion de l'hydrogène) et nous ne sommes pas encore capables de la suivre par le calcul jusqu'à sa fin. Mais nous sommes sûrs qu'après des vicissitudes diverses (période d'instabilité, de pulsation, d'éjection de matière, de morcellement ou même d'explosion) elle conduira l'astre (ou ses fragments) à l'état *dégénéré* au cimetière des naines blanches ultradenses. Dans les populations âgées le pourcentage des naines blanches doit être fort élevé. Le tableau que je viens d'esquisser me semble une des *acquisitions majeures* des récentes années.

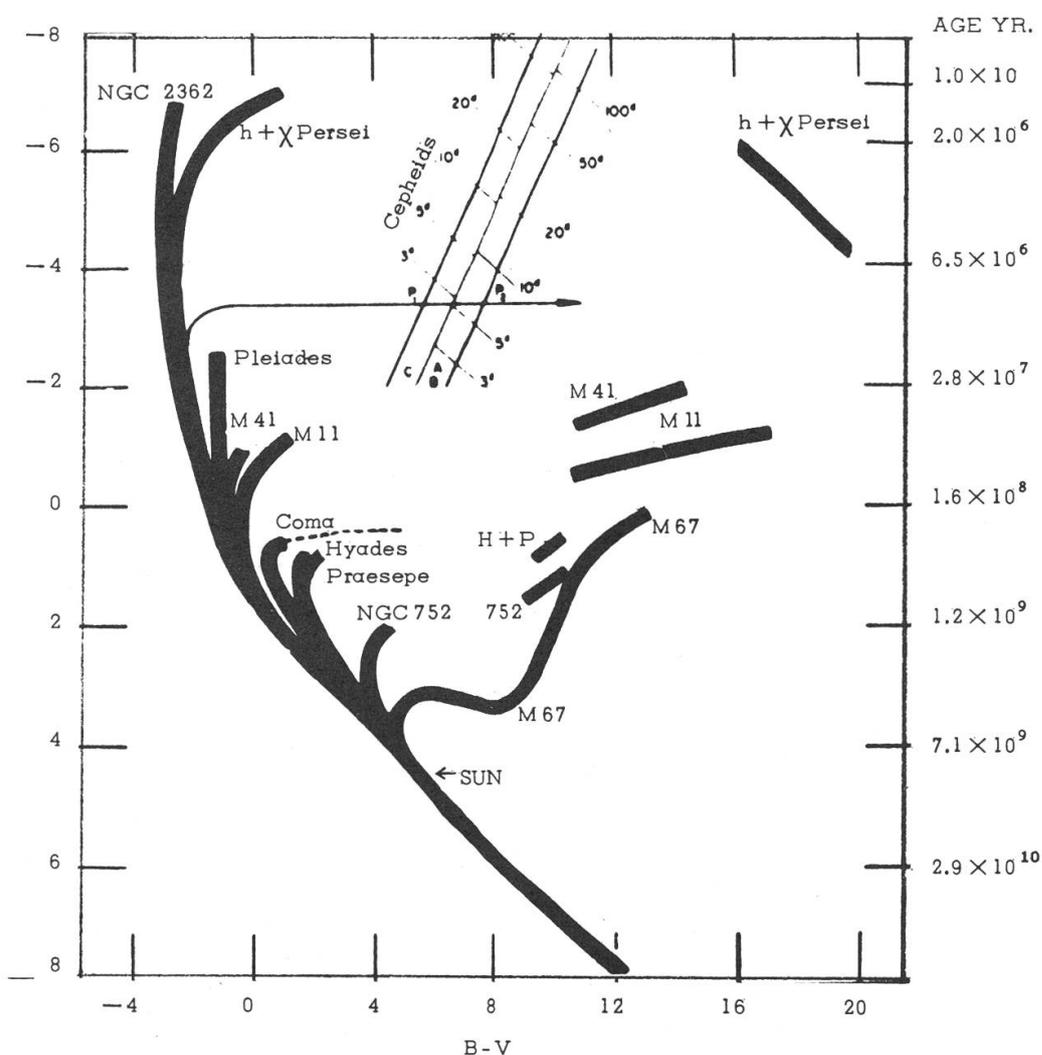


Figure 3

Les amas de population I, dits amas ouverts, que l'on trouve en abondance dans les spires de notre Galaxie, accusent des âges fort divers. Les amas jumeaux η et χ de Persée ne dépassent pas un ou deux millions d'années : ils sont nés d'hier. Les Pléiades, Messier 11 de l'Ecu, ont quelques dizaines de millions d'années. L'amas Praesepe (du Cancer) ou les Hyades approchent du milliard d'années. L'amas Messier 67 qu'on trouve aussi dans le Cancer est vieux de 5 à 6 milliards d'années. L'amas de Céphée, NGC 188, enfin, paraît détenir le record des amas ouverts avec 10 milliards d'années, âge double de celui du Soleil (figure 3).

Les amas globulaires de population II, qui peuplent le halo de notre Galaxie, sont les témoins de ses premiers âges ; formés à des étapes successives, ils n'en sont pas moins tous très vieux et celui que nous tenons pour le patriarche, Messier 3 des Chiens de Chasse, atteint sans doute 13 ou 14 milliards d'années. Messier 5 et le célèbre amas d'Hercule Messier 13 ne sont guère moins vieux (figure 4).

Dans ces amas dénués de gaz, aucune étoile jeune ne peut naître et la population vieillit sans apport de jeunesse : dans Messier 3, la majorité absolue est peut-être déjà détenue par les naines blanches ; mais nous ne pouvons pas le vérifier car l'amas est trop loin pour qu'on perçoive ces naines.

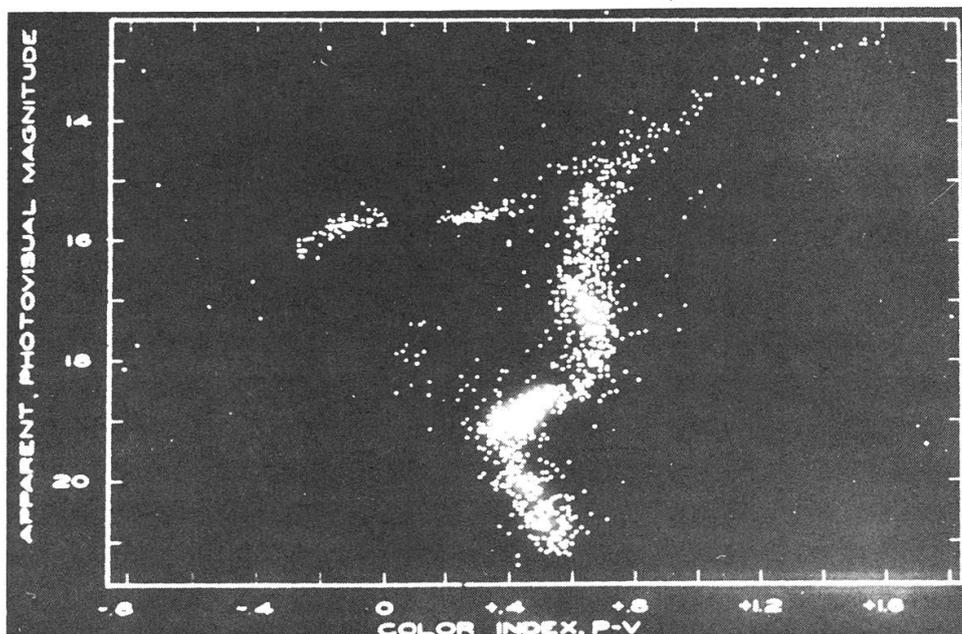


Figure 4

L'évolution des étoiles, des amas, des Galaxies, de l'Univers est devenue le thème prépondérant de l'Astronomie contemporaine. Abstraction faite de quelques estimations récentes dont l'exagération apparaît déjà, toute la hiérarchie des systèmes d'astres prend place assez harmonieusement dans le passé de l'Univers, de sa phase expansive en moins, qui ne nous paraît pas, aujourd'hui, remonter à plus de 15 milliards d'années.

III. LE MAGNETISME COSMIQUE

Notre quart de siècle se signalera aussi, je pense, aux générations futures par l'entrée en ligne du *magnétisme* en cosmologie. Le magnétisme ne jouait pratiquement aucun rôle avant 1938, si nous faisons abstraction du faible champ magnétique terrestre et du champ relativement intense des taches solaires (connu depuis la mise en évidence des effets Zeeman auxquels elles donnent lieu).

La découverte de champs magnétiques dans la Galaxie, les relations entre spires de la Galaxie et champ magnétique, l'orientation de la matière interstellaire par ces champs (établie par la *polarisation* de la lumière qui traverse les nuages de fumée) les liens qui apparaissent entre le champ général qui règne dans notre Galaxie et l'accélération des rayons cosmiques, voilà de grandes et fécondes nouveautés.

Ajoutons à celà la découverte d'*étoiles magnétiques*, dotées de rotations rapides, où le champ général peut atteindre jusqu'à 35000 gauss (record actuel). Mettons en regard la découverte récente d'un champ général faible (un ou deux gauss) à la *surface du Soleil*. Mais l'étude approfondie des éruptions du Soleil a montré que des champs magnétiques intenses sont véhiculés par les projections de plasma solaire. Les satellites artificiels nous ont appris la présence générale de plasma en mouvement et de champs magnétiques associés dans le prétendu vide interplanétaire. Ils nous ont appris aussi que les lignes de force du champ magnétique terrestre forment au loin des sortes de cages concentriques où viennent s'emprisonner des particules rapides. Telles sont les ceintures dites de van Allen, qui tiennent leur plasma prisonnier jusqu'au jour où une éruption solaire convenablement dirigée vient tordre les barreaux de la cage et libérer les prisonniers. Les grosses planètes comme *Jupiter* possèdent des ceintures analogues de particules.

M. DANJON a pu, ces dernières années, montrer une corrélation entre certains paroxysmes du Soleil et les variations dites *fortuites* de la rotation de la Terre : le magnétisme doit jouer le rôle de *relai* entre les deux catégories de phénomènes.

Des radiosources intenses, comme la nébuleuse gazeuse du Crabe, doivent leur émission à l'effet *synchrotron*, c'est-à-dire au mouvement d'électrons rapides dans un champ magnétique.

Enfin, nous avons tout lieu de penser que celles des galaxies lointaines qui sont aussi des radiosources intenses, doivent au magnétisme et à l'effet synchrotron leur émission radio.

Voilà, n'est-il pas vrai ? une entrée assez fracassante du magnétisme dans tous les cantons de la cosmologie, des planètes aux galaxies.

Nous allons laisser à la génération montante de jeunes chercheurs un éventail merveilleux de sujets de thèses sur le magnétisme en Astronomie.

IV LA RADIOASTRONOMIE

C'est peut-être par l'entrée en jeu d'une nouvelle technique dans l'exploration du Ciel que notre quart de siècle sera mémorable dans le plus lointain avenir.

Jusqu'à nos jours, l'homme s'est contenté d'une *octave* unique (ou presque), dans l'immense clavier des radiations électromagnétiques, l'octave dite *lumineuse*, aux ondes voisines du demi-micron, pour explorer l'Univers. Encore cette octave était-elle fortement soumise à des censures maléfiques. Tout d'abord, la lumière du Soleil est si éblouissante que les autres astres (la Lune mise à part) ne sont pratiquement pas étudiables le jour. D'autre part, le moindre nuage terrestre arrête totalement la lumière des étoiles. Les matériaux cosmiques diffus, gaz et surtout *fumées*, lui sont tout aussi nuisibles. Enfin, en permanence, par le ciel le plus pur, par la nuit la plus favorable, notre atmosphère terrestre exerce un brouillage et une absorption néfastes sur les signaux venus des étoiles.

Et voici qu'une large fenêtre, entièrement nouvelle, nous est ouverte sur l'Univers par la Radioastronomie. Son registre s'étend du *centimètre*

à quelques décimètres, disons à 30 m : autrement dit les ondes reçues s'étendent sur une douzaine d'octaves et comme elles sont des millions de fois plus grandes que les ondes lumineuses, elles sont beaucoup moins gênées par les obstacles. En pratique, les radiotélescopes sont relativement indifférents à la clarté du jour, aux nuages terrestres ou cosmiques, à l'interposition de notre atmosphère. Ces énormes avantages ont pour contrepartie un défaut de *subtilité*, lié à la grosseur même du pinceau qui brosse le nouveau tableau de l'Univers.

Un ingénieur sans-filiste, JANSKY, aux Etats-Unis, a découvert fortuitement dès 1932 que la Voie Lactée perturbait son récepteur, à chacun de ses passages dans l'axe de son antenne. Mais cette découverte n'eut aucun retentissement. Il fallut un autre hasard, en 1942, pendant la guerre, pour que des spécialistes du radar (HEY, REBER) découvrent que le Soleil brouillait leurs réceptions dans la gamme des ondes courtes (de 1 cm à 10 m par exemple) Enfin en 1947, on découvrit que certaines aires du ciel, dites radiosources, étaient des émetteurs beaucoup plus puissants que les précédents.

Pour le Soleil calme, l'émission radio *normale* provient du plasma de la *Couronne* et correspond à des températures de l'ordre du *million* de degrés (il s'agit ici de températures *cinétiques*, liées à la vitesse des électrons dans le vide élevé de la Couronne).

La Couronne était un milieu rarement observé autrefois ; on l'observe maintenant en permanence en ondes radio, même devant le disque.

Le Soleil émet aussi plusieurs types de sursauts radio lors de ses éruptions et de ses turbulences. Mais le Soleil est une radiosource très faible, dans l'ensemble. La planète Jupiter est aussi un émetteur radio dont le mécanisme est encore mal compris.

La radioastronomie est très féconde dans l'étude des météores. Les colonnes de gaz ionisé laissées derrière chaque météorite renvoient des échos radio qu'on peut analyser (HEY). Ces travaux ont permis de découvrir un grand nombre d'essaims *diurnes* d'étoiles filantes et de confirmer que les météorites font partie du Système Solaire.

Dans la Galaxie, des radios-sources intenses sont liées à des émissions d'un caractère spécial, non-thermique, dites émissions *synchrotron*. Il s'agit d'électrons très rapides, dits *relativistes*, qui s'accélérent dans un champ magnétique. L'exemple le plus connu d'une telle

radiosource est la Nébuleuse du Crabe (Crab Nebula), dans le Taureau, qui est le résidu d'une Supernova galactique. Maintes autres radiosources intenses émanent aussi d'ex-supernovæ.

La découverte théorique la plus remarquable de ces dernières années est sans doute celle de l'émission, sur *21 cm de longueur d'onde* en plein dans la fenêtre radioastronomique, de *l'atome d'hydrogène neutre* — découverte faite par Van de HULST en 1946, à Leyde. Cette émission est due au renversement spontané de l'axe de rotation de l'électron unique de l'atome H. Bien que ce renversement soit extrêmement rare, l'hydrogène neutre est si abondant dans l'Univers que ses nappes cosmiques, auparavant indécelables, fournissent une émission sensible en 21 cm au radiotélescope. Des équipes australiennes, américaines et hollandaises l'ont montré simultanément et en ont tiré parti pour déceler les spires de notre Galaxie, sa structure fine et les détails subtils de sa rotation. La radioastronomie a également révélé une rotation intense et une structure complexe du noyau de la Galaxie et de ses environs (OORT et ROUGOOR) dont l'explication future sera essentielle. L'émission de 21 cm permet aussi d'évaluer l'abondance de l'hydrogène neutre encore libre dans notre Galaxie et dans les galaxies voisines. Pour nous, pour Messier 31, il ne représente que 1 à 2% de la masse totale. En revanche, dans les nuages de Magellan et dans d'autres types de galaxies, il représente encore une fraction importante du total (parfois 50%). La radioastronomie promet beaucoup en ce domaine.

Mais c'est en *cosmologie* qu'elle pourra, je pense, donner ses plus beaux fruits. Certaines galaxies sont des radiosources d'une puissance fantastique: nous ne savons pas encore très bien pourquoi ni comment. L'émission provient souvent d'immenses nuages de plasma éjectés de part et d'autre de la Galaxie. La seconde, en importance apparente, des radiosources du ciel, la source Cygnus A, est une galaxie distante d'environ 500 millions d'années de lumière. Elle est un émetteur un million de fois plus puissant que notre Galaxie. Le fait est que nous sommes capables de percevoir ces galaxies radioémétrices à des distances où les télescopes optiques ne décèlent plus rien. Le record de profondeur est actuellement détenu par la radiosource 3C 295, galaxie d'un amas qui se situe à environ 6 milliards d'années de lumière.

Or, les différents types de *modèles de l'Univers*, fâcheusement semblables à courte distance, ne diffèrent franchement entre eux qu'à des distances pratiquement inaccessibles même aux télescopes optiques géants. Les observations cruciales qui départageront les théories concurrentes, relatives à la forme et aux caractères de l'Univers, seront, je pense, apportées par la Radioastronomie.

V. LE PROGRES DANS LA MESURE DU TEMPS ET L'EVOLUTION DE LA NOTION DE TEMPS

Jusqu'en 1938, la rotation de la Terre a constitué la meilleure des horloges dont l'homme puisse disposer. Sans doute, dès le 18^{ème} siècle, un astronome perspicace comme LALANDE avait pu écrire que la Terre pouvait être troublée par maints facteurs dans sa rotation et que des irrégularités allant jusqu'à 10^{-8} pourraient fort bien échapper à nos moyens de détection. Plus tard fut mis en évidence un ralentissement *séculaire* de la Terre dû au frottement des marées, qui dissipe sous forme de chaleur une partie de l'énergie de rotation. Mais le ralentissement ne fut pas décelé par une horloge humaine : l'observation des planètes pendant les deux derniers siècles révéla qu'elles étaient simultanément *en avance* sur les positions *calculées* au moyen d'un temps *t* idéal de la Mécanique Céleste.

Enfin, DE SITTER, puis SPENCER JONES, établirent, de la même façon, que la rotation de la Terre présentait des irrégularités imprévisibles, *fortuites*, et, par conséquent, beaucoup plus nuisibles que le ralentissement séculaire dont on peut tenir compte.

On en était là lorsque les horloges à quartz, vers 1938, permirent à M. STOYKO de mettre en évidence des variations *saisonnnières* de la rotation de la Terre, d'allure sinusoïdale. Une sinusoïde fondée sur l'observation de ces irrégularités pendant plusieurs années permet de tenir compte, en gros, de ce nouveau phénomène. Mais il est bien évident que de grandes perturbations dans la météorologie terrestre pourraient prendre en défaut, certaines années, nos corrections *moyennes*.

Depuis moins de 10 ans, la mise en service d'horloges *atomiques*, en particulier d'étalons de fréquence à *césium*, a permis de contrôler avec finesse, jour après jour, la rotation de la Terre, suivie fidèlement par les astrolabes impersonnels de M. DANJON ou par les tubes zénithaux.

En deux occasions au moins, en ces dernières années, de brusques modifications dans la rotation de la Terre sont survenues en concomitance étroite avec des paroxysmes du Soleil. Il n'est plus guère douteux que les violentes éruptions de plasma issues du Soleil et chassées vers la Terre soient les responsables. Mais le processus d'action n'est pas encore très clair; le magnétisme terrestre, les couches de van Allen, doivent servir d'intermédiaires.

En quelques années, la mesure du temps a donc connu une véritable révolution. Le temps est désormais le paramètre physique qui se mesure avec la plus grande précision, bien mieux que les longueurs sur lesquelles, pourtant, on peut répéter la mesure et dont la nature *concrète* donne confiance.

Désormais, les horloges construites par l'homme sont beaucoup plus précises, plus régulières, que la Terre: j'ai pu voir hier, à l'observatoire de Neuchâtel, dans le laboratoire de M. BONANOMI, un étalon de fréquence au thallium mesurer une durée avec la précision fabuleuse, encore jamais atteinte, de 10^{-12} (un millionième de millionième). Dans ma jeunesse, la mesure du temps faisait état du dixième de seconde. Désormais, les émissions ou réceptions de signaux horaires sont assurées au dix-millième de seconde, et à deux ou trois cent-millièmes près dans les meilleures circonstances. Ce gain de plusieurs décimales devait, inévitablement, s'accompagner de découvertes originales et même d'un changement de définition du Temps.

La Terre s'avérant trop imparfaite comme horloge, son temps, dit *Universel*, a été abandonné l'an passé. Il a fait place au temps des *Ephémérides* fondé sur la Mécanique céleste.

Mais ce temps des Ephémérides sera lui-même fort *éphémère*, si j'ose risquer ce jeu de mots. Dans quelques années, à n'en pas douter, un temps dégagé de l'Astronomie, un temps des horloges atomiques ou moléculaires, prendra sa place.

Un temps fondé sur la constante de la gravitation universelle fera place à un temps fondé sur la constante des *quanta* (temps atomique). Philosophiquement et scientifiquement, la déchirure sera profonde. Il y aura beaucoup à méditer sur cette révolution que notre époque aura déclenchée.

Au surplus, le temps atomique lui-même n'est pas dégagé de toute influence astronomique puisque les champs de gravitation l'altèrent (Relativité générale, effet Einstein).

VI. LES PROGRES INSTRUMENTAUX ET LA CONNAISSANCE DE L'UNIVERS

En 1935 mourut, méconnu, l'auteur de la principale découverte qu'on ait faite depuis Newton dans le domaine des instruments d'optique. Je veux parler de BERNARD SCHMIDT, inventeur d'un télescope à grand champ maintenant célèbre. L'exploration de l'Univers doit beaucoup aux télescopes de Schmidt et spécialement au Schmidt de 122 cm d'ouverture libre du Mont Palomar, instrument du fameux SKY ATLAS en deux couleurs. Le nombre des télescopes Schmidt de grandes dimensions va croissant par le monde.

Notre quart de siècle a vu aussi entrer en action plusieurs télescopes supérieurs en ouverture à tous autres, et en particulier le plus grand d'entre eux, le télescope Hale de 508 cm d'ouverture, au Mont Palomar.

Les progrès consécutifs dans l'exploration de l'Univers ont été remarquables. Je me bornerai à attirer votre attention sur deux changements. Prenons pour témoin, à l'aube de notre quart de siècle, le livre de Hubble « *Le Royaume des galaxies* » (The Realm of the Nebulae, 1936). Hubble situe l'amas *Virgo* de galaxies à 7 millions d'années de lumière. L'amas de galaxies le plus lointain dont Hubble ait mesuré la distance est *Ursa Major II* qu'il croit à 250 millions d'années de lumière de nous, avec une vitesse de récession de 41 500 km/sec. La constante de récession H était ainsi fixée à 520 km/sec/mégaparsec (environ 170 km/sec par million d'années de lumière). Plusieurs corrections consécutives, de natures diverses, à partir de 1952 nous ont conduits à multiplier par 7 (en moyenne) les distances évaluées par Hubble. Ainsi nous situons l'amas *Virgo* à 50 millions d'années de lumière (au lieu de 7).

En conséquence, la constante de récession H est divisée par 7 et la valeur $H = 75$ km/sec/mégaparsec paraît convenable (au lieu de 520), bien qu'elle ait besoin d'être précisée et confirmée. Il en résulte aussi que, non seulement les distances, mais les âges dont nous disposons pour le développement de l'Univers sont multipliés par 7 : résultat essentiel pour la Cosmologie.

Mais nous ne nous sommes pas contentés de multiplier par 7 les profondeurs déjà reconnues. Notre époque a poussé les sondages plus loin. Nous prendrons pour critère de l'éloignement la vitesse de récession. L'objet U. Ma. II de HUBBLE offrait une vitesse de 41 500 km/sec. Le record de vitesse est détenu par la radiosource 3 C 295 du

Bouvier, depuis 1960. MINKOWSKI, au Mont Palomar, a obtenu son spectre, et sa récession atteint 138 500 km/sec. Donc, la profondeur atteinte a été multipliée, en fait, par 3,33 et le volume accessible aux mesures multiplié par 37.

Le record de distance actuel (6 milliards d'années de lumière) est 24 fois plus grand que celui de 1936 (250 millions d'années de lumière) mais ce dernier était, répétons-le, fortement sous-estimé.

Malheureusement, la cosmologie théorique n'a pas suivi le rythme de ce progrès ; il serait sans doute injuste de dire qu'elle a marqué le pas¹, mais l'essentiel du progrès a consisté à mettre en évidence la complexité et les difficultés du problème cosmologique, quel'on s'était un peu hâté de croire relativement simple. Il faudra peut-être encore *cent ans* pour que l'on sache si l'Univers est fini et clos, ou bien infini et ouvert, et pour qu'un modèle théorique plausible rende compte des principaux traits et de l'évolution de l'Univers réel.

Je ne voudrais pas clore ce chapitre sans évoquer l'utilisation déjà féconde en Astronomie de ces instruments électroniques puissants que sont les *cellules à multiplificateurs d'électrons* et la *caméra électronique*. Ainsi les cellules de mon collègue A. LALLEMAND amplifient jusqu'à *un milliard de fois* le flux d'énergie qu'elles reçoivent de minimes étoiles ; quant à sa *caméra*, dont les performances s'améliorent d'année en année, elle fournit des documents qu'aucun télescope optique sur la Terre n'aurait pu recueillir : l'image lumineuse est transformée en une image électronique 100 fois plus intense dans les poses de l'ordre du quart d'heure et 10 000 fois plus intense dans les poses courtes de l'ordre de la seconde (figures 5, 6 et 7).

¹ Des travaux comme ceux de GOEDEL, de HECKMANN et de ses collaborateurs font entrevoir de fécondes perspectives.

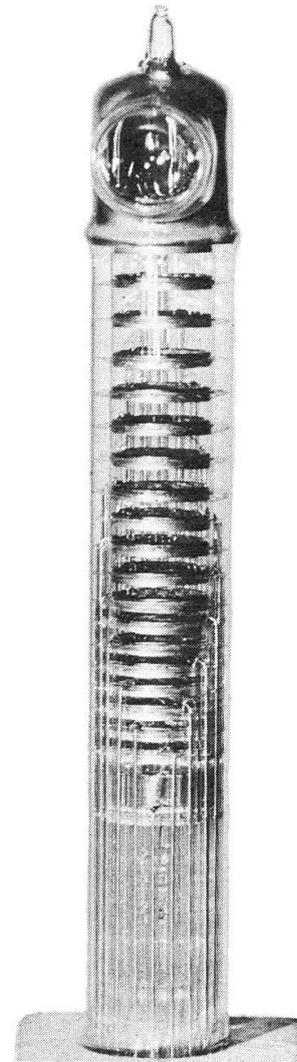


Figure 5 : Cellule à 20 étages sensible à l'ultra-violet.

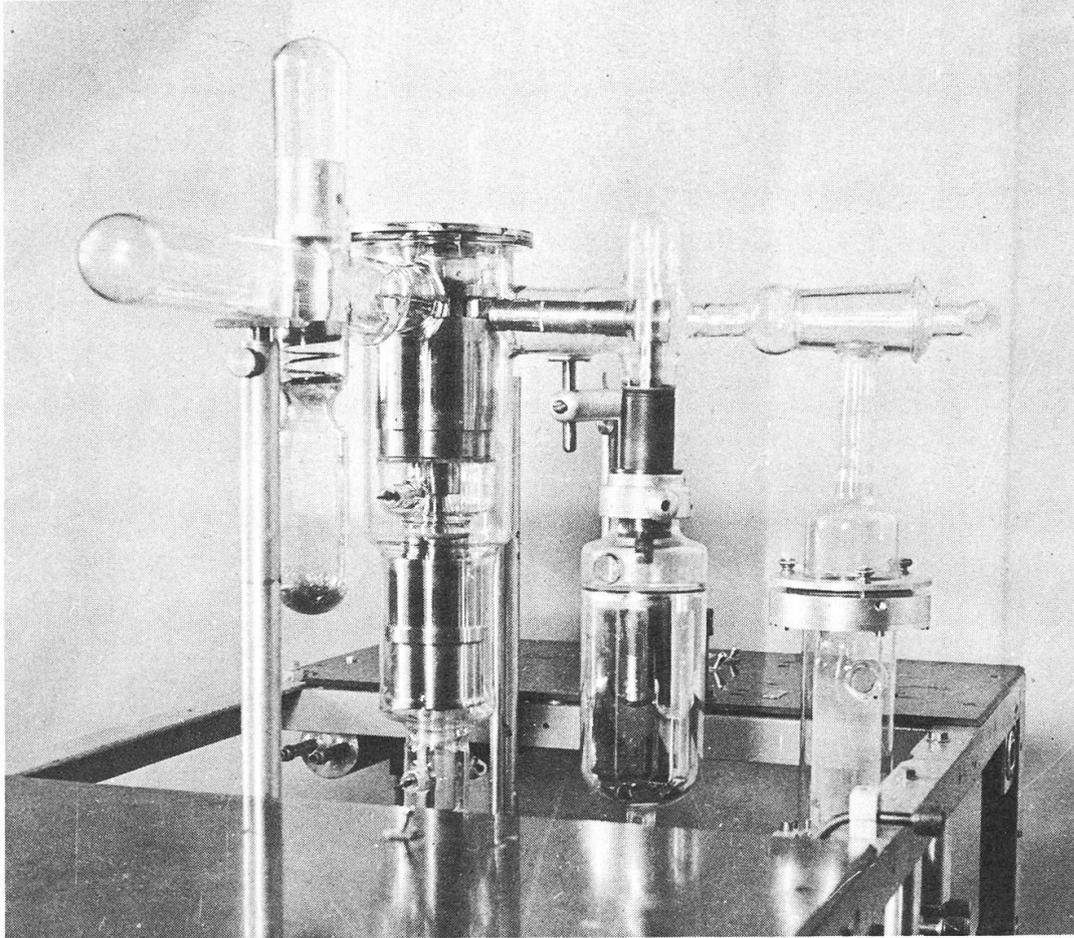


Figure 6

VII. L'ERE DES SATELLITES ARTIFICIELS ET DE L'ASTRONAUTIQUE

Vous seriez déçus sans doute si je ne faisais pas figurer au nombre des progrès des récentes années le lancement des satellites artificiels, les voyages de l'homme dans l'espace autour de la Terre, et bientôt dans l'espace interplanétaire.

Certes, je ne chercherai pas à minimiser mon enthousiasme ni le vôtre. Ayant eu l'honneur, à Paris, de faire la première conférence sur les satellites artificiels, un mois après le premier Spoutnik et trois jours après le second, je ne suis pas près d'oublier qu'il a fallu appeler Police Secours pour refouler les milliers de Parisiens qui se battaient pour essayer d'entrer dans une salle déjà archi-pleine !

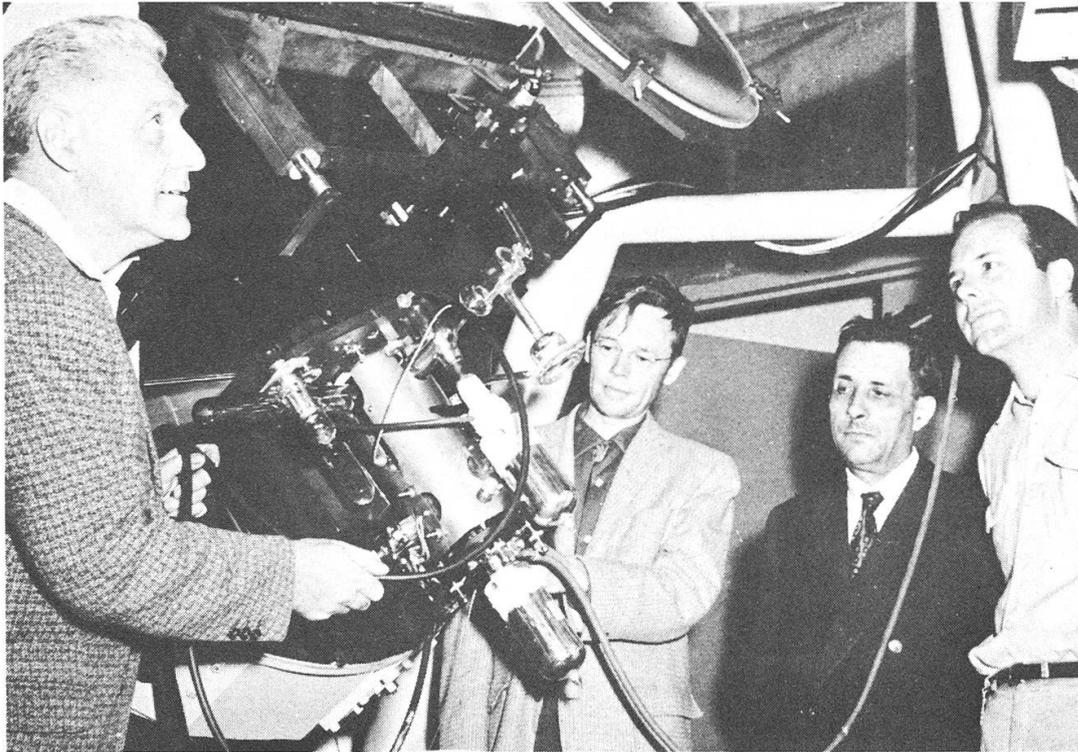


Figure 7 : de gauche à droite : MM. Duchesne, Kron, Lallemand et Walker.

L'envoi des satellites et de l'homme dans l'espace sont des merveilles de balistique, de technique et de courage humain auxquelles les astronomes ont pris une large part. Mais cet envoi n'a pas un caractère spécifiquement astronomique et, si les calculs sont délicats, d'autres que des astronomes eussent pu les faire.

Les satellites ont permis déjà de préciser la figure de la Terre, les propriétés de la haute atmosphère. Ils sont précieux pour la météorologie et les télécommunications.

Notre connaissance des environs de la Terre et des propriétés de l'espace interplanétaire s'est déjà notablement enrichie : ceintures de Van Allen, abondance de météorites et leur accumulation autour de la Terre, existence du « vent solaire » permanent de plasma et de champs magnétiques dans l'espace, etc. Un appareil, Mariner II, vient déjà d'aller examiner Vénus de fort près, et nous en a appris beaucoup sur cette planète sœur. Un satellite soviétique a pu photographier la face inconnue de la Lune ; un autre fonce en ce moment vers Mars ; les Etats-Unis préparent plusieurs satellites qui devraient atterrir sur Mars et ratisser le sol pour y découvrir d'éventuels organismes vivants.

L'homme ira, avant l'an 2000, voir de près ce qui se passe au voisinage des principales planètes. Un jour (avant dix ans ?), des pionniers se poseront sur la Lune.

Mais il ne s'agit, dans tout cela, que du Système solaire. La Relativité permettrait théoriquement une exploration indéfinie grâce à une vitesse voisine de celle de la lumière avec, pour l'astronaute, un bond fantastique dans l'avenir, à son retour sur notre Globe. Mais je doute que la fragilité de l'homme devant les accélérations *intenses et prolongées* lui permette d'atteindre, en un temps convenable, une vitesse si proche de celle de la lumière que cette exploration directe du reste de l'Univers devienne possible.

Les informations que l'aéronautique limitée au Système solaire nous apporte (et nous apportera) sont loin d'être négligeables. Pour les habitants de la Terre, il y a là source de science pure, d'applications pratiques et d'espoirs encore difficiles à formuler.

Malgré tout, devant l'immensité de l'Univers, devant sa richesse, devant le nombre et l'ampleur des problèmes qu'il pose à l'Astronomie, il faut bien reconnaître que la science du Système solaire, son exploitation même, sont peu de chose.

L'aéronautique risquerait temporairement, par son prestige, de rapetisser l'Astronomie, si nécessaire encore au progrès de l'esprit humain.

Heureusement, un bienfait de premier ordre pour l'Astronomie la plus large, mais sur lequel on attire peu l'attention, est inscrit dans l'essor des satellites. Ce sera l'installation d'un télescope hors des limites de l'atmosphère terrestre si néfaste. L'Astronomie fera à coup sûr des progrès immenses, lorsqu'un instrument d'optique stable, assez puissant et qu'on puisse caler sur les astres avec précision, sera installé à demeure dans le vide — soit (dès maintenant) à bord d'un satellite artificiel, soit, plus tard et de préférence, en poste fixe sur la Lune. Cette seconde perspective d'un observatoire efficace travaillant périodiquement pendant les longues et glaciales nuits lunaires n'est pas pour demain. Faudra-t-il l'attendre vingt ans ? trente ans ? qu'importe ! Nous savons qu'un jour il existera et sera le plus beau cadeau que les techniques de l'espace puissent jamais faire à l'Astronomie et à la Science entière.

ZUSAMMENFASSUNG

DIE ASTRONOMIE IM VERLAUFE DER VERGANGENEN 25 JAHRE

Die Fortschritte der astronomischen Forschung in der Zeit von 1937 bis 1963 sind gewaltig. Sie setzen z.T. die Anstrengungen der vorangegangenen 25 Jahre fort; aus jener Zeit seien zuerst folgende Entdeckungen erwähnt:

Perioden-Helligkeitsdiagramm der Cepheiden; Hertzsprung-Russel-Diagramm (1912); Dimension unserer Milchstrasse (SHAPLEY 1918) und ihre Rotation (OORT 1927); Theoretische Sternmodelle (EDINGTON 1924); Weiße Zwerge; Auflösung ferner Galaxien in Sterne (HUBBLE 1924); Flucht der Spiralnebel (SLIPHER 1912–1925); Gravitationstheorie (EINSTEIN 1912–1917) und Ausdehnung des Weltalls (HUBBLE, HUMASON); Interstellare Materie; Koronograph (LYOT); Schmidt-Kamera (1930); Kernreaktionen als Energiequellen der Sterne (J. PERRIN 1919).

Wohl kaum je innert 25 Jahren hat die Astronomie eine derart grundlegende Wandlung durchgemacht wie zwischen 1912 und 1937. Die Forschungsergebnisse der vergangenen 2½ Jahrzehnte bauen auf dieser Vorarbeit auf, und seit 1937 sind folgende Fortschritte zu verzeichnen:

I. Die Kernprozesse, in denen Wasserstoff zu Helium aufgebaut wird, erweisen sich als wichtigste stellare Energiequellen (Kohlenstoff-Stickstoff-Zyklus, Proton-Proton-Reaktion).

II. Die Verfolgung der Entwicklung der Sterne und der Angabe ihres Alters wird möglich. Das Hertzsprung-Russel-Diagramm findet eine befriedigende Deutung, wenn es für einzelne Sterngruppen (Haufen, Assoziationen) aufgestellt wird. Unterteilung in die beiden Populationen I (jung) und II (alt).

III. Entdeckung des kosmischen Magnetismus, der bei der Entstehung der Galaxien und der kosmischen Strahlung eine wesentliche Rolle spielt.

IV. Die Radioastronomie ist im letzten Vierteljahrhundert geboren worden (Radiostrahlung der Sonne, der Sterne und der fernen Milchstrassen).

V. Die Fortschritte in der Zeitmessung (Einführung von Atomuhren) haben in letzter Zeit zu neuen Entdeckungen geführt (z. B. Unregelmässigkeiten der Erdrotation).

VI. Die Entwicklung auf dem Gebiet der Beobachtungsinstrumente und Methoden hat wesentlich zur Erweiterung der Kenntnis des Universums beigetragen. Beispiele sind die Schmidt-Teleskope und die grossen Reflektoren (Hale, Lick). Die photoelektrischen Messmethoden (Elektronenvervielfacher, Elektronen-Kamera von Lallemand) gestatten, auch mit mittleren Instrumenten sehr lichtschwache Objekte zu untersuchen.

VII. Die extraterrestrische Forschung, noch ganz in ihren Anfängen, eröffnet schliesslich ungeahnte Möglichkeiten (Satelliten-Observatorium, Sternwarte auf dem Mond oder auch nur astronomische Beobachtungen mit Hilfe von Raketen).

Adresse de l'auteur :

P. COUDERC, Astronome titulaire de l'Observatoire
de Paris.