

44. COMMISSION DES OBSERVATIONS ASTRONOMIQUES AU DEHORS DE L'ATMOSPHERE TERRESTRE

PRESIDENT: Professeur P. Swings, Directeur de l'Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège, Cointe-Sclessin, Liège, Belgium.

MEMBRES: Friedman, Gold, Goldberg, Herzberg, Kienle, Lovell, Mme Masevitch, Meinel, Mikhailov, Mlle Roman, Severny, Spitzer, Struve, Tsesevich, van de Hulst, Whipple, Zhongolovich.

INTRODUCTION

Le domaine particulier couvert par la Commission 44 rentre, en fait, parmi les vastes activités du comité COSPAR créé par le Conseil International des Unions Scientifiques et présidé par le Professeur H. C. van de Hulst. Une telle superposition n'est pourtant, peut-être, pas inutile dans le cas actuel. La Commission 44, en concentrant ses efforts sur les seules observations astronomiques, pourra, peut-être, susciter plus facilement des projets de collaboration. En tout cas, ses efforts dans cette voie pourront s'ajouter à ceux de COSPAR. Les Etats-Unis ont déjà offert d'incorporer, dans les charges utiles de leurs fusées ou satellites, certaines expériences suggérées et préparées par des savants d'autres pays. De tels projets de coopération sont en préparation entre les Etats-Unis, la Grande Bretagne, le Canada et l'Australie. D'autres projets collectifs sont en voie d'élaboration, notamment sur le plan européen; peut-être certains seront-ils encouragés par les Nations Unies?

Une participation internationale plus étroite à certaines observations astrophysiques est, dès à présent, indispensable. En voici un exemple. Le satellite américain 1960 η_2 contient des détecteurs d'émissions solaires en Lyman α et en rayons X. Les signaux d'intensité sont transmis de façon continue et peuvent être étudiés par tout observateur prenant la peine de les enregistrer. De telles données permettent des comparaisons directes avec l'activité solaire et ses diverses manifestations. Très peu de stations au sol enregistrent les signaux: il serait intéressant que d'autres spécialistes de la physique solaire participent, sur une base égale, à ce travail (H. Friedman).

Il est possible aussi qu'un rapport triennal régulier rende quelque service, grâce aux vues d'ensemble des problèmes astronomiques qu'il peut apporter aux astronomes. La préparation d'un tel rapport est, pourtant, une tâche assez ingrate dans ce domaine qui se développe à pas de géant: il est à craindre qu'il ne soit très incomplet et qu'il ne devienne complètement périmé dans un avenir rapproché. Au moins restera-t-il au présent rapport un intérêt historique, puisqu'il s'agit du premier de la Commission!

Plus encore que la plupart des Commission de l'UAI, la nôtre présente des interférences avec de nombreuses autres. En fait, on pourrait comparer son cas à celui de la Commission de Radio-astronomie dont la création, elle aussi, n'a eu de sens que par l'outil spécial nouveau qu'elle utilisait. Peut-être la Commission 44 n'aura-t-elle qu'une existence éphémère et trouvera-t-on bientôt naturel d'incorporer les résultats tirés des véhicules spatiaux dans chacune des dix ou quinze commissions spéciales intéressées? En ce moment pourtant, il est, pensons-nous, fructueux de résumer tous les résultats essentiels obtenus, ne fût-ce que pour montrer la richesse des nouvelles techniques et leurs immenses possibilités d'avenir et de coopération.

Comme la Commission 44 vient d'être récemment créée, on m'excusera, j'espère, de présenter un rapport assez long et détaillé, comprenant, parfois, des indications historiques.

L'astronomie va profiter de plus en plus du fait que l'on parvient à lancer des charges utiles de plus en plus lourdes dans l'espace. Les nombreux résultats obtenus que nous allons exposer ne constituent qu'une introduction; les charges utiles beaucoup plus élevées qu'il est permis d'envisager pour l'avenir ouvriront des possibilités énormes dont nous décrirons quelques exemples. Ces possibilités imposent un 'planning' scientifique soigneux. Il suffit de penser au coût énorme du lancer d'un gros véhicule spatial (comparable au coût total d'un grand observatoire!) et à l'effort théorique et technique requis, pour se représenter la lourde obligation morale des groupes d'astronomes responsables, l'impérieux besoin d'une collaboration internationale et, sans doute aussi, la nécessité d'augmenter le nombre des jeunes astronomes professionnels.

Les avantages d'observations astronomiques en dehors de l'atmosphère sont multiples:

1. L'absence d'atmosphère permet d'étendre considérablement le domaine des ondes électromagnétiques. L'atmosphère terrestre ne nous permet d'observer que de 1 cm à quelques mètres (fenêtre radio), dans un infra-rouge très découpé et de $\lambda 2900$ à environ 1μ (fenêtre optique); l'absorption atmosphérique nous interdit un vaste domaine de radio-fréquences, presque tout l'infra-rouge, l'ultra-violet au-delà de $\lambda 2900$, les rayons X et les rayons γ . La fenêtre optique correspond au maximum d'énergie des étoiles F et G; les étoiles chaudes (O, B, A) ont leur maximum dans l'ultraviolet, les étoiles froides et les planètes, dans l'infra-rouge. Les raies de résonance des éléments abondants (H, He, C, N, O, etc.) sont toutes dans l'ultraviolet inaccessible.

2. Par suite des variations de densité et de contenu en vapeur d'eau, l'atmosphère est turbulente et son indice de réfraction varie dans le temps et l'espace. Il est rarement possible d'atteindre, au sol, le pouvoir de résolution maximum des télescopes de plus de 30 cm. Pour un réflecteur de 90 cm, la diffraction concentrerait 99% de l'énergie dans un rayon de $0''\cdot 2$; mais il est bien rare que la qualité des images ('seeing') soit assez bonne pour descendre en dessous d'un rayon de $1''$. Il en résulte une perte de détail photographique et une perte de lumière sur la fente des spectrographes, ainsi qu'une réduction de la précision des mesures astrométriques et photométriques. On imagine facilement les progrès qu'apporterait une résolution notablement plus grande; séparation de binaires (notamment de doubles spectroscopiques!), parallaxes et mouvements propres plus précis (vivement désirés, par exemple pour les sous-naines, naines blanches, étoiles SS Cygni, etc.), détails planétaires, etc. Les observations solaires effectuées en ballon (voir section III) ont permis d'utiliser des miroirs de 30 cm à leur résolution maximum.

Dans le domaine des radio-fréquences, la réfraction erratique de l'ionosphère produit une scintillation des radio-sources (voir section V).

3. En dehors de l'atmosphère, on sera débarrassé du fond brillant du ciel, dû à la luminescence du ciel nocturne (ou diurne) et à la lumière diffusée. C'est, au sol, la luminosité du fond du ciel qui fixe la magnitude limite observable en photographie et, même, en spectrographie; un fond de ciel moins brillant permettrait d'observer des systèmes extragalactiques plus éloignés. La luminosité du ciel varie, d'ailleurs, dans le temps et suivant le domaine spectral et limite la précision des mesures photoélectriques. Quant au ciel diurne, il rend difficile l'observation de la couronne solaire.

4. Le champ magnétique terrestre perturbe les rayons cosmiques et interdit l'accès des rayons de faible énergie. A distance suffisante de la terre, le champ géomagnétique n'aura plus d'effet.

Au début, c'est le domaine ultra-violet et X qui, à juste titre, intéressera le plus les astronomes utilisant les satellites, tout comme ce fut le cas avec les fusées. Depuis longtemps, on connaît

l'extrême importance du domaine ultraviolet lointain qui est responsable de l'ionisation dans les nébuleuses planétaires (Zanstra, 1927), de la formation des régions d'hydrogène ionisé autour des étoiles chaudes (B. Strömgren), de la structure de l'ionosphère terrestre; on a, depuis longtemps, considéré l'ultra-violet lointain pour les modèles d'étoiles, y compris le soleil, la physique des comètes, la structure des étoiles de Wolf-Rayet et des noyaux de nébuleuses, etc. Mais ce n'est que depuis quatorze ans qu'on a une observation de l'ultra-violet solaire.

Il ne sera pas nécessaire que je donne une bibliographie complète, qui serait extrêmement longue. On trouvera, en effet, dans le volume du Dixième Colloque International de Liège (Juillet 1960), consacré aux *Spectres des Astres dans l'Ultra-violet Lointain*, des centaines de références relatives à l'observation des courtes longueurs d'onde. Je me contenterai d'indiquer ici les références qui m'ont été envoyées dans le rapport de l'U.R.S.S. destiné à la Commission 44 et qui ne se trouvent pas dans le volume du Colloque de Liège, ainsi que quelques autres.

Le rapport reflète évidemment les quantités d'information fort différentes, reçues des divers membres de la Commission 44. Certains collègues ont bien voulu exposer leurs projets en détail aussi bien que leurs réalisations, alors que d'autres m'ont fourni très peu ou pas du tout d'information.

Je me limiterai à peu près strictement aux observations astronomiques. Il ne sera pas question des innombrables et importants résultats obtenus en géophysique (météorologie, haute atmosphère terrestre, champ géomagnétique, ionosphère), quoiqu'il soit parfois difficile d'éviter ces domaines. En particulier, je ne parlerai ni des satellites météorologiques (genre Tiros), ni des satellites pour communications (par exemple, Echo). Il ne sera pas question non plus des ceintures de Van Allen, quoique la découverte et l'étude de celles-ci soient d'une importance capitale, même pour l'astronomie(*). Pour l'état de ces questions en janvier 1960, on peut se reporter au volume *Space Research* du colloque tenu par COSPAR à Nice.

Les satellites et les sondes spatiales ont été observées optiquement et par radio en de nombreux pays autres que les Etats-Unis et l'U.R.S.S., notamment en Grande Bretagne (particulièrement au grand radio-télescope de Jodrell Bank qui a suivi les sondes spatiales russes et américaines), en Australie, au Canada, en France (avec des stations en Afrique, Madagascar, le Pacifique et l'Atlantique), en Allemagne, au Japon, en Pologne, Tchécoslovaquie, Hollande, Belgique, etc. Ces observations ont suscité de nombreuses recherches sur les orbites, l'ionosphère et les effets solaires. Je ne parlerai ici ni des stations ou méthodes d'observation, ni des résultats obtenus à partir des orbites. Nous considérerons successivement quatre espèces de véhicules: les ballons et avions de haute altitude, les fusées terrestres, les satellites et les sondes spatiales (fusées cosmiques). Au préalable, nous examinerons les travaux de physique et les recherches théoriques intéressant les observations astronomiques en dehors de l'atmosphère.

I. TRAVAUX DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE ET THÉORIQUE

Il ne sera pas question ici des problèmes purement techniques relatifs aux projets d' 'observatoires orbitants', à l'orientation, au guidage, à la stabilisation et à la focalisation des télescopes,

(*) Ces zones constituent même une difficulté imprévue pour le fonctionnement des détecteurs d'énergie et des systèmes électroniques en général; il est indispensable de choisir les altitudes des satellites ou de protéger les récepteurs de façon adéquate. Dans plusieurs satellites, les ceintures de Van Allen ont oblitéré les détecteurs de rayons X et de Lyman α ; même aux basses altitudes du périégée de Vanguard III (515 km), les flux électroniques de Van Allen ont interféré avec les mesures. Dans les expériences de photométrie solaire ultraviolette, on peut se protéger des flux d'électrons mous en les déviant magnétiquement.

à l'obtention et transmission des informations, aux problèmes créés par le vide, aux sources d'énergie, aux télécommandes et au télémétrage, aux contrôles des températures (différentes pour les batteries et pour les détecteurs photo-électriques), à la résistance aux vibrations et accélérations (notamment lors du lancer), à la durée de vie des éléments, au contrôle à partir du sol. Les techniciens ou les astronomes doivent considérer les effets de la résistance de l'air, de la pression de radiation solaire et des marées ainsi que les effets du champ géomagnétique sur les matériaux ferromagnétiques. Un télescope orbitant présente une multitude de problèmes techniques complexes nouveaux dont les interactions doivent être étudiées en détail et dont la difficulté dépend de l'ampleur et de la durée des programmes d'observation astronomique. On peut se reporter, par exemple, aux articles de L. Spitzer et J. B. Rogerson (C.L.) (*) (1), A. B. Meinel (C.L.) et M. Witunski (C.L.). Les cabines stabilisées soviétiques ont aussi été décrites (2).

En ce qui concerne l'ultra-violet lointain, de nombreux travaux de laboratoire ont été effectués et sont encore requis dans les domaines suivants: réflectivité des miroirs et réseaux (Friedman, C.L.); filtres; phototubes à cathode métallique; émulsions très sensibles; distribution spectrale des photons d'après le spectre d'énergie des photo-électrons émis (Hinteregger, C.L.); détérioration de la transmissivité des cristaux ('vieillessement' dans le vide de l'espace et dans l'atmosphère humide avant le lancer); nouveaux tubes de télévision (par exemple l' 'Uvicon' de Westinghouse Electric Corporation pour l'ultra-violet). Il faut aussi étudier les possibilités de focalisation des rayons X mous (travaux de A. V. Baez et de R. Giacconi-B. Rossi, voir R. J. Davis, C.L.). L'optique par réflexion, adaptée aux rayons X, est en voie de développement en Grande Bretagne. Pour la spectrographie des rayons X solaires, des études préparatoires en laboratoire sont effectuées en utilisant des réseaux optiques en incidence rasante ou des réseaux de cristaux organiques à intervalle de l'ordre de 20 à 90 Å.

D'importants travaux sont effectués sur les miroirs métalliques. Pour un télescope orbitant, on ne désire pas une stabilité de forme du miroir pour des décades, mais seulement pour une période de l'ordre d'un an. La silice fondue a des avantages, mais est fragile. On étudie, en divers endroits, les possibilités de miroirs métalliques, qui seraient intéressants, particulièrement si le reste du télescope était construit du même métal. On envisage, par exemple, un miroir (même de 125 cm) en aluminium, recouvert d'une mince couche plus dure (comme de l'oxyde d'aluminium ou du 'Kanigen' avec une couche finale de monoxyde de silicium). Il est permis de penser qu'on pourrait réaliser un miroir de 125 cm, ne pesant que 10 kilos! Naturellement, le polissage pour un télescope destiné à l'ultraviolet est plus difficile que pour le visible. Voir, par exemple, A. B. Meinel (C.L.).

Des travaux d'adaptation des spectromètres de masse sont effectués en Grande Bretagne, aux Etats-Unis et en U.R.S.S.

L'interprétation des spectres astronomiques dans l'ultra-violet est fonction des travaux expérimentaux et théoriques sur les spectres atomiques et moléculaires. Les spectres atomiques dans l'ultra-violet ont été discutés avec grand soin par B. Edlén (C.L.); dans les cas d'atomes très ionisés où les travaux de laboratoire sont inadéquats ou inexistant, Edlén a suppléé par des extrapolations le long de séquences isoélectroniques. L'état actuel de la question des spectres moléculaires dans l'ultra-violet lointain a été discuté par G. Herzberg, A. Monfils et B. Rosen (C.L.), dans une monographie contenant de nombreuses vues nouvelles ou critiques; ce travail résume les travaux de spectroscopie moléculaire théorique, les développements expérimentaux récents et les spectres des molécules d'intérêt astrophysique (diatomiques: H₂, N₂,

(*) C.L. sera utilisé comme abréviation de: 1^ome Colloque International d'Astrophysique de Liège (Juillet 1960) sur 'Les Spectres des Astres dans l'Ultraviolet Lointain', *Mém. Soc. Sci., Liège*, 1961.

NO, N_2^+ , NO^+ , C_2 , etc.; polyatomiques: CH_2 , CH_3 , H_2O , CO_2 , N_2O , HCN , etc.). Le volume C.L. contient aussi de nouvelles descriptions de spectres moléculaires intéressants, notamment de N_2 (Tanaka). La lecture des monographies d'Edlén et de Herzberg-Monfils-Rosen frappe par le nombre considérable de lacunes qui existent encore; un gros effort est encore demandé des spectroscopistes. Parmi les laboratoires les plus actifs en spectroscopie dans l'ultra-violet lointain, il faut citer particulièrement celui d'Ottawa (G. Herzberg) où des travaux ont été effectués récemment sur les questions suivantes: étalons de longueurs d'onde de Hg^{198} , $N I$, $A II$, $C II$; étude des spectres ultra-violet de H_2 , N_2^+ (C-X), O_2 (Schumann-Runge), HCN , CH_3 et CH_2 ; ainsi que l'Institut de Lund (B. Edlén) où sont analysés de nombreux spectres atomiques.

En vue de la spectrophotométrie dans l'ultra-violet lointain, H. Kienle est occupé à mettre au point une technique de calibration. Pour la comparaison jusque $\lambda 2000$, il est possible d'utiliser un radiateur-corps noir. Pour $\lambda < 2000$, la meilleure méthode paraît être celle des récepteurs calibrés de façon absolue (photo-compteurs).

D. Layzer (C.L.) a développé une méthode intéressante de détermination théorique des probabilités de transition dans les atomes très ionisés, importants pour l'ultra-violet. En fait, du point de vue des probabilités théoriques, l'ultra-violet est bien plus commode que le visible!

En ce qui concerne l'infra-rouge, il ne paraît pas utile de publier maintenant une bibliographie des travaux récents sur les spectres des molécules d'intérêt astronomique, étant donné que peu de progrès ont été réalisés récemment en ce qui concerne les observations astronomiques dans l'infra-rouge. On peut toutefois espérer que la situation changera bientôt: d'une part, des techniques spectroscopiques nouvelles, plus efficaces sont en plein développement, notamment la technique de l'interféromètre Michelson avec transformée de Fourier; d'autre part, de nouveaux récepteurs plus sensibles sont à l'étude. Nous discuterons dans la section III, les possibilités d'observation du domaine infra-rouge grâce aux ballons et avions, en attendant les satellites.

Citons encore deux domaines importants: la théorie de l'impact des corps solides à grandes vitesses (3) et l'utilisation du phénomène de résonance-fluorescence de Na et d'autres alcalins. En plus de l'intérêt géophysique évident des lancers de nuages de Na, K ou Cs tels qu'on les effectue, dans ce but, aux Etats-Unis, en U.R.S.S., en Grande Bretagne, France et Italie, il faut aussi mentionner l'utilité de tels nuages fluorescents ('comètes artificielles') pour suivre les sondes spatiales (4) et, même, les fusées terrestres et satellites.

II. CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Nous ne considérerons dans cette section que les contributions théoriques récentes aux questions physiques suscitées par les observations en dehors de l'atmosphère; quelques problèmes théoriques concernant la mécanique céleste seront envisagés dans la section V.

Si on possède un modèle assez satisfaisant des couches profondes de l'atmosphère solaire, on doit reconnaître qu'il n'en est pas du tout de même en ce qui concerne la chromosphère. Certains modèles sont basés sur le spectre éclair ('flash spectrum') optique (Athay et Menzel), d'autres sur les radio-observations (Piddington). Certains chercheurs ont proposé des modèles à deux courants. Mais si Woltjer identifie les régions chaudes aux spicules, d'autres (Athay, Menzel, Pecker et Thomas, Coates, etc.) considèrent que les spicules constituent la partie froide! Un modèle dû à Shklovsky et Kononovitch combine les données de la région optique et de la radio. Le problème est, d'ailleurs, rendu particulièrement complexe par les inhomogénéités et les écarts à l'équilibre thermodynamique local. Une augmentation considérable de température se produit entre la basse chromosphère et la couronne; mais la chaleur passe-t-elle de la couronne vers les couches plus profondes ou bien y a-t-il dissipation de l'énergie d'ondes

de choc dans la couronne? C'est par l'étude du spectre ultra-violet solaire qu'on peut espérer progresser. Notamment, des profils précis tels que ceux de Lyman α , de Mg II et des raies fortes de He, He II, C, N et O nous fourniront des données précieuses (R. N. Thomas, C.L.). D. H. Menzel et L. R. Doherty (C.L.) ont récemment calculé les profils théoriques du spectre solaire près de $L\alpha$. Ils adoptent des modèles simplifiés, homogènes et admettent une variation linéaire de la température avec la hauteur dans la chromosphère. Ils trouvent que, à cause de l'absorption par $L\alpha$, le nombre d'atomes se trouvant au-dessus de la couche émettrice effective est beaucoup plus petit dans l'ultra-violet que dans le visible. L'absorption dans les ailes de $L\alpha$ expliquerait la faiblesse et la rareté des raies de Fraunhofer pour $\lambda < 2000$.

C. W. Allen (C.L.) a effectué des calculs de l'intensité théorique que doivent posséder les raies d'émission ultra-violettes et X de la chromosphère et de la couronne. Il a comparé ses calculs aux intensités observées (voir section IV) et trouvé un accord assez satisfaisant en supposant une couronne isotherme ($T = 800\ 000$ °K) et un modèle à transition douce (modèle II de Oster), plutôt qu'un modèle à transition brusque. Une autre contribution au problème de l'émission X de la couronne a été donnée par A. Burgess (C.L.) qui a, notamment, corrigé les sections efficaces utilisées par Elwert.

La haute température des couches extérieures solaires est sûrement en relation avec le mécanisme produisant les rayons cosmiques mous du soleil. Quel est le mécanisme d'émission des hautes énergies? S'agit-il d'un processus Fermi ou bétatron accélérant des particules chargées dans des champs magnétiques mobiles? Ou bien d'ondes de choc (ordinaires ou hydromagnétiques) dissipant leur énergie dans des régions de faible densité? Ou quelque mécanisme encore inconnu emmagasinant de grandes quantités d'énergie dans de la matière stellaire? Les rayons cosmiques solaires sont-ils produits dans le soleil ou bien leur accélération est-elle produite par des champs magnétiques interplanétaires? On sait que certains astres, comme la nébuleuse du Crabe, présentent des émissions non-thermiques. Les phénomènes non-thermiques et leurs repercussions sur les émissions dans les domaines ultra-violet, X et radio ont fait l'objet d'une importante étude de L. Biermann et R. Lüst (C.L.) et de contributions intéressantes de C. de Jager (C.L.) et E. Schatzman (C.L.).

Notre connaissance des rayons cosmiques progressera en fonction des études solaires et interplanétaires. A l'occasion des flambes ('solar flares', 'éruptions chromosphériques') violentes, on sait que des rayons cosmiques solaires atteignent la terre, mais ils subissent fortement les effets du champ géomagnétique et de l'atmosphère. Il est donc important de connaître les rayons cosmiques solaires tels qu'ils existent dans l'espace interplanétaire; sans doute y observera-t-on, d'ailleurs, le vrai spectre des rayons cosmiques galactiques.

Les flambes solaires—tout comme certains astres, par exemple des nébuleuses radio-sources, comme Cygnus A—émettent, sans doute, des photons d'énergie très élevée (rayons γ). Pour les observer, il faudra, non des télescopes, mais des assemblages de compteurs.

La très haute atmosphère terrestre est à une température élevée; elle émerge progressivement dans le plasma interplanétaire qui contient environ 10^2 protons et électrons par cm^3 et qui n'est, lui-même, que l'extension de l'atmosphère solaire. Le champ magnétique terrestre qui diminue comme l'inverse du cube de la distance au centre de la terre cesse de dominer à environ 50 000 km de la terre, là où des champs solaires errants de l'ordre de 10^{-3} gauss (100 γ) sont transportés par des nuages de gaz solaire en mouvement (ζ). Certains de ces nuages éjectés ont des densités assez élevées, de l'ordre de 10^5 ions cm^{-3} et des vitesses de l'ordre de 10^3 km/sec $^{-1}$. On connaît les effets géophysiques considérables de tels nuages lorsqu'ils atteignent les environs de la terre et y subissent l'influence du champ géomagnétique. Ce n'est qu'à grande distance de la terre, dans l'espace interplanétaire, qu'on pourra étudier la densité, la composition et le champ magnétique de ces nuages ionisés.

L'ultra-violet solaire doit produire une luminescence dans les atmosphères des planètes, notamment Vénus et Mars, comme c'est le cas sur terre (J. Kaplan, C. A. Barth et W. J. Schade, C.L.); mais les spectres des luminescences vénusienne et martienne doivent différer fortement du ciel nocturne terrestre, étant donné les différences des compositions chimiques des atmosphères. On peut spéculer sur ce que peuvent être ces luminescences (C.L.) et, surtout, espérer les observer un jour. Les abondances relatives d'azote et oxygène, actuellement inconnues pour Vénus et Mars, joueront un rôle essentiel.

En fait, les actions du rayonnement ultra-violet solaire sur les atmosphères et ionosphères planétaires sont si nombreuses et si complexes qu'il est encore impossible de les discuter théoriquement en détail. On connaît encore trop mal les valeurs des énergies des diverses émissions X et UV du soleil, les constituants des atmosphères planétaires, ainsi que de nombreuses constantes physiques, notamment les coefficients d'absorption de certains processus de dissociation et d'ionisation. Il s'y ajoute les difficultés dues aux rotations parfois mal connues (Vénus) des planètes et à leur émission infra-rouge. L'état actuel de ce problème a été exposé de façon claire et soignée par M. Nicolet (C.L.).

Pendant longtemps, on a pensé que le rayonnement solaire dans l'ultra-violet lointain joue le rôle essentiel dans les phénomènes de dissociation et ionisation au sein des comètes, ainsi que dans les mouvements et aspects des queues. K. Wurm (C.L.) a montré qu'il faut plutôt recourir surtout à des effets du rayonnement corpusculaire solaire, mais ces effets sont encore peu connus. Nous renvoyons aussi à ce sujet aux travaux de V. I. Tcherednichenko (6).

Les traits généraux des spectres ultra-violet des comètes peuvent être prédits (P. Swings, D. Bosman-Crespin et C. Arpigny, C.L.). Le rayonnement exciteur solaire pour $\lambda < 1500$ est essentiellement composé de raies discrètes d'émission. Les fluorescences excitées dans les gaz cométaires seront donc des séries discrètes de résonance; elles seront très sensibles à la vitesse radiale de la comète par rapport au soleil; des molécules inobservables dans le visible, notamment H_2 , pourront être trouvées.

De même, on peut prédire l'aspect du spectre ultra-violet d'une aurore polaire et estimer les intensités relatives des diverses émissions (P. Swings, D. Bosman-Crespin et C. Arpigny, C.L.; J. W. Chamberlain, C.L.; M. H. Rees, C.L.). Comme dans le cas des autres prédictions, l'inévitable imprévu que l'on observera sera plus intéressant que les prédictions!

Les spectres ultra-violet des étoiles nous réserveront maintes surprises. Les étoiles montrent-elles la même inversion de température que le soleil et possèdent-elles aussi une couronne à une température de l'ordre du million de degrés. Ou bien ces couronnes sont-elles des phénomènes exceptionnels? Comment diffèrent les couronnes d'étoiles de type spectral différent?

Les raies de résonance de H, He, C, O, N, Ne (neutres ou ionisés) et d'autres éléments tombant dans l'ultra-violet, on pourra baser sur elles des déterminations d'abondances; les profils de certaines des raies larges fourniront des informations précieuses.

Les modèles actuels d'atmosphères stellaires ont donné des résultats encourageants, malgré leur simplification poussée. Mais, pour une étoile B, on ne reçoit qu'une faible partie de l'énergie en observant au-dessus de $\lambda 3000$. Les modèles sont-ils encore satisfaisants dans l'ultra-violet?

J. C. Pecker (C.L.) a fait un remarquable exposé du problème de la prédiction du spectre ultra-violet des étoiles. Après avoir exposé les théories classiques et leurs résultats, Pecker, partant de l'exemple du soleil, en montre les points faibles et expose les conditions d'application des méthodes nouvelles pour la prédiction des émissions discrètes et des continua; il introduit

les écarts à l'équilibre radiatif et à l'équilibre thermodynamique local. Il discute aussi les méthodes indirectes de prédiction des spectres ultra-violettes d'étoiles: méthode de Zanstra (avec ses variantes dues, notamment, à Ambartsumian, Stoy et Wurm), dimensions des sphères d'hydrogène ionisé (B. Strömgren), propriétés de l'ionosphère. En fait, les observations ultra-violettes par satellites et fusées fourniront au théoricien, plus d'informations importantes que le visible et permettront d'attaquer de nombreux problèmes par des méthodes nouvelles.

C. de Jager et L. Neven (C.L.) ont aussi procédé à d'intéressantes prévisions sur les spectres ultra-violettes et X des étoiles. Ils admettent pour une gamme d'étoiles, une photosphère de température décroissante, une chromosphère isotherme, une région de transition entre la chromosphère et la couronne, et une couronne isotherme. Quoique les résultats ne constituent qu'une première approximation, ils montrent l'importante contribution générale de la couronne et de la zone de transition.

Plusieurs travaux théoriques ont été consacrés à l'absorption interstellaire dans l'ultra-violet. La spectroscopie astronomique actuelle est handicapée par la limitation à environ 3000 Å, due à l'absorption par l'ozone atmosphérique. Il est un peu déprimant de penser que les observations stellaires à bord des satellites ou fusées seront encore limitées à $\lambda > 912$ Å; toutes les radiations de plus courte longueur d'onde seront absorbées dans les continua de l'hydrogène normal, l'hélium normal et ionisé. Le calcul de ces absorptions a été effectué par divers auteurs (voir notamment L. H. Aller, C.L.). L'hydrogène interstellaire a une profondeur optique 10 par année-lumière. Dans la région d'Orion où l'on a 10^{21} atomes H par cm^2 dans la ligne de visée, tout rayonnement de 912 à 20 Å sera absorbé par H, He et He^+ ; les rayons X mous pourront nous parvenir. Les raies d'absorption de Lyman interstellaires seront fortes et larges: par exemple pour 10^{21} at cm^{-2} , $L\alpha$ aura une largeur à mi-intensité de 25 Å. Il est possible que, pour les étoiles voisines, on puisse étudier la distribution, à petite échelle, de l'hydrogène interstellaire et obtenir ainsi des données précieuses sur les nuages. Les raies stellaires de Lyman ne seront pas observables. En revanche, les autres atomes assez abondants, O, N, C, etc. donneront des raies interstellaires étroites qui présenteront un intérêt considérable. Les continua d'éléments autres que H, He et He^+ seront absents; le carbone normal est le seul élément assez abondant dont l'absorption continue commence à $\lambda > 912$; mais le carbone est, sans doute, complètement ionisé dans l'espace interstellaire. Il est bien possible que la molécule H_2 soit abondante dans l'espace interstellaire, comme l'ont montré les travaux de T. Gold (C.L.), ou, au moins, dans les nuages interstellaires plus denses, comme le pense W. H. McCrea (8). Les raies d'absorption de H_2 correspondant aux niveaux de rotation les plus bas du système de Lyman seront trouvées dans l'ultra-violet, entre 1200 et 1000 Å et permettront de déterminer l'abondance interstellaire de cette molécule. En fait, nous sommes encore très ignorants de la composition et de l'état physique du gaz interstellaire, quoique celui-ci joue un rôle déterminant dans la naissance des étoiles. Cette ignorance provient de ce qu'il y a si peu d'atomes ou molécules décelables au-dessus de $\lambda 2900$; par exemple on ne peut, y trouver aucune absorption de H, H_2 , He, C, O, N ou Ne. Ces questions, ainsi que les applications aux déterminations des densités et températures dans les nébuleuses et aux mécanismes d'émission ont été examinées par A. D. Code (22).

L'émission $L\alpha$ des galaxies à décalage dopplérien suffisamment grand ne sera pas absorbée par l'hydrogène galactique; en fait, on pourra observer le décalage de $L\alpha$ vers le rouge dans les nébuleuses très éloignées. Peut-être trouvera-t-on une émission $L\alpha$ entre les galaxies d'un amas?

Le rayonnement ultra-violet des nébuleuses planétaires et diffuses et des étoiles excitatrices a fait l'objet de travaux théoriques récents (9). Aller (C.L.), notamment, a prédit les spectres de nébuleuses planétaires auxquels on peut s'attendre. On trouvera les raies de résonance

d'éléments abondants (C II et IV, N I-II-III et V, O I et VI, Mg II, Al II et III, Si II-III et IV, S II et III), des raies de recombinaison (He I, He II, C III, N IV, O II-III-IV et V) et quelques raies interdites ([O II] λ 2471; [O III] λ 2322; [Ne III] λ 1815; [Ne IV] λ 2441 et 1609; [Ne V] λ 2976 et 1590). Les raies de Lyman seront réabsorbées par le milieu interstellaire, si pas par la nébuleuse elle-même! Les raies interdites ne devraient pas apparaître dans les nébuleuses de faible excitation (T_e trop faible), mais seraient intenses dans les nébuleuses de haute excitation, comme NGC 7027. Dans une nébuleuse planétaire stellaire comme IC 4997, qui a une température électronique élevée ($T_e \approx 37\ 000^\circ$), les raies de [O II], [O III] et [Ne III] seraient intenses.

La détermination des intensités relatives de certaines raies brillantes fournirait des informations sur le rougissement interstellaire; par exemple la comparaison des deux raies interdites de même niveau supérieur dans [O III], λ 2322 ($^3P_1 - ^1S_0$) et λ 4363 ($^1D_2 - ^1S_0$).

D. G. Hummer et M. J. Seaton (C.L.) ont essayé d'obtenir des informations sur le spectre ultra-violet des étoiles centrales de nébuleuses planétaires à partir du spectre nébulaire, en raffinant la théorie de Zanstra et en développant de nouvelles méthodes pour les équilibres d'ionisation d'ions complexes.

S. R. Pottasch (C.L.), partant des mesures d'intensité de H α et de brillance du continuum dans 14 nébuleuses diffuses, a essayé de déterminer les caractéristiques du champ de rayonnement ultra-violet des étoiles excitatrices de ces nébuleuses diffuses.

Ces quelques considérations théoriques publiées tout récemment illustrent l'intérêt extraordinaire suscité par l'observation du spectre ultra-violet du soleil et par l'espoir d'observer bientôt les spectres ultra-violets des étoiles, nébuleuses et autres astres. La comparaison entre ces futures observations et les travaux d'anticipation fera progresser l'astrophysique dans de nombreuses voies, certaines entièrement inattendues.

III. BALLONS ET AVIONS A HAUTE ALTITUDE

Rappelons que ce rapport concerne seulement les problèmes astronomiques et que je n'envisage, par conséquent, ni les études de l'atmosphère, ni les observations de rayons cosmiques ou auroraux en ballon ou avion; pour ces questions, je renvoie notamment à *Space Research*, volume du Congrès de Nice de COSPAR (janvier 1960) et aux rapports nationaux envoyés à COSPAR.

Quelles sont les caractéristiques approximatives de l'atmosphère aux altitudes atteintes par les ballons et avions? L'absorption dans l'ultra-violet lointain subsiste à peu près intégralement.

Pression atmosphérique: à 24 km, 23 mm de mercure; à 26 km, 17 mm; à 28 km, 12 mm; à 30 km, 9.4 mm.

Profondeur optique τ pour H₂O à 1.9 μ et CO₂ à 4.3 μ :

h(km)	τ (H ₂ O)	τ (CO ₂)
0	3.0×10^4	8.0×10^5
30	6.3×10^2	1.7×10^4
100	1.9×10^{-1}	5.0
200	2.6×10^{-4}	7.5×10^{-3}

On constate donc qu'à 30 km, il ne reste plus qu'une faible fraction de l'atmosphère (1.2%), mais que cette fraction cause encore une forte absorption dans les bandes infra-rouges les plus

absorbantes de H_2O et CO_2 . Remarquons, d'ailleurs, que l'absorption infra-rouge par l'ozone subsiste encore en grande partie.

Si nous réexaminons les quatre avantages indiqués dans l'introduction, nous constatons que nous ne nous libérons pas, en ballon, de la luminescence du ciel nocturne ou de l'effet du champ géomagnétique; l'absorption ultraviolette subsiste, de même que l'absorption infra-rouge dans les bandes de O_3 et les bandes les plus intenses de H_2O et CO_2 ; il ne sera pas possible de déterminer, avec précision, la distribution de l'énergie solaire dans l'infra-rouge. Pour couvrir intégralement le domaine infra-rouge, il faudra observer à altitude beaucoup plus élevée, c'est-à-dire en satellite ou fusée; toutefois, dans les bandes moins intenses de H_2O et CO_2 et entre les raies discrètes de ces molécules, on pourra atteindre les spectres infra-rouges des astres, par ballon ou avion. Enfin, la turbulence de l'atmosphère et la diffusion au-dessus de 30 km sont extrêmement faibles, en comparaison de leurs valeurs au sol, même en haute montagne.

Il est, sans doute, inutile d'insister sur la simplicité relativement grande et le coût beaucoup moins élevé des observations en ballon ou avion, comparées à celles en satellite ou, même, en fusée. Un ballon peut porter une charge utile relativement lourde, posséder une grande stabilité et rester à peu près sur place pendant un temps assez long (beaucoup plus qu'une fusée et moins qu'un satellite!). D'autre part, un avion peut être plus aisément et rapidement disponible, car il est moins sujet aux conditions météorologiques et aux difficultés de lancement. Le choix entre le ballon et l'avion dépendra du problème à résoudre: un ballon conviendra mieux pour une pose assez longue avec grand pouvoir de résolution; un avion suffira s'il s'agit seulement d'alimenter un spectromètre infra-rouge.

Bien entendu, si on veut effectuer, en ballon, des observations nocturnes donnant une résolution supérieure à celle qu'on peut obtenir avec les plus grands instruments terrestres, il faut un télescope de dimension considérable, sans doute de 90 cm au moins, travaillant à la limite de diffraction du pouvoir de résolution. Certes, de tels instruments et, même, de plus grands sont prévus pour les satellites (voir section V). Au début, il semble bien pourtant que ce sera surtout dans l'extension des spectres vers l'infra-rouge que les observations en ballon fourniront des résultats qu'on ne peut obtenir au sol.

A. Dollfus a déjà décrit, dans le précédent volume des *Transactions*, les observations de la photosphère solaire effectuées en ballon libre avant 1958. En fait, les problèmes essentiels de la photosphère solaire ne requièrent ni satellite, ni fusée: les altitudes des ballons ou avions (genre U2) suffisent. Les problèmes les plus importants non résolus concernent, en effet, la structure physique des couches photosphériques, ainsi que leur propriétés hydrodynamiques et magnétiques. Le plus grand obstacle à de telles études est la turbulence atmosphérique qui masque la vraie structure et les mouvements de la photosphère et empêche les observations à l'extrême bord. Les observations en ballon sont, pour cela, particulièrement utiles, comme le prouve le succès des expériences de M. Schwarzschild (10) et de ses collaborateurs qui, dans le projet 'Stratoscope', ont obtenu des détails de la surface solaire plus fins que toute observation au sol.

Leur télescope solaire de 30 cm qui est monté à 25 km pour la première fois en 1957, est arrivé à la même altitude quatre fois durant l'été 1959. La distance focale effective est de 60 m; la camera de 35 mm prend une photo par seconde, avec une exposition de 10^{-3} seconde; le nombre total d'expositions par vol est de 8000 environ; l'émulsion et le filtre sont combinés pour donner une longueur d'onde effective λ_{5400} ; un mécanisme automatique cherche le soleil. En 1959, une installation de télévision a permis à l'observateur, dans une station mobile au sol, de voir les images, de commander la focalisation et de diriger le télescope vers la région désirée du soleil.

Les résultats obtenus sont extrêmement intéressants. Les meilleures séquences des photos de granulations montrent les changements des granules avec le temps; leur vie est d'environ 8·6 minutes. Le caractère général des granules immédiatement adjacents aux taches est identique à celui des granules très éloignés des perturbations magnétiques, sauf au voisinage des taches très actives où les granules paraissent occasionnellement allongés. Les filaments des pénombres sont extrêmement fins (largeurs égales ou inférieures à 300 km, limite de résolution du télescope); la vie moyenne de ces filaments semble être de l'ordre d'une demi-heure. Dans l'ombre d'une tache, on observe de nombreux points très petits (diamètre ≤ 300 km) ayant une vie du même ordre que les filaments de la pénombre.

Ces succès montrent que les observations en ballon doivent être continuées et considérablement amplifiées. En ce qui concerne le soleil, maints problèmes subsistent. Il faudrait notamment obtenir des spectres à haute résolution, révélant les déplacements dopplériens associés à la fine granulation. L'augmentation considérable du domaine infra-rouge réservera sûrement aussi d'intéressants résultats; de nombreuses molécules s'y révéleront, notamment dans les taches solaires. On trouvera de nouvelles raies interdites dans la couronne (11). On est, d'ailleurs, encore très limité par la faible sensibilité des détecteurs quoiqu'on les améliore beaucoup (même dans les 'fenêtres' infra-rouges, existant au sol, les observations astronomiques sont très rares!). Heureusement de grands progrès instrumentaux récents vont être appliqués aux observations astronomiques dans l'infra-rouge, par exemple la méthode de l'interféromètre de Michelson avec développée de Fourier. On peut, en particulier, espérer pouvoir faire, par interférence, l'étude de l'infra-rouge lointain solaire, jusque 3 mm.

Les ascensions récentes de A. Dollfus par groupes de ballons-sondes et cabine étanche ont déjà fourni des renseignements prometteurs sur l'atmosphère terrestre (12). Ses futures ascensions seront organisées en 1961, en vue de l'observation de la couronne et de la détection de traces de vapeur d'eau dans les atmosphères de Vénus et Mars; le vol piloté sera précédé d'un autre vol contenant des appareils d'observation automatiques.

D'un avion Canberra volant à 13 kilomètres, J. T. Houghton, T. S. Moss et J. P. Chamberlain (13) ont, en 1958, observé le spectre infra-rouge solaire jusque 4 μ .

L. G. Mundie, D. E. Brown, P. G. Hasell, Jr. et D. S. Lowe (*J.O.S.A.*, 50, 1187, 1960) ont décrit un spectro-radiomètre couvrant la région de 0·25 à 15 μ qu'ils comptent installer à bord d'un avion KC-135 volant à 12 000 mètres. Ils espèrent obtenir ainsi des spectres infra-rouges de planètes et étoiles.

Lors d'une ascension en ballon effectuée en novembre 1959, Comdr. Malcolm Ross et C. B. Moore ont utilisé des instruments construits par J. Strong en vue de la détection de vapeur d'eau sur Vénus; il semble bien qu'un résultat positif ait été obtenu.

Quoiqu'on doive s'attendre à ce que les résultats d'observation en ballon ou avion soient moins spectaculaires que certaines des découvertes par fusée ou satellite, on peut espérer des contributions très substantielles. Nous avons parlé ci-dessus du soleil. On peut passer en revue tous les astres, tant pour l'extension du domaine infra-rouge que pour l'augmentation de la résolution.

Je ne parlerai pas de la terre, non considérée dans ce rapport, sauf pour indiquer l'intérêt du spectre infra-rouge du ciel nocturne et des aurores. Les transitions interdites $^3P_2 - ^3P_1$ et $^3P_1 - ^3P_0$ entre les sous-niveaux du terme fondamental de OI se trouvent à 63 μ et 147 μ ; elles jouent sûrement un rôle important dans la haute atmosphère terrestre. Beaucoup d'informations pourraient être trouvées sur les planètes. La recherche de la vapeur d'eau sur Vénus et Mars a déjà été citée. Pour détecter O₂ sur ces planètes, il faudra encore employer le déplacement dopplérien, par exemple dans la bande 7600; mais la séparation sera bien plus facile

qu'au sol. De toute façon, des spectres infra-rouges à haute résolution de Vénus et Mars sont souhaitables. Les observations planétaires infra-rouges de Strong et de Sinton pourraient être considérablement améliorées; des déterminations d'albedo total seraient possibles. Bien entendu, si on veut examiner des régions déterminées des surfaces planétaires, une résolution de 1", au moins, est désirable (télescope de 30 cm); un réflecteur de 125 cm permettrait l'obtention de spectres infra-rouges de régions de 7 secondes carrées sur Vénus et Mars.

Les spectres infra-rouges et les magnitudes bolométriques des étoiles brillantes seraient d'un intérêt considérable; pour faire du travail substantiel dans ce domaine, un télescope de l'ordre de 100 cm serait nécessaire. Les étoiles froides ont leur intensité maximum dans l'infra-rouge; de nombreuses molécules, peut-être polyatomiques, y seront trouvées. On pourra entendre la loi du rougissement interstellaire vers les grandes longueurs d'onde. Des raies interdites nouvelles seront trouvées dans les nébuleuses et étoiles anormales, notamment les raies interdites de grande longueur d'onde de O I, N II, C I et C II.

La molécule H₂ n'a jamais été observée. F. Zwicky suggère de rechercher une émission interstellaire à 85 μ, résultant de la transition de l'orthohydrogène à la forme parahydrogène plus stable. H₂ pourrait, d'ailleurs, présenter aussi, en absorption infra-rouge, des raies interdites de rotation. Les molécules interstellaires, comme CH, NH, OH, possèdent des transitions permises de rotation et de vibration-rotation dans l'infra-rouge.

Au-dessus de 20 km, le 'seeing' ne limitera plus la performance des télescopes d'ouverture inférieure à 150 cm; de ce point de vue, il est donc inutile de dépasser une telle altitude. Naturellement, les problèmes de la stabilisation et du guidage d'un télescope en ballon doivent être résolus (comme dans les satellites, voir section V), si l'on veut tirer parti de l'augmentation de la résolution. En utilisant une camera électronique, genre Lallemand, on réduirait considérablement les temps de pose, de sorte que les effets de l'instabilité du télescope seraient moins prononcés.

On peut imaginer aisément les nombreuses observations géométriques (détermination de diamètres et aplatissements; cartographie), photométriques (albedo; 'cornes' de Vénus; occultations d'étoiles par les planètes), radiométriques (corrections plus faciles), spectroscopiques (émissions dans les parties obscures des planètes et leur distribution), etc. qu'on pourrait effectuer sur les planètes, grâce à une haute résolution et une faible diffusion.

En comparaison des satellites lourds, l'effort financier et technique requis pour équiper astronomiquement des ballons ou avions de haute altitude est modeste. Il est réconfortant de savoir que cet important domaine n'est pas négligé. M. Schwarzschild vient de nous annoncer qu'un ballon avec télescope de 90 cm est en construction, en vue d'obtenir des photographies à haute définition des planètes, nébuleuses gazeuses et systèmes stellaires.

IV. FUSÉES

Rappelons, à nouveau, que nous n'envisageons que les observations astronomiques et excluons donc les études sur la haute atmosphère, les aurores, rayons cosmiques, ceintures de Van Allen, etc. pour lesquelles nous renvoyons aux documents COSPAR (*Space Research* et rapports).

Pour atteindre l'ultra-violet lointain, les rayons X et les rayons γ, il faut que les instruments d'observation se trouvent à des altitudes inaccessibles aux ballons. Le spectre solaire dans l'ultra-violet a intéressé et intrigué les physiciens et astronomes pendant plus de cent ans, mais son observation n'a eu lieu pour les premières fois que lors des lancers de V₂, du 10 octobre 1946 (Naval Research Laboratory) et du 1er avril 1947 (groupe du Applied Physics Laboratory de la Johns Hopkins University); ces spectres qui ne s'étendaient pas au delà de

$\lambda 2000$ ont été décrits dans des volumes antérieurs des Transactions de l'UAI. Dès les premiers travaux spectroscopiques en laboratoire et sur le soleil, il y a cent ans, il était apparu clairement que l'atmosphère était responsable de la coupure du spectre solaire vers $\lambda 2900$; il avait pourtant fallu attendre 1913 pour que fut trouvée, par Fabry et Buisson, la molécule responsable de cette coupure, l'ozone. La série de l'hydrogène portant le nom de Lyman fut découverte en laboratoire, en 1914; Lyman, grâce aux réseaux taillés par Rowland, descendit jusqu'à 500 Å. Plus tard, Millikan, Dauvillier, Thibaud et Osgood comblèrent la lacune entre l'extrême ultra-violet et les rayons X, de sorte que les techniques spectrographiques de l'ultra-violet lointain étaient au point lorsque des fusées à haute altitude furent utilisables.

La spectrographie solaire ultra-violette dut ses premiers grands progrès au contrôle de pointage biaxial développé à l'Université de Colorado sous la direction de W. B. Pietenpol. Ce contrôle de pointage 'Colorado' continue à être employé par les observateurs américains et le sera bientôt par les français. C'est grâce à lui que Rense et Pietenpol obtinrent le premier enregistrement de $L\alpha$ solaire le 12 décembre 1952.

Les premières techniques non spectrographiques de détection et mesure de $L\alpha$ solaire, développées surtout par le groupe Friedman au Naval Research Laboratory (NRL) ont été exposées dans des volumes antérieurs. Dès 1948, un phosphore thermo-luminescent CaSO_4 : Mn enregistrait l'énergie solaire du voisinage de $L\alpha$; les compteurs de photons et chambres d'ionisation furent introduits en 1949.

De même des techniques non spectrographiques décelèrent le rayonnement X solaire dès 1948, lorsque Burnight du NRL observa le noircissement d'émulsions photographiques protégées par des filtres de Be et Al et placées à bord d'un V2. Friedman confirma cette observation par compteur de photons en 1949.

Au NRL, on a procédé, par fusées, à la photométrie du rayonnement solaire $L\alpha$ et X dans diverses régions (2 à 8 Å; 8 à 16 Å; 44 à 60 Å) pendant presque un cycle solaire. Nous avons, d'ailleurs, signalé, dans l'introduction, que le satellite 1960 η_2 transmet continuellement les intensités solaires $L\alpha$ et X (H. Friedman, C.L.). Des déterminations semblables par fusées sont effectuées dans d'autres pays. Par exemple, en Grande Bretagne (A. P. Willmore, C.L.) des déterminations des températures de couleur (coronales!) sont effectuées en mesurant des rayonnements X de 2 à 20 Å par films photographiques et écrans métalliques; par exemple, un lancer de Skylark, le 17 septembre 1959, donna, pour un soleil calme, une température de couleur comprise entre 1.7 et 1.9×10^6 degrés. Des mesures de rayonnement $L\alpha$ sont faites au moyen de chambres d'ionisation à oxyde nitrique, semblables à celles de Friedman. Ces observations sont effectuées en même temps que des mesures ionosphériques. (Laboratoires de R. L. F. Boyd, University College, London et de E. A. Stewardson, Leicester University).

Depuis 1956, divers essais fructueux ont été effectués pour obtenir la distribution de l'émission $L\alpha$ sur le soleil.

On sait que les spectrohélogrammes en $H\alpha$ et en $\text{K}(\text{Ca II})$ ont des aspects très différents, ces émissions étant excitées à des niveaux différents de l'atmosphère solaire. Comme $L\alpha$ ($\lambda 1216$) est émis dans les niveaux plus hauts de la chromosphère, il était important d'obtenir des photos du soleil dans cette longueur d'onde, afin de progresser dans notre connaissance de la structure de la chromosphère. La première photo solaire en $L\alpha$ fut obtenue par Rense et ses collaborateurs en 1956; quoique la photo ait une faible résolution, les auteurs conclurent que $L\alpha$ est émis avec la plus grande intensité dans les plages à émission $\text{K}(\text{Ca II})$. Une photo de qualité beaucoup supérieure fut obtenue par le NRL le 13 mars 1959 (J. D. Purcell et R. Tousey, C.L.) au moyen d'un monochromateur double; la résolution en laboratoire était de 20". La camera consistait en deux réseaux concaves à 600 traits par mm. Le premier réseau produisait une série d'images dispersées du soleil; un diaphragme dans le plan focal interceptait les radiations autres que

$L\alpha$; l'image dans $L\alpha$ était 'purifiée' par le deuxième réseau qui focalisait l'image monochromatique finale sur le film. Les deux réseaux étaient recouverts de couches réfléchissantes spéciales pour la région voisine de $L\alpha$; comme les expositions ne duraient que 1/50 sec, les images sont assez bonnes (résolution de 1'), malgré un pointage imparfait. L'astigmatisme était éliminé en déformant le premier réseau suivant une surface toroidale.

L'image en $L\alpha$ ressemble plus au spectrohélogramme dans $K(\text{Ca II})$ qu'à l'image $H\alpha$. Mais les plages entourant les taches sont plus étendues et plus intenses dans $L\alpha$ que dans K , et, a fortiori, dans $H\alpha$. La plupart des filaments visibles dans $H\alpha$ le sont aussi dans $L\alpha$ et K . Mais il y a, dans l'hémisphère S, une tranchée très opaque dans $L\alpha$, absente dans $H\alpha$ et à peine visible dans K .

Tout comme pour $L\alpha$, on désire connaître la distribution de l'émission X sur le soleil. Une image X du soleil fut obtenue le 19 avril 1960 en employant une chambre noire, longue de 15 cm, percée d'un orifice de 0.13 mm de diamètre, recouvert d'un filtre éliminant tout le visible et l'ultra-violet, mais transparent à la région de 20 à 60 Å. La fusée Aerobee-Hi a atteint une altitude maximum de 195 km. La résolution est suffisante pour révéler la distribution des sources de rayons X mous. L'émission X provient surtout des régions coronales au-dessus des plages brillantes; une plage brillante fournit une intensité 70 fois plus grande que le fond. Il y a intensification au bord. Il semble bien que la distribution du rayonnement X soit analogue à celle de l'émission radio dans les ondes décimétriques. L'expérience devra être recommencée avec des temps de pose plus courts et un troisième contrôle de pointage, éliminant la rotation de la camera (en plus du contrôle biaxial) (T. A. Chubb, H. Friedman et R. W. Kreplin, C.L.).

Une autre méthode pour déterminer la distribution de l'émission X est de suivre ses modifications au cours d'une éclipse solaire. On sait, par les sondages ionosphériques, que la région E ne disparaît pas complètement durant la totalité. Mais cette ionisation résiduelle est-elle due à la lenteur du processus de recombinaison ou à une portion de flux ionisant qui n'est pas éclipsée par le disque lunaire? D'ailleurs y a-t-il des sources discrètes de rayonnement X, comme semblent l'indiquer les changements brusques observés dans les sondages radio au cours d'une éclipse? Ces questions furent étudiées par le lancer de cinq fusées Nike-Asp durant l'éclipse solaire du 12 octobre 1958. Dans la bande 44-60 Å, 10 à 13% du flux solaire sont reçus pendant la totalité (alors que $L\alpha$, également observé, était réduit à 0.05%). Les rayons X sont donc émis à une hauteur coronale telle qu'ils ne sont pas entièrement éclipsés à la totalité optique. On a aussi constaté que l'émission X était associée à des régions actives, identifiées à des taches et plages.

L'ensemble des deux expériences révèle que l'émission X provient de régions actives de la couronne plutôt que d'une couronne uniforme. Ces régions actives semblent bien être des condensations coronales surmontant les places faculaires. La source X la plus intense observée exigerait une condensation coronale de densité 8 ou 9 fois supérieure à celle de la couronne non perturbée. Il semble bien que les observations concordent avec la théorie de l'émission X de la couronne développée par G. Elwert (14) qui favorise l'émission discrète par rapport à l'émission continue, plutôt qu'avec celle de T. V. Kazachevskaya et G. S. Ivanov-Kholodny (15) concluant en faveur d'une émission X presque entièrement continue. On n'a malheureusement pas encore le moindre renseignement spectroscopique direct sur la structure du spectre X. En tout cas, si, dans le visible, la couronne est 10^8 fois moins brillante que le disque, le rayonnement est dû exclusivement à la couronne dans la région $\lambda < 100$ Å.

Il est intéressant enfin de connaître l'émission X accompagnant les flambes. Dans ce but, NRL a lancé douze fusées Nike-Asp en juillet, août et septembre 1959; ces fusées portaient

des photomètres mesurant les rayons X et ultra-violet produits durant des éruptions à SID(*) et, pour la comparaison, durant des périodes calmes. Sept des fusées ont fourni des résultats intéressants, trois durant des flambes. Durant une protubérance active ou une flambe, il y a augmentation de l'émission X; celle-ci est aussi durcie, comme l'indique la variation du rapport d'intensité des régions 2-8 Å et 8-20 Å.

L'énergie X reçue au sommet de l'atmosphère terrestre est actuellement estimée à $1/2$ erg cm^{-2} sec^{-1} pour la région de 20 à 100 Å; elle peut atteindre 2 erg cm^{-2} sec^{-1} au cours d'une flambe. Pour la région de 2 à 8 Å, il semble que l'émission soit très variable, allant de 6×10^{-4} à 10^{-2} .

Les études spectroscopiques du rayonnement ultra-violet solaire ont été conduites principalement par les groupes du NRL (R. Tousey, J. D. Purcell et D. M. Packer), de l'Université du Colorado (W. A. Rense et T. Violet) et du U.S. Air Force Cambridge Research Center (H. Hinteregger). De bons spectres dans le proche ultra-violet ont aussi été décrits par les observateurs soviétiques (16). Des projets sont en bonne voie en Grande Bretagne et France. Nous allons esquisser les résultats obtenus aux Etats-Unis.

Les progrès en spectroscopie ultra-violet solaire sont dus au contrôle de pointage biaxial, au développement des dépôts à haute réflexion, aux excellents réseaux à présent disponibles, aux émulsions particulièrement sensibles pour l'ultra-violet (Kodak-Pathé, procédé Audran) et aux améliorations optiques et mécaniques des spectrographes.

Les meilleurs spectres NRL ont été obtenus le 13 mars 1959 et le 19 avril 1960 (C. R. Detwiler, J. D. Purcell et R. Tousey, C.L.). Lors du lancer de 1959, le réseau à incidence normale avait un rayon de 40 cm, possédait 600 traits par mm et était brillant pour 1000 Å. Vingt expositions de $1/2$ à 60 secondes ont été obtenues; une exposition de 30 secondes correspondait au sommet de la course, de 194.6 à 198 km. Largeur de fente: 15μ ; dispersion: 40 Å/mm; résolution: 0.6 Å. Le spectre photosphérique est visible jusque 1550 Å, où il se confond au fond diffusé; on voit des raies de Fraunhofer jusque 1750 Å. Une centaine de raies d'émission sont observées, parmi lesquelles 8 raies de Lyman (plus le continuum visible de 910 à 820 Å), des raies de Mg X; O II, III, IV; Ne I, III et VIII, Si I, II; S I; C I. $L\gamma$ est encore absorbé par l'azote atmosphérique N_2 . La raie de plus courte λ est 584 He I.

Le lancer de 1960 a constitué une amélioration considérable par rapport à celui de 1950, surtout par la suppression du fond de lumière parasite. De ce fait, 200 raies d'émission sont apparues jusque $\lambda 499$; le continuum a été photographié jusque $\lambda 1000$; 11 membres de la série de Lyman sont observés, y compris $L\gamma$ qui apparaît faiblement, l'altitude atteinte étant, cette fois, 220 km. Les raies d'émission, sauf une trentaine, sont identifiées; elles sont dues aux éléments abondants, jusqu'au soufre, à des étages d'ionisation très divers. Dans le spectrographe 1960, le miroir concentrant le soleil sur la fente a été remplacé par un réseau concave prédispersif, étalant l'image dispersée du soleil verticalement le long de la fente; ce premier réseau a été déformé mécaniquement afin de compenser l'astigmatisme du second réseau. Le visible et l'ultra-violet proche ne pénètrent pas dans la fente, réduisant de ce fait la diffusion. Comme le système est stigmatique, les plages dont l'image est formée sur la fente se manifestent clairement dans le spectre, de même que les bords du disque. Fente: 1 Å; trois espèces d'émulsion Kodak-Pathé, de vitesses et résolutions différentes; réseaux recouverts d'un film d'Al et fluorure de Mg à grand pouvoir réflecteur.

L'aspect du spectre peut se résumer comme suit:

(*) SID: perturbation ionosphérique soudaine, avec évanouissement de radio en ondes courtes (1.5 à 30 Mc). Les SID sont dues aux flambes; mais une SID ne correspond pas à chaque flambe, celle-ci n'étant qu'un symptôme d'un mécanisme dégageant une grande quantité d'énergie X ou ultraviolette. Les SID sont, à présent, subdivisées (SSW, GSW, VSW).

$\lambda < 2085$: chute subite du continuum et les raies de Fraunhofer deviennent beaucoup plus faibles;

$\lambda < 2000$: apparition des raies d'émission;

$\lambda < 1550$: spectre essentiellement de raies d'émission, mais le continuum est observable jusque $\lambda 1000$, sans toutefois montrer de raie de Fraunhofer (dernière raie Fraunhofer sûre vers $\lambda 1700$; les bandes intenses d'absorption de 1130 à 1040 sont dues à la vapeur d'eau produite par évaporation d'eau dans la fusée);

$\lambda 1000-920$: le continuum n'apparaît plus que dans la plage la plus brillante;

$\lambda 912$: intense continuum de Lyman, observable jusque $\lambda 800$.

Suivant la longueur d'onde et le type d'atome, le spectre a son origine dans des niveaux différents de l'atmosphère solaire; les raies d'émission proviennent, suivant l'excitation, de tout le domaine allant du fond de la chromosphère à la couronne. Du fait du stigmatisme de l'instrument, on observe des variations d'intensité relative de raies à travers le disque solaire. C'est ainsi que $L\beta$ et les raies voisines de $O\text{ VI}$ se comportent très différemment: $L\beta$ a une intensité à peu près constante, avec, peut-être, une légère intensification au bord, tandis que les raies de $O\text{ VI}$ ont une intensification considérable au bord et sont plus longues que $L\beta$; $O\text{ VI}$ est, en fait, une émission quasi-coronale.

Le continuum passe du continuum photosphérique avec raies de Fraunhofer normales, à un continuum provenant du bas de la couche renversante avec raies de Fraunhofer faibles, puis à une émission dans la chromosphère; pour $\lambda < 1550$, le continuum est purement chromosphérique. La chute abrupte du continuum à $\lambda 2085$ n'a pas encore reçu d'explication convaincante; on peut penser à une absorption continue d'ionisation atomique (Al), ou à une absorption moléculaire quasi continue (NO, etc.), ou à un transfert de charge de H_2^+ ou encore aux ailes fortement élargies des raies d'absorption Lyman (voir section II). Quant au continuum d'émission $\lambda < 1526.7$, il est, peut-être, dû à des continua atomiques de capture (par exemple Si I). Au sein du continuum de Lyman, des émissions sont dues à C II, O II et O III et des absorptions à l'azote atmosphérique.

De nombreuses séquences isoélectroniques sont bien représentées. Par exemple: Li I, Be II, C IV, N V, O VI (intense), Ne VIII, Mg X, Si XII. Les atomes sont observés à des étages d'ionisation très divers. Exemples: C I, II, III, IV; N I à V; O I à VI; Mg I, II, X; Si I, II, III, IV, XII; S I à VI; etc.

Ces spectrogrammes admirables devront être prolongés au-delà de 500 Å; il faudra, pour cela, utiliser, sans doute, un réseau en incidence rasante avec, vraisemblablement, une pré-dispersion pour éviter la lumière parasite, comme NRL a réussi à le faire pour $\lambda > 500$.

Des spectrogrammes allant jusque 83.9 Å ont été obtenus par W. A. Rense et ses collaborateurs qui ont employé un réseau à incidence rasante (W. A. Rense, C.L.). Ces spectrogrammes qui ont révélé l'émission intense de résonance de He II $\lambda 304$, sont précieux parce qu'ils s'étendent plus loin que ceux du NRL vers les courtes longueurs d'onde. Malheureusement, il y a, pour les ondes courtes dispersées en incidence rasante, un problème sérieux de diffusion. C'est, sans doute, pour cette raison que les listes d'émissions du NRL et du groupe de Rense, pour les régions spectrales communes, ne sont pas en accord complet. Dans les spectres obtenus par Rense en 1959, l'astigmatisme n'est pas très grand; on peut observer les variations d'intensité le long des raies, en particulier dans la région des plages, et mettre en évidence l'obscurcissement ou l'intensification au bord.

Les mesures directes d'intensité des raies dans un monochromateur, avec téléométrage des mesures, ont été remarquablement développées par H. E. Hinteregger et ses collaborateurs. Elles ont permis de se faire une idée plus précise des intensités des principales émissions,

notamment de H, He I et He II (Hinteregger, C.L.). Le spectrographe utilisé a un réseau de 2 m de rayon; il opère en incidence rasante à 86° ; les intensités sont mesurées par des photomultiplicateurs à cathode métallique sensibles seulement pour $\lambda < 1500$; il n'y a donc guère de diffusion. Le cercle de Rowland est exploré de 1300 à 250 Å et les résultats sont transmis au sol. Les mesures intègrent sur tout le soleil, ce qui est souhaité pour les intensités. Hinteregger a publié les résultats de trois lancers effectués le 12 mars 1959 et les 19 et 29 janvier 1960. De plus, un lancer du 23 août 1960 a fourni des enregistrements de haute qualité, notamment à une altitude de 235 km. Le diagramme s'étend de $\lambda 1300$ à $\lambda 250$ et permet d'estimer les intensités de nombreuses émissions de H; He I-II; N I-II-III-IV-V; C III-IV; O I-II-III-IV-V-VI; Ne II-VIII; Mg X; Si II-III. L'intensité de $\lambda 304$ He II, à 230 km, est de l'ordre de $0.3 \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ et ne dépasse pas $1 \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$. L'intensité de $L\alpha$ varie sûrement au cours du cycle solaire; à 210 km, $L\alpha$ est de l'ordre de trente fois plus intense que $\lambda 304$ He II; le flux de 60 à 1300 Å est de l'ordre de $10 \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$. Le développement par Hinteregger des techniques du télémétrage du spectre dispersé est très important, surtout pour les satellites, qui sont nécessaires pour assurer la continuité des mesures d'énergie solaire dans le temps et pour rendre possibles les corrections d'absorption par la haute atmosphère.

Les émissions non encore identifiées dans les spectres ultra-violettes du NRL et du groupe de Rense requièrent à la fois de nouveaux travaux expérimentaux et des prédictions théoriques. Comme il a été indiqué dans la Section I, B. Edlén (C.L.) a établi l'état actuel de nos connaissances sur les spectres ultra-violettes atomiques d'intérêt astronomique. C. Pecker et F. Rohrlich (C.L.) ont prédit les raies interdites non encore connues des configurations électroniques normales, en vue de l'interprétation du spectre coronal ultra-violet; ils ont aussi discuté les raies permises, à partir d'extrapolations le long de séquences isoélectroniques et recherché leur présence éventuelle sur les spectres de Rense. De leur travail, comme de celui du NRL, il est clair qu'il n'y a aucune discontinuité entre les régions chromosphériques et coronales.

On pouvait s'attendre à ce qu'un profil précis de $L\alpha$ puisse fournir maintes informations utiles. Deux installations semblables de haute résolution ont été utilisées par NRL, la première dans une fusée lancée le 21 juillet 1959, l'autre le 18 avril 1960 (J. D. Purcell et R. Tousey, C.L.). L'instrument comporte deux réseaux de 50 cm de rayon et 1200 traits par mm; le deuxième réseau est utilisé dans le 13ème ordre; la dispersion est 0.4 Å/mm . Le premier réseau projette une image solaire du premier ordre sur la fente, éliminant ainsi la lumière parasite et la superposition des ordres. Le système est rendu stigmatique, en choisissant l'angle d'incidence sur le premier réseau de manière à neutraliser l'astigmatisme du second. De bonnes expositions étaient obtenues en 4 secondes; le pouvoir de résolution effectif était 40 000. Lors du lancer de 1959, neuf spectres ont été obtenus, avec des poses de 4 à 120 secondes; la première exposition a été prise à la montée, à 110 km, l'exposition la plus longue au sommet (197 km), la dernière à la descente à 92 km.

$L\alpha$ est une raie d'émission large, la largeur à mi-intensité étant d'environ 1 Å; les ailes s'étendent à plus d'un angström de chaque côté du centre; une large dépression centrale, peu profonde donne lieu à deux maxima séparés d'environ 0.4 Å ; une absorption centrale, très étroite et très profonde a une largeur à mi-intensité de 0.025 à 0.03 Å , compte tenu de la largeur instrumentale. La dépression large est d'origine solaire, alors que la composante centrale piquée est causée par des atomes H situés entre le soleil et la fusée. En fait, le profil de $L\alpha$ ressemble à ceux de $\lambda 2795.52$ et $\lambda 2802.70$ de Mg II, observés par fusée en 1957 (sauf, naturellement, en ce qui concerne la composante centrale fine).

Les profils ne sont pas identiques en tous points du disque. La composante centrale, non solaire reste évidemment la même. Mais la dépression est plus large et plus profonde dans une

région calme que dans une plage typique, la séparation des deux maxima variant d'environ 0.1 Å entre les régions calmes (0.4 à 0.5 Å) et les plages (0.3 à 0.4 Å).

Une chambre à ionisation placée sur la même fusée a révélé un flux de $6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ pour $L\alpha$ en dehors de l'atmosphère terrestre, ce qui fournit une échelle absolue d'intensité aux profils et permet une comparaison avec la théorie. D. C. Morton et K. Widing ont adopté la théorie de J. T. Jefferies et R. N. Thomas pour la formation des raies chromosphériques par diffusion non cohérente. Les plages semblent requérir une température (55 000 à 90 000°) plus basse que les régions calmes (70 000 à 115 000°); pour qu'il y ait accord entre les intensités prédites et observées, on doit adopter des densités électroniques de l'ordre de $3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$ dans les plages les plus brillantes et $2 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ dans les régions les plus sombres.

La largeur de la composante fine centrale correspond à un élargissement dopplérien à une température comprise entre 800 et 2100 °K. La largeur équivalente déterminée à différentes altitudes montre qu'une quantité appréciable d'hydrogène se trouve dans la portion d'atmosphère parcourue par la fusée. La largeur maximum correspond à une colonne oblique de $5 \times 10^{12} \text{ at cm}^{-2}$, ce qui reviendrait à $2 \times 10^{12} \text{ at cm}^{-2}$ pour une colonne verticale, la moitié des atomes se trouvant entre 97 et 198 km.

Le lancer du 18 avril 1960 a fourni des résultats du même genre. La quantité totale trouvée pour H au-dessus de 100 km est à peu près la même, mais la variation en fonction de l'altitude paraît moins rapide.

Une nouvelle instrumentation est en préparation à NRL; on emploiera une échelle de 73 traits par mm dans les ordres proches de 200; comme précédemment, un premier réseau dispersant une image du soleil le long de la fente servira à la séparation des ordres et à l'élimination de la lumière parasite. Dans l'exposé des projets français, nous indiquerons une technique nouvelle pour obtenir le profil de $L\alpha$ solaire.

Afin de savoir si l'hydrogène donnant lieu à la composante centrale piquée de $L\alpha$ solaire est seulement géocoronal ou également interplanétaire, une expérience complémentaire est la recherche d'une émission éventuelle de $L\alpha$ dans le ciel nocturne (*). Cette expérience a été effectuée par NRL, à plusieurs reprises depuis 1955, au moyen de chambres d'ionisation limitant un domaine spectral assez étroit, incluant $L\alpha$. Les résultats ont été exposés par T. A. Chubb, H. Friedman, R. W. Kreplin et P. Mange (C.L.). Les lancers les plus fructueux

(*) Les fusées ont élucidé la question des altitudes auxquelles sont émises la plupart des émissions du ciel nocturne. Des observations récentes du NRL (H. W. Cooper, I. S. Gullledge, M. J. Koomen et D. M. Packer, fusée du 6 novembre 1959; voir H. Friedman, C.L.) donnent les résultats suivants:

- λ -5577 [O I]: maximum à 97 km;
- λ -7619 O₂ (bande atmosphérique): maximum approximativement à 93 km, aucune émission au-dessus de 100 km;
- λ -2650 O₃ (système Herzberg): maximum à 98 km;
- λ -4520 (non identifié): maximum vers 110 km, émission entre 95 et 120 km;
- λ -5420 continuum: maximum à environ 100 km;
- λ -7500 à 1μ et 7280 ± 90 HO: trois quarts de l'émission, au moins, entre 75 et 95 km.

Des expériences futures essayeront de déterminer l'altitude d'émission des raies rouges de [O I].

Lors du lancer d'un Aerobee-Hi le 26 mai 1960, à une altitude telle que le soleil était à 22° sous l'horizon, E. T. Byram, T. A. Chubb et H. Friedman (C.L.) ont observé, à l'Ouest, une lueur dans le domaine λ -1290– λ -1350, alors qu'aucune énergie n'était perçue de λ -1350 à λ -1550. Cette lueur était probablement une diffusion par résonance de rayonnement solaire proche de λ -1300 par des atomes d'oxygène atmosphérique.

sont ceux du 28 mars 1957 (altitude maximum de 146 km) et du 14 janvier 1960 (altitude: 1120 km). L'instrumentation de la fusée de 1957 a dressé une carte de l'émission $L\alpha$ du ciel nocturne avec un collimateur à champ de 16° à mi-largeur. Les contours sont à peu près circulaires avec un minimum central dans la direction antisolaire. Les intensités varient peu: d'un minimum de 2.7×10^{-3} erg cm $^{-2}$ sec $^{-1}$ ster $^{-1}$ à un maximum de 3.6×10^{-3} erg cm $^{-2}$ sec $^{-1}$ ster $^{-1}$. $L\alpha$ apparaît déjà sur tout le ciel, à une hauteur de 75 km. A partir de 85 km, $L\alpha$ apparaît aussi dans l'atmosphère en-dessous de la fusée; l'albedo correspondant mesuré aux hauteurs supérieures à 120 km est de 42%.

Lors du lancer par fusée Javelin en 1960 (demi-angle couvert: $15^\circ 52'$ au centre de la fenêtre, $22^\circ 05'$ à la périphérie), l'intensité de $L\alpha$ a été télémétrée de 350 à 1120 km. La brillance vers le haut, à 1000 km, semble encore de l'ordre de 80% de celle à 300 km. Le nouvel albedo trouvé, ramené à 200 km, est d'environ 58%, donc un peu différent de celui de 1957; mais il reste quelque incertitude par suite de perturbations de type auroral, sans doute dues à O I et N $_2$, qui se seraient manifestées aux environs de 1300 Å lors du lancer de 1960.

Le flux $L\alpha$ venant 'du haut' est dû à la diffusion fluorescente de $L\alpha$ solaire par des atomes H. Quant au flux $L\alpha$ vers l'extérieur, il est dû à la rediffusion du rayonnement $L\alpha$ nocturne par l'hydrogène tellurique. F. S. Johnson (C.L.) considère que, pour interpréter les observations et notamment la haute valeur de l'albedo, il est nécessaire de supposer que l'hydrogène est géocoronal (à une distance de moins de dix rayons terrestres); cet hydrogène pourrait être dû à la dissociation de H $_2$ O et CH $_4$ atmosphérique et s'échapper de la terre. Au contraire, J. W. Chamberlain et J. C. Brandt (C.L.) * défendent l'hypothèse d'une émission par l'hydrogène interplanétaire, extension de la couronne solaire jusqu'à une unité astronomique.

Comme l'intensité de $L\alpha$ décroît avec l'altitude, il y a sûrement une contribution de l'hydrogène géocoronal, comme le suggère F. S. Johnson. Mais, pour connaître l'importance d'une éventuelle contribution de l'hydrogène interplanétaire, il faudrait lancer une fusée à encore plus grande altitude. C'est ce que compte faire le NRL, en utilisant une sonde spatiale, munie d'un télescope $L\alpha$ de 25 cm, qui explorerait le ciel nocturne alors que la sonde s'éloigne au-delà d'un rayon terrestre. On peut espérer trouver aussi une émission du ciel à $\lambda 304$ He II.

L'accord entre le nombre d'atomes H obtenu pour la composante centrale piquée de $L\alpha$ solaire et le nombre tiré de la luminescence nocturne n'est pas parfait, mais les ordres de grandeur sont concordants (F. S. Johnson, C.L.). D'ailleurs, comme l'a rappelé T. Gold (C.L.), on a parfois imaginé une 'queue' de la Terre, dans la direction opposée au soleil (quelque peu semblable à une queue cométaire); une abondance plus grande de l'H 'nocturne', comparé à l'H diurne, serait alors compréhensible; un courant d'H neutre pourrait, peut-être, provenir du 'vent solaire' (F. S. Johnson, C.L.).

L'existence d'une fluorescence intense $L\alpha$ de l'hydrogène géocoronal (ou interplanétaire) complique l'observation de $L\alpha$ dans les sources célestes. Cette fluorescence peut, toutefois, être, en grande partie éliminée, étant donné qu'elle doit certainement avoir un profil très étroit. Un tube d'absorption contenant de l'hydrogène atomique pourrait servir de filtre. En interceptant toute ou presque toute la fluorescence $L\alpha$, on pourrait mesurer l'émission $L\alpha$ d'étoiles ou nébuleuses qui devrait avoir un profil beaucoup plus large que la fluorescence absorbée (H. Friedman, C.L.). La portion absorbée serait d'ailleurs, elle-même, diffusée et pourrait être mesurée par un détecteur placé sur le côté du tube. H. Friedman (C.L.) suggère de produire l'hydrogène atomique au moyen d'un filament incandescent de tungstène qui dissocie l'hydrogène moléculaire. De tels tubes à hydrogène atomique ont été réalisés. Une autre technique (Friedman, C.L.) emploierait des spectrographes à échelle pour $L\alpha$; des fentes,

(*) Dans cette note, les auteurs comparent les vues de S. Chapman, de E. N. Parker et les leurs sur l'extension de la couronne solaire et sur le 'vent' (ou la 'brise') solaire.

suivies de photodétecteurs, pourraient séparer la partie centrale et les ailes. La fente centrale mesurerait la composante diffusée par résonance, non déplacée par effet Doppler; les ailes donneraient les composantes déplacées par effet Doppler (cas d'une émission interplanétaire), ainsi que le rayonnement L_{α} d'étoiles ou nébuleuses.

Les observations du rayonnement ultra-violet des étoiles ont, jusqu'ici, été effectuées en dehors de L_{α} . Boggess et Dunkelmann ont photométrié le ciel, par fusée, de $\lambda 2530$ à $\lambda 2880$ avec maximum en $\lambda 2700$; ils ont observé des étoiles et déterminé les indices de couleurs $\lambda 2700$ -visual, mais ce travail doit être continué et, surtout, étendu à de plus courtes longueurs d'onde. En fait, une série de bandes passantes devrait être choisie, de $\lambda 2700$ aux rayons X.

Un lancer d'Aerobee-Hi, le 26 mai 1960 a fourni d'intéressantes informations décrites par E. T. Byram, T. A. Chubb et H. Friedman (C.L.). L'instrumentation comportait huit télescopes, dont deux donnèrent d'excellents résultats*. L'altitude maximum fut 200 km. Le télescope de 15 cm, $f1.5$, contenait un détecteur à chambre d'ionisation pour le domaine 1350-1600; l'autre de 10 cm, $f1$, couvrait 1285-1350. Une quinzaine d'étoiles ont été détectées; elles sont du type B chaud. De nouvelles observations sont désirables, avant de discuter les intensités absolues mesurées. Remarquons que, pour $\lambda > 1285$, on n'a observé aucun cas clair d'émission par une nébulosité; une intensité 3×10^{-5} erg cm^{-2} sec^{-1} ster^{-1} aurait été décelée dans chacun des deux intervalles spectraux.

Les observations sur le rayonnement ultra-violet de zones étendues ont donné lieu à une controverse. L'état de la question a été exposé récemment par H. Friedman (C.L. et 17) et par A. Boggess III (C.L.). Jusqu'ici, à cause de l'intense fluorescence géocoronale L_{α} on n'a observé aucune nébulosité dans une région spectrale contenant L_{α} . D'après l'observation du paragraphe précédent, une émission éventuelle est confinée à $\lambda < 1285$. Les observations ont seulement été faites dans une région 1225-1350 (noter que $L_{\alpha} = 1216 \text{ \AA}$), d'abord en employant des compteurs de photons, ensuite au moyen de chambres d'ionisation. Pour limiter le champ, on a d'abord utilisé de petits tubes-collimateurs; en 1959, NRL a employé un télescope parabolique, hors d'axe de 10 cm d'ouverture, avec champ au foyer de 1.5 degrés carrés (premier emploi d'un télescope en astronomie par fusée!).

Le premier lancer, du 17 novembre 1955, révéla plusieurs régions brillantes, près de γ Vel, ζ Pup, α Leo et η UMa; mais, à cause de la faible résolution (champ de 20°), il était impossible de décider si le rayonnement était d'origine stellaire ou nébulaire.

Un deuxième lancer, du 28 mars 1957, retrouva les mêmes sources, mais avec un diamètre apparent; de plus, de brillantes régions furent trouvées dans Orion, autour de α Vir et dans toute la Voie Lactée d'hiver. On ne détectait pas d'étoile. Le champ couvert avait un diamètre de 3° à mi-maximum. La plus intéressante émission qui entourait *Spica* (α Vir) était à peu près circulaire et avait un diamètre apparent considérable.

Le lancer de novembre 1959, utilisant le télescope révèle, au moins, sept étoiles apparaissant comme sources ponctuelles et un nombre à peu près égal de taches nébuleuses. Nous avons dit, plus haut, que le lancer du 26 mai 1960 n'avait révélé aucune nébulosité dans le domaine de 1285 à 1600.

Un lancer de mai 1960, avec détecteur à champ de 2° , confirme la nébuleuse de *Spica*, qui

(*) Il y avait aussi deux compteurs de Geiger sensibles aux domaines 8-18 \AA et 44-60 \AA ; angle solide couvert: 1000 degrés carrés. Aucune émission X n'a été observée. Le flux était sûrement inférieur à 2.1×10^{-7} erg cm^{-2} sec^{-1} pour le voisinage de 10 \AA et à 5.0×10^{-7} erg cm^{-2} sec^{-1} pour le voisinage de 50 \AA . L'expérience devra être reprise par satellite, avec de plus longs temps d'observation.

serait beaucoup plus brillante que le minimum décelable pour la région 1285-1350 dans l'expérience du 26 mai 1960. D'après Boggess, cette nébuleuse très brillante dans la région 1225-1350 a un diamètre apparent d'environ 9° . Elle ne correspond à aucune nébulosité visible, même faible, comme l'ont vérifié les observations photoélectriques de Liller et photographiques de H. M. Johnson. L'estimation de l'émission ultra-violettes moyenne dans la nébuleuse est 2×10^{-23} erg cm^{-3} sec^{-1} . Il faut essayer de trouver l'explication d'une telle émission ultra-violettes, en l'absence de toute émission visible.

Afin d'avoir une idée de la distribution d'intensité entre 1225 et 1350, Boggess compare la variation de l'intensité totale reçue au cours du trajet de la fusée dans l'atmosphère avec la distribution spectrale du coefficient d'absorption de N_2 . Il semble y avoir une indication en faveur d'un centre de gravité de l'émission vers 1260-1280. Il faut donc expliquer une forte émission d'énergie dans cette région, alors que *Spica*, elle-même, n'est pas détectée. En revanche, dans un lancer du 23 juin 1960, on a observé ϵ Per ($m_{\text{vis}} = 2.9$; $B = 0.5$ V) sans nébulosité.

Pour l'explication, on est tenté de penser au système de Lyman de H_2 ; Max Krook a suggéré qu'il pourrait s'agir d'une diffusion Raman de La par H_2 , mais une telle émission serait-elle confinée entre 1225 et 1285? Bien entendu, d'autres possibilités ne sont pas exclues, comme l'éventualité que l'émission nébulaire ne serait, en fait, pas associée à *Spica* (R. M. Petrie, C.L.); mais il reste, quelque soit la distance de la nébuleuse, à trouver le mécanisme d'excitation! On est certes anxieux d'avoir un vrai spectre de cette nébuleuse dans la région spectrale en cause; une intervention de H_2 serait d'un intérêt passionnant.

Friedman (17) avait tenté de concilier les observations apparemment contradictoires de mars 1957 (présence de nébuleuses UV sans détection d'étoiles chaudes) et de novembre 1959 (présence de sources ponctuelles et de nébuleuses); le flux observé pour la région nébuleuse d'Orion était, d'ailleurs, beaucoup plus faible et de surface beaucoup plus petite en 1959 qu'en 1957. Friedman avait invoqué la variation, en fonction de la température, du seuil de transmission de la fenêtre en fluorure de calcium des détecteurs. Ce seuil qui était supposé se trouver en λ_{1225} se déplace de 10 \AA vers les courtes longueurs d'onde pour une diminution de 30° de la température. L'importance de la température du filtre n'était pas connue lors des lancers de 1955 et 1957. Si, en 1957, le filtre était froid, il est possible qu'il ait laissé passer une partie d'une émission large La , alors qu'un filtre chaud, en 1959, aurait arrêté ce rayonnement. Les nébulosités observées seraient donc simplement La élargi. Par exemple, la majeure partie de l'émission de la nébuleuse d'Orion serait, en fait, une raie large La , alors que les signaux stellaires seraient dus au continuum. Friedman conclut que de nouvelles expériences doivent être effectuées et qu'on peut, à présent, 'utiliser' la variation du seuil de transmission du filtre. On peut imaginer que la raie intense et large La serait produite dans une éjection corpusculaire. Cette hypothèse suggérée par Fesenkov et Masevitch pour l'évolution stellaire dès 1949, puis envisagée par de nombreux chercheurs, notamment par Struve dans le cas des binaires, a été appliquée à la nébuleuse de *Spica* par Shklovsky (18). De son côté, Boggess (C.L.) ne pense pas que la température de la fenêtre puisse avoir baissé de façon importante et que l'émission de *Spica* puisse être due à La .

De nouvelles observations résoudront sûrement bientôt cet important problème.

En résumé, les fusées ont révélé des émissions solaires jusque 80 \AA , mais on ne connaît encore que très imparfaitement le spectre de 500 à 80 \AA . On espère avoir bientôt de meilleures informations sur cette région, ainsi que sur le spectre des raies X. Par l'emploi d'échelles ou d'autres procédés de haute résolution, on aura bientôt les profils de plusieurs raies solaires, comme on a pu le faire pour La . On espère régler, dans un avenir rapproché, la controverse relative aux émissions ultra-violettes des nébuleuses. On a poussé l'étude ultra-violettes des

flambes, à peu près aussi loin que le permettent les fusées. On fera encore, par fusée, d'intéressants progrès sur les dosages absolus des divers rayonnements solaires, sur le spectre de la couronne de $\lambda 3000$ à $\lambda 1500$, sur les spectrohéliogrammes dans des raies autres que $L\alpha$ (notamment $O VI$ correspondant à la haute chromosphère ou basse couronne; $L\beta$ émise plus bas que $L\alpha$; $Ne VIII$ et $Mg X$ coronales ou presque; $He I$; $He II$), sur les rayonnements ultra-violet de quelques étoiles, etc. N'oublions pas que certaines fusées spéciales peuvent être équipées et rapidement lancées pour étudier des phénomènes inattendus, comme une éruption brillante de super-nova. Mais pour encore progresser de façon substantielle, il faudra utiliser les satellites astronomiques, comme nous le verrons aux sections V et VI.

Pourtant, il reste certes encore beaucoup de contributions astronomiques à espérer des fusées. Nous allons passer en revue quelques projets en préparation. Le NRL, le NASA, le groupe de Rense et le groupe d'Hinteregger continueront naturellement leurs travaux dont nous avons résumé les principaux fruits. Il en sera de même des groupes soviétiques. En préparation à des observations sur satellites, plusieurs groupes d'astronomes américains vont effectuer des expériences par fusées. Ces essais leur fourniront de l'expérience pour la construction des instruments astronomiques opérés à distance.

Le Smithsonian Astrophysical Observatory (F. L. Whipple, R. J. Davis, C.L.) va essayer une réduction de son 'céslescope' (voir section V) dans une fusée Aerobee-Hi, avec les techniques de télévision avant d'envoyer l'original dans un satellite. Le miroir hors d'axe aura 7.5 cm de diamètre et 30 cm de distance focale; le détecteur sera un tube 'uvicon' sensible à l'ultra-violet; le champ sera de 4 degrés carrés; il est espéré que l'on couvrira une bande d'environ $4^\circ \times 200^\circ$ en un temps d'observation d'environ cinq minutes et que 40 ou 50 étoiles et des nébuleuses seront ainsi observées dans cinq domaines spectraux.

Le groupe de Princeton (L. B. Spitzer, J. B. Rogerson, C.L.) en préparation de son télescope orbitant destiné à la spectroscopie de haute résolution (notamment pour les raies interstellaires ultra-violettes, voir section V) compte envoyer, en 1962, un télescope de 25 cm d'ouverture dans une fusée Aerobee 150 Å de NASA, afin d'enregistrer le spectre, à dispersion modérée, d'une étoile brillante chaude de 1000 à 3000 Å. Cette expérience fournirait les caractéristiques spectrales essentielles et le flux ultra-violet d'une étoile chaude, un facteur important pour préparer l'instrument pour le satellite. Le contrôle sur l'étoile aura une précision de $10''$; le spectromètre à réseau objectif sera exploré photoélectriquement avec une résolution d'environ 1 Å.

De même, le groupe solaire américain (L. Goldberg, W. Liller, C.L.) va utiliser un Aerobee-Hi comme véhicule d'essai.

Des projets de collaboration internationale sont en discussion, notamment à l'échelle européenne. Nous espérons qu'ils auront pris forme avant le Congrès de Berkeley.

Les chercheurs français (J. Blamont et J. C. Pecker, C.L.) basent leurs programmes astronomiques sur la fusée Véronique (qui peut amener une charge utile de 60 kilos à 180-200 km), ainsi que sur des fusées à l'état de projet qui pourront s'élever à 1000 km. Jusqu'ici, les tirs de Véronique ont surtout eu un but géophysique; par éjections de Na pur et de mélanges Na + K ou Na + Li ou par explosions de tolite exogène, on a pu étudier les températures et mouvements de la haute atmosphère. Les chercheurs français préparent d'importants projets de physique solaire: photométrie du soleil dans l'ultra-violet proche (notamment assombrissement centre-bord entre 3000 et 2000 Å); spectrographie de la couronne dans l'ultra-violet (un coronographe à miroirs est à l'étude); photométrie des raies et continua dans l'ultra-violet lointain; profil de $L\alpha$ solaire par une méthode nouvelle. Celle-ci consistera à exciter dans une cuve contenant des atomes d'hydrogène, la résonance de la raie $L\alpha$. La cuve étant à basse

température, le profil de la raie obtenue sera beaucoup plus étroit que celui de la raie solaire. On pourra obtenir le profil de L_{α} solaire en le balayant par déplacement de la raie de résonance par un champ magnétique d'environ 15 000 gauss. L'hydrogène atomique à basse température est obtenu par dissociation de H_2 par collisions avec des atomes de Hg excités, au sein de la cuve, par la raie de résonance $\lambda 2537$ émise par une lampe à mercure auxiliaire.

Les chercheurs britanniques ont, à leur disposition, d'excellentes fusées Skylark, lancées à Woomera (Australie), qui peuvent porter une charge utile de 50 kilos à 160 km de hauteur. A bord de celles-ci, des mesures des intensités de L_{α} solaire et des rayons X mous de divers domaines spectraux entre 2 et 20 Å ont été effectuées; nous avons déjà mentionné ces travaux plus haut (A. P. Willmore, C.L.). D'autres travaux sont en préparation (H. E. Butler, C.L.): une camera en quartz focalisée à $\lambda 1700$ (D. W. O. Heddle, C.L.); un télescope Schmidt-Cassegrain d'ouverture 10 cm et focale 30 cm avec prisme-objectif de petit angle (Butler). Ces instruments prendront des photos et spectres ultra-violettes d'étoiles australes. On prépare aussi l'exploration du ciel austral au moyen d'un ensemble de détecteurs-photomultiplicateurs sensibles de 1500 à 2500 Å, sans télescope, en employant de simples collimateurs mécaniques (Heddle). Un télescope de 12.5 cm. adapté à la radiation de résonance géocoronale L_{α} a été construit en Grande Bretagne et sera lancé prochainement. Un procédé de stabilisation de la fusée Skylark est en bonne voie de développement.

Les chercheurs australiens et canadiens utilisent surtout leurs tirs de fusées dans des buts géophysiques. Il en est de même des japonais qui ajoutent des mesures de rayonnement solaire. Nous n'avons guère d'information sur les travaux éventuellement effectués dans d'autres pays.

V. SATELLITES

Les situations en ce qui concerne les observations astronomiques par satellites (y compris les sondes spatiales) et par fusées diffèrent radicalement. Certes, on a obtenu déjà quelques résultats astronomiques spectaculaires au moyen des satellites ou sondes spatiales: celui qui, à juste titre, a le plus frappé les esprits est l'observation de la face cachée de la lune. Nous examinerons plus loin quelques résultats astronomiques obtenus par les satellites. Il n'en est pas moins vrai que, en ce moment (décembre 1960), nous sommes essentiellement, en ce qui concerne les observations astronomiques par satellites, au stade des projets et des préparatifs. Au contraire, les fusées qui, en une douzaine d'années, nous ont fourni une somme considérable de résultats essentiels ont un rendement astronomique décroissant et on se rend compte que, bientôt, les grands progrès astronomiques viendront des satellites.

Les très nombreux travaux effectués dans plusieurs pays sur les orbites des satellites ne seront évidemment pas discutés ici. En plus de leur intérêt théorique pour la mécanique céleste, ils ont fourni d'importantes informations sur la haute atmosphère, l'ionosphère et les ceintures de Van Allen, ainsi que sur leurs variations en fonction de l'activité solaire. La théorie des effets de la pression de radiation sur les orbites a été développée, vérifiée sur Vanguard, puis étudiée en détail grâce au satellite Echo, où cet effet est devenu spectaculaire (diminution du périégée de plusieurs km par jour). Grâce aux orbites de satellites, on a aussi beaucoup progressé dans la connaissance du champ gravifique terrestre; des dizaines de travaux ont été publiés dans ce domaine depuis 1958. NASA envisage un satellite destiné à rechercher les changements séculaire et périodiques du champ de gravitation terrestre. Les satellites ont suscité un renouveau d'intérêt pour la mécanique céleste; petit à petit, il en sortira des valeurs plus précises des constantes astronomiques du système solaire.

G. M. Clemence (19) a récemment discuté les possibilités fondamentales ouvertes en mécanique céleste, par des satellites à caractéristiques bien choisies et par les nouvelles

méthodes de mesure de distances et vitesses fournies par les techniques de radar ou apparentées. Les premières questions concernent la gravitation: le potentiel gravifique de la terre dépend-il de sa vitesse? La 'constante' de gravitation possède-t-elle une variation séculaire? Il faudrait, pour cela, un satellite pas trop éloigné de la terre, mais en dehors du frottement atmosphérique. Mais quel périégée cette condition implique-t-elle? De 1 500 ou 15 000 km? Il faut, en tout cas, que le milieu résistant absorbe moins qu'une fraction 10^{-8} de l'énergie du satellite par an. Comme on ne peut être sûr que le frottement sera nul, même à 15 000 km, le mieux serait de lancer, de la même fusée, deux satellites ayant des orbites et des formes aussi identiques que possible, mais dont l'un serait plus lourd que l'autre. On pourrait mesurer le freinage différentiellement et en tenir compte. Il faudrait alors mesurer ce (ou ces) satellite pendant plusieurs années et essayer de détecter une variation annuelle de la période de révolution du satellite (précision requise: 10^{-10} , ce qui est possible).

Le test de relativité généralisée, soutenu par NASA, consiste à comparer une horloge dans un satellite à une horloge terrestre; les plans de cette expérience sont très avancés; le travail est en cours sur les horloges atomiques.

Il faudrait ensuite améliorer le système des vingt constantes astronomiques, en retenant spécialement la parallaxe solaire, la constante d'aberration, les ellipticités mécaniques de la terre et de la lune et les rapports des masses terre-lune-soleil. La parallaxe solaire ne mériterait pas, à elle seule, une planète artificielle (sonde spatiale, voir section VI), mais une telle planète présenterait un grand intérêt pour d'autres buts. La mesure précise de sa distance par radar fournirait des constantes précises de l'orbite de la terre, ainsi que la masse de la lune. Pour la détermination de l'ellipticité mécanique de la lune, il faudrait un sous-satellite de la lune dont on suivrait l'orbite.

Nous allons maintenant passer en revue les principaux projets d'intérêt astrophysique, en commençant par les projets américains pour lesquels nous avons reçu le plus d'informations. Evidemment, les groupes de chercheurs rencontrés dans la section IV (NRL, Colorado, U.S. Air Force Cambridge Research Center) continueront leurs études par satellite, dans toute la mesure du possible. En fait, la plupart des observatoires et laboratoires de physique, de même que de nombreux organismes industriels participent aux projets spatiaux.

Projets Américains

Projets généraux de NASA (National Aeronautics and Space Administration) (N. G. Roman, C.L.). Etant donné la masse énorme d'information astronomique qui pourra être acquise par satellite, NASA, qui favorise, coordonne et organise les lancers de satellites à but scientifique, projette de lancer, à peu près chaque année, deux satellites de types différents. Le premier type (S 16, voir projet solaire ci-dessous) de charge utile moyenne, est conçu surtout pour les recherches solaires; son premier exemplaire pourra être lancé en 1961. Le second type ('Orbiting Astronomical Observatory') plus grand et plus complexe, sera adapté soit au travail solaire, soit aux observations stellaires; le premier de cette série pourra, probablement, être prêt en 1963. Le premier type aura une charge utile de 50 kilos d'instruments astronomiques, pouvant rester pointés sur le soleil à 1' près; le volant gyroscopique de stabilisation pourra aussi contenir environ 50 kilos d'appareillage scientifique qui balayera un cercle de la sphère céleste. Le second type pourra porter une instrumentation astronomique de 300 à 350 kilos; il permettra de pointer une étoile à une fraction de seconde d'arc près pendant une durée de l'ordre d'une heure*. L'instrumentation pourra passer d'une étoile à une autre, soit par

(*) D'après Miss Roman (C.L.) on n'utilisera pas la haute précision du pointé et du guidage pour l'obtention d'images de planètes ou champs stellaires avant que ne soient développés des tubes-images suffisamment fins; ceci prendra, peut-être, encore longtemps.

contrôle du sol, soit par commandes emmagasinées dans le satellite. Ce type de satellite permettra l'installation de télescopes allant jusqu'à 90 cm de diamètre*.

Pour un avenir plus lointain, on envisage des télescopes de plus grande dimension sur orbites proches, ou un télescope de l'ordre de 90 cm sur une orbite de 24 heures ou, enfin, un petit télescope sur la lune. Mais ce sont là des projets éloignés, au sujet desquels une décision sera prise sur la base de l'expérience acquise grâce aux télescopes orbitants plus modestes.

Projets américains de physique solaire (L. Goldberg, C.L.). Les problèmes essentiels à couvrir résultent très clairement des résultats obtenus par les fusées. Ce sont:

- (a) les spectres d'émission dans l'ultra-violet (examen des variations des émissions de haute énergie de la chromosphère et de la couronne; notamment durant les phénomènes solaires rapides; spectres de régions déterminées);
- (b) émission X (spectres de résonance des atomes coronaux très ionisés; obtention d'images X durant les périodes d'activité);
- (c) profils de raies (la variation du profil de L_{α} fournira des informations précieuses sur l'atmosphère solaire et l'hydrogène voisin de la terre; on désire aussi les profils de raies autres que L_{α});
- (d) spectro-héliogrammes dans l'ultra-violet (surtout en L_{α} , $\lambda 584$ He I et $\lambda 304$ He II; on doit s'efforcer de résoudre des détails de quelques secondes d'arc);
- (e) courbe d'énergie et obscurcissement au bord dans l'ultra-violet;
- (f) observations coronales;
- (g) rayons γ (cette étude exige des techniques spéciales pour la résolution angulaire et spectroscopique; elle promet des résultats fondamentaux sur les réactions nucléaires).

On commencera par un petit satellite, appelé S 16 à lancer par une fusée Thor-Delta en 1961; sa vie utile serait de l'ordre de six mois; son orbite à environ 500 kilomètres d'altitude. On placera dans la partie pointée et guidée: un instrument de E. Todd et W. A. Rense qui enregistrera continuellement le profil de L_{α} (pour détails instrumentaux, voir W. A. Rense, F. E. Stuart et E. P. Todd, C.L.); une installation de Behring et Hallam pour la spectroscopie des rayons X mous. Pour un second lancer en 1962, on prévoit, dans la partie guidée, deux spectromètres à exploration couvrant les régions $\lambda 1600$ - $\lambda 500$ et $\lambda 600$ - $\lambda 75$ (L. Goldberg et W. Liller) et, peut-être, un télescope à rayons X (instrument proposé par B. Rossi et R. Giacconi, donnant de bonnes images de petites sections solaires, dans la région de 3 à 8 Å; résolution d'un milliradian). Les parties du S 16 qui ne seront pas pointées avec précision contiendront d'autres instruments pour: l'émission de rayons γ mous (J. R. Winckler et L. Peterson); la détection des rayons γ solaires de 100 à 500 MeV (G. V. Fazio et M. P. Savedoff); un moniteur de neutrons (W. Hess); un discriminateur protons-électrons (Bloom); un appareil à collimation de $1 \frac{1}{4}$ degré pour la région 10 à 100 KeV (K. Hallam); un appareil à rayons γ mous de 100 KeV à $1 \frac{1}{2}$ MeV (K. Frost et W. White); une chambre d'ionisation pour mesure auxiliaire des rayons X mous (W. Behring).

Sur la base de l'expérience obtenue grâce au S 16, on décidera de l'instrumentation définitive pour le gros télescope à capacité instrumentale de 300 kilos et précision de pointé supérieure à la seconde d'arc. Vraisemblablement, ce véhicule comportera notamment, outre un télescope, un spectromètre de haute dispersion, à exploration de 75 à 3000 Å (couvert par trois systèmes dispersifs: 3000-1500; 1600-500; 600-75), des spectromètres et télescopes pour rayons X, des spectrohéliomètres à grande résolution angulaire, un coronographe et des antennes et

(*) L'Ames Research Center (R. M. Crane) étudie l'installation, sur satellite NASA, d'un télescope de 90 cm destiné aux observations astronomiques.

récepteurs de radio (bande de 1 à 10 Mc). L'opération de cet observatoire serait réglée du sol par radio, aussi bien pour le pointage vers une région donnée du soleil, que pour le choix de la région spectrale.

Pour les détails instrumentaux et techniques, nous renvoyons aux articles de L. Goldberg (C.L. et 20) et de W. Liller (C.L.).

Projets américains de levés d'ensemble ('surveys') (F. L. Whipple, R. J. Davis, C.L.). Une des premières étapes de l'astronomie ultra-violet par satellite doit être un levé du ciel (genre BD et HD), suffisamment sensible pour permettre de sélectionner, plus tard, des objets méritant une attention particulière dans l'ultra-violet. Ce levé par télévision, a été confié à l'Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution, qui s'occupe activement de la préparation des expériences depuis trois ans. Nous avons indiqué, dans la section IV, l'essai préliminaire que Whipple et ses collaborateurs feront en fusée Aerobee-Hi; cet essai, employant aussi la télévision, est en bonne voie de préparation.

Le premier satellite, lui-même, sous contrôle de NASA (type 'Orbiting Astronomical Observatory'), sera, sans doute, lancé en 1963. L'Observatoire Smithsonian y placera trois télescopes de 30 cm de diamètre (champ de 4 degrés carrés), qui couvriront les régions 1230-1600, 1600-2200 et 2200-3000, séparées par des filtres optiques. Un quatrième télescope aura un spectroscopie sans fente, opérant de 1050 à 3000, avec une résolution de 10 Å. Les tubes-images de télévision 'Uvicon' développés par Westinghouse seront sensibles à l'ultra-violet; ils seront de trois types, suivant le domaine spectral couvert. Il semble bien que l'installation—intitulée 'célescope'—permettra de détecter 200 000 étoiles dans les trois domaines ultra-violets, ainsi que 2000 étoiles au spectroscopie sans fente.

Pour les détails techniques et instrumentaux, nous renvoyons à C.L. et à (21).

Dans de futurs 'célescopes', on espère installer des systèmes optiques pour rayons X, basés soit sur les plaques à zones de Fresnel, soit sur des miroirs croisés à incidence rasante. Smithsonian envisage aussi divers types de spectroscopes à fente.

Le premier satellite portera aussi une installation de photométrie photo-électrique multicolore de l'Université de Wisconsin, destinée à un levé photométrique ultra-violet des étoiles brillantes, plus précis que celui de Smithsonian. A. D. Code (22) compte étudier, par spectrophotométrie à faible résolution, les distributions d'énergie dans des étoiles et les intensités des raies d'émission de nébuleuses planétaires et diffuses (nous avons déjà insisté, plus haut, sur la nécessité particulière d'explorer la 'nébuleuse ultra-violet' de *Spica*). La loi du rougissement interstellaire dans l'ultra-violet sortirait de l'étude de ces observations et fournirait de précieuses informations sur l'indice de réfraction et les diamètres des grains interstellaires. On pourrait aussi contribuer à notre connaissance des atmosphères des planètes (notamment Vénus) et de la lumière zodiacale par des mesures photo-électriques avec filtres et polariseurs dans un vaste domaine de longueurs d'onde.

Le Goddard Space Flight Center projette aussi d'effectuer la spectrophotométrie absolue d'astres (étoiles aussi bien qu'objets étendus). Il utiliserait, pour cela, un télescope Cassegrain de 90 cm, alimentant un spectromètre à réseau à exploration photo-électrique.

W. A. Baum (22) collabore aussi à ce projet. Il compte effectuer la mesure du rayonnement intégré de quelques sections du ciel, dans diverses régions de l'ultra-violet, en vue de discuter le paradoxe classique d'Olbers.

On prépare aussi, par petit satellite, un levé du ciel en radiation γ de 100 MeV (Kraushaar, MIT). Le champ sera d'environ 15°. Naturellement, l'instrument enregistrera aussi le rayonnement γ solaire (s'il existe). Pendant la première semaine, l'instrument sera recouvert d'un

écran en tungstène et ne sera alors sensible qu'aux neutrons, dont on pourra ainsi éliminer l'effet ultérieurement.

Projets américains de spectrométrie à haute résolution, notamment en vue de l'étude des raies ultra-violettes d'absorption interstellaire. Nous avons insisté, dans la section II, sur l'importance considérable d'observations spectrophotométriques précises des raies ultra-violettes interstellaires. L'Observatoire de Princeton (L. Spitzer et J. B. Rogerson, C.L.) consacre ses efforts à la préparation d'un équipement destiné à une telle étude, qui serait placé sur un satellite du programme NASA (type 'Orbiting Astronomical Observatory') pouvant être lancé en 1965. Nous avons, dans la section IV, indiqué l'expérience préliminaire en fusée que prépare L. Spitzer.

La mesure des largeurs équivalentes et des profils, ainsi que la séparation des composantes des raies interstellaires exigent une haute résolution. Le groupe de Princeton a choisi un spectrographe concave à rayon d'un mètre, installé en montage Paschen-Runge, donnant une résolution de 0.1 \AA . Le domaine spectral ira de 800 à 3200 \AA . Il y aura donc, du côté des grandes longueurs d'onde, un recouvrement avec les observations au sol; quant à la limite de courte λ , elle permettra de vérifier la prédiction que l'espace interstellaire est opaque en dessous de 912 \AA . Les observations seront faites au moyen de cellules montées derrière des fentes de sortie explorant le spectre; il y aura deux phototubes, un pour la région de 800 à 1600 \AA , l'autre allant de 1600 à 3200 \AA . L'électronique de comptage des pulses, l'emménagement des données et le procédé de codage des observations sont à l'étude. Le télescope alimentant le spectrographe aura un miroir primaire $f/3$ de 60 cm (de haute résolution ultra-violette), opérant en Cassegrain $f/20$; le miroir serait en silice fondue (voir section I pour les possibilités des miroirs métalliques). Il semble bien qu'on atteindra les intensités des raies interstellaires des étoiles chaudes, de magnitude visuelle 5, avec une précision de 1%, en intégrant pendant une minute sur chaque bande passante. Comme la fente d'entrée du spectrographe soutiendra un angle de 0.1 du ciel, il faudra assurer au satellite une précision de pointé du même ordre.

Une étude technique et instrumentale très poussée a été publiée par L. Spitzer¹. Le satellite serait placé, soit en dessous des zones de Van Allen (800 km, période 101 min), soit au-dessus (36 000 km, période 24 heures). Même en dehors de la question des particules piégées, ces orbites sont logiques: à 800 km, la résistance de l'air est devenue négligeable (densité; ordre de $10^{-16} \text{ g cm}^{-3}$) et à 36 000 km (densité: ordre de $10^{-21} \text{ g cm}^{-3}$), une orbite de 24 heures, à peu près équatoriale permettrait l'observation à partir d'une station au sol, pendant un temps long. L'érosion des miroirs par les micrométéorites serait, sans doute, inférieure à 100 \AA par an (23). On pense que, moyennant certaines pièces en double, le télescope pourrait servir pendant un an; sans aller jusqu'à envisager qu'on pourrait envoyer un technicien effectuer une réparation, on peut espérer, dans certaines limites, pouvoir agir par contrôle à distance! Le télescope orbitant actuellement étudié tiendrait dans un cylindre de 2.1 m de diamètre et de 1.8 m de longueur.

Les études à haute résolution spectroscopique seront évidemment importantes dans de nombreux domaines autres que l'absorption interstellaire. On imagine aisément, par exemple, l'intérêt de l'étude spectroscopique ultra-violette—même à faible résolution—des étoiles anormales, notamment des étoiles montrant des raies d'excitation élevée, comme certains objets symbiotiques.

Projet américain de grand télescope. Ce programme est surtout à l'étude à l'Observatoire AURA de Kitt Peak (A. B. Meinel, C.L.), sous les auspices de la National Science Foundation. Le télescope orbitant d'environ 125 cm d'ouverture ne pourrait être lancé avant 8 ou 10 ans; il exigerait une fusée de la classe Saturne, capable de lancer une charge utile de l'ordre de deux

T*

tonnes. Ce télescope, qui devrait atteindre le pouvoir de résolution théorique, alimenterait divers instruments de recherches.

Le choix d'ouverture est quelque peu arbitraire et on sera, peut-être, amené à le modifier. Trois facteurs ont conduit à ce choix:

- (a) une telle ouverture permettrait une résolution nettement plus grande que tout ce qui est possible à la surface de la terre(*)
- (b) le poids d'un tel télescope est compatible avec les possibilités qu'on peut envisager pour les fusées américaines, d'ici cinq ans;
- (c) les problèmes d'optique et de technique rencontrés sont typiques pour les télescopes puissants qui seront inévitablement requis comme futurs outils de recherches spatiales.

Quoiqu'il s'agisse d'un projet à longue échéance, on peut espérer que les études contribueront à l'effort général, dirigé par NASA.

L'orbite choisie a une période de 24 heures. Une telle période a trois avantages: le contrôle et la réception des transmissions sont facilités (long temps d'accès à une seule station); la haute altitude minimise les perturbations d'origine terrestre; le faible angle sous-tendu par la terre ($<20^\circ$) permet un système permanent de référence stellaire et l'observation continue de la plupart des objets célestes.

Le télescope est essentiellement prévu pour cinq types d'observation: spectrométrie dans l'ultra-violet et l'infra-rouge, photométrie multicolore à domaine étendu, photométrie bolométrique, système de télévision à grossissement variable pour études d'objets célestes, à haute résolution optique.

Le pointage précis se fera par un 'astro-guider' fournissant un système de référence stellaire. Le guidage précis du télescope atteindra une fraction de microradian, probablement $0''\cdot 1$. Dans une phase initiale, on installera sur Kitt Peak un réflecteur de 70 cm d'ouverture dont on contrôlera les opérations à distance. Il est possible aussi qu'un tel réflecteur de 70 cm, à haute résolution, puisse, dans une phase préliminaire, être placé sur un 'Orbiting Astronomical Observatory' NASA.

Nous renvoyons pour les descriptions techniques et instrumentales à l'article de Meinel (C.L.).

Projets américains de radio-astronomie par satellite. N. G. Roman (24) a signalé récemment le 'Orbiting Radio Astronomy Project' consacré à la mesure de l'émission radio du ciel dans la région de 0.2 à 20 Mc normalement réfléchi par l'atmosphère terrestre. L'espoir est émis que ce projet comprendra aussi, plus tard, une instrumentation permettant d'établir un pont entre l'astronomie radio et optique, grâce à des observations aux longueurs d'onde inférieures à 4 mm. Certaines observations dans ce domaine peuvent d'ailleurs être effectuées en ballon ou en avion à haute altitude.

A l'Observatoire Harvard, A. E. Lilley et G. R. Huguenin ont développé plusieurs radio-télescopes opérant à des fréquences inférieures à 20 Mc, en vue de l'étude du spectre radio cosmique inobservable à partir de la terre.

Pour les premières expériences de radio-télescopie spatiale deux programmes essentiels ont été fixés:

(*) Avec un miroir de 50 cm, on peut obtenir, en ballon, des photos avec une résolution de $0''\cdot 25$. Une telle résolution est rarement, mais parfois, obtenue sur terre. Du point de vue résolution, il faut qu'un télescope orbitant fasse gagner au moins un facteur 2, ce qui exige une ouverture d'au moins un mètre.

1. Observer le spectre calme ou la distribution d'intensité du rayonnement à un certain nombre de fréquences entre 13·25 Mc et 100 kc, grâce à des récepteurs installés sur des sondes ou satellites; fréquences initiales choisies: 700 kc, 2·2 Mc, 7 Mc et 13·25 Mc; observation espérée: celle du rayonnement synchrotron supposé de la galaxie.

2. Balayer, dans le même domaine de fréquences, de manière à étendre le domaine des éruptions solaires dynamiques; on a installé, à l'île San Salvador, des émetteurs basses fréquences, opérant sur les mêmes longueurs d'onde que les radiomètres des télescopes spatiaux afin d'être renseigné au sujet de l'ionospheric leakage' éventuel de stations radio terrestres.

Ce programme fera l'objet de deux premiers lancers en 1961; des activités plus étendues en 1962 et 1963 sont en préparation.

J. W. Findlay (National Radio Astronomy Observatory) a suggéré un système permettant de faire un levé du ciel et des radio-sources individuelles à une longueur d'onde de trois km, avec une résolution angulaire de 1'; ce système équivaldrait à un jeu effectif d'antennes d'environ 10 000 km d'étendue. Il consisterait à appliquer le principe de la 'synthèse d'ouverture' à deux antennes, placées chacune dans un satellite terrestre, le premier à orbite polaire, l'autre à orbite équatoriale; les périodes seraient presque, mais pas tout à fait, les mêmes.

Le groupe de l'Université de Michigan (F. T. Haddock) prépare deux expériences à effectuer à haute altitude, dans la bande de 0·1 à 30 Mc: l'une concernera la distribution spectrale du bruit cosmique, l'autre étendra le spectre des éruptions solaires en dessous de la limite inférieure actuelle de fréquences.

Il y a, certes, beaucoup à faire en radio-astronomie par satellite. Tout comme le 'seeing' optique est causé par la turbulence atmosphérique, l'ionosphère et la troposphère limitent la précision des mesures de position ou de dimension des radio-sources ou des radio-émissions de régions solaires ou planétaires. Malheureusement, pour profiter de l'amélioration de la définition, il faudrait d'énormes antennes ou interféromètres.

Il serait fort utile d'avoir des observations aux fréquences inférieures à 20 Mc, notamment des éruptions solaires ou joviennes (jusque 5 Mc ou au-dessous). L'étude des radio-éruptions solaires est, d'ailleurs, rendue difficile parce que des fréquences passant normalement à travers l'ionosphère y sont absorbées par suite des perturbations y apportées par l'activité solaire. Les radio-éruptions joviennes ont une limite supérieure de fréquence (environ 30 Mc), mais la limite inférieure n'est pas connue. Nos connaissances sur les propriétés électriques de l'atmosphère jovienne (ionosphère et zones de Van Allen) pourraient progresser grâce à une extension du domaine des fréquences radio accessibles.

Lorsqu'on disposera d'antennes directionnelles sur satellites, on pourra encore envisager un grand nombre d'autres problèmes, en commençant par l'extension vers les basses fréquences des spectres des radio-sources les plus brillantes; de telles informations permettront de préciser les mécanismes de rayonnement, qui sont probablement différents pour les diverses espèces de radio-sources.

Projets soviétiques

Etant donné le succès de leurs lancers de satellites, les savants soviétiques projettent une extension considérable de leurs travaux astronomiques par satellites. Nous avons appris par un rapport envoyé par l'U.R.S.S. à COSPAR que ces projets concernent, outre les questions de géophysique et de géodésie (champ gravifique terrestre, champ géomagnétique, ionosphère et haute atmosphère, espace circumterrestre), les problèmes astronomiques suivants:

observation des spectres ultra-violet et X du soleil et d'autres astres;
photographie de la couronne solaire et des nébuleuses en diverses longueurs d'onde de l'ultra-violet; établissement d'un service de l'heure de haute précision. On continuera aussi l'observation des rayons cosmiques.

Projets de collaboration internationale et projets britanniques

J'ai signalé dans l'introduction que des projets collectifs sont en voie d'élaboration, notamment sur le plan européen. D'ailleurs, des travaux en collaboration sont déjà en préparation entre les Etats-Unis d'une part, la Grande Bretagne, le Canada et l'Australie, d'autre part. Des savants de ces trois pays installeront des instruments à bord de satellites NASA.

Des physiciens de University College, London, installeront dans un satellite NASA lancé par une fusée Scout anglo-américaine les instruments solaires suivants: trois chambres d'ionisation à iode, pour mesure de L_{α} solaire; deux compteurs à fenêtre de béryllium pour observation des rayons X solaires dans le domaine 8-20 Å. Ces observations solaires seront faites en même temps que des mesures ionosphériques. Le soleil sera observé durant environ la moitié de la vie du satellite et on espère observer des périodes actives (H. E. Butler, C.L.; A. P. Willmore, C.L.). La préparation des expériences pour le Scout anglo-américain no. 2 est en bonne voie.

Les Australiens espèrent collaborer avec NASA pour l'étude, par satellite, des radio-émissions de basse fréquence (2 à 40 kc/s) qui résulteraient de l'interaction entre la haute atmosphère et les courants de particules solaires causant les aurores.

Les Canadiens installeront une sonde ionosphérique renversée, à incidence verticale, sur un satellite américain à orbite polaire, qui sera, sans doute, lancé en 1961.

Nous n'avons pas eu connaissance d'autres entreprises internationales*.

Les fusées britanniques ont fait des progrès suffisamment substantiels pour que l'on puisse envisager, bientôt, de les utiliser pour placer des satellites sur orbite. La partie astronomique des projets britanniques (H. E. Butler, C.L.) comporte l'installation d'un télescope et d'un spectrographe dans un satellite stabilisé. L'ouverture du télescope n'est pas encore fixée; elle sera comprise entre 12 et 50 cm. Le satellite sera codé pour viser, à chaque orbite, une étoile tirée d'une liste et contrôlée du sol. Le spectrographe couvrira la région 1000-3000 et aura une résolution d'environ 1 Å. La précision du pointé devra être de l'ordre de 1". Le travail de laboratoire sur les composantes optiques et les détecteurs photo-électriques a commencé. Bien entendu, ce programme est encore très vague, puisque le premier satellite britannique ne sera pas lancé avant quelques années.

VI. SONDES SPATIALES

Jusqu'à présent, l'U.R.S.S. a lancé trois fusées cosmiques (Lunik I, II, III) et les Etats-Unis, quatre (dont le dernier, Pioneer V, 1960 a, a été lancé le 11 mars 1960).

Les résultats les plus spectaculaires ont été obtenus par Lunik III qui a fourni plusieurs informations importantes au sujet de la lune et, en particulier, a photographié et transmis les photos de la face cachée de notre satellite, révélant ainsi 500 détails de cette partie jusqu'ici inconnue. Je ne décrirai pas cet exploit scientifique et technique remarquable qui a été exposé dans de nombreuses publications et, notamment, dans l'atlas de N. P. Barabashev, Yu. N. Lipsky et A. A. Mikhailov (25).

(*) Naturellement, il existe une coopération internationale pour l'observation optique et par radio des satellites et sondes spatiales.

Toutes les informations nouvelles et anciennes au sujet de la lune ont, sans doute, été discutées lors du Colloque UAI tenu à Pulkovo récemment; mais aucun renseignement à ce sujet n'est en ma possession.

Pour les informations au sujet de la matière, du champ magnétique et des rayonnements qui se trouvent dans l'espace interplanétaire, nous combinerons les résultats tirés à la fois des fusées, des satellites et des sondes spatiales.

De nombreuses fusées, satellites et sondes ont été équipés d'instrumentation à impact acoustique pour la détection des micrométéorites. Les masses minima observées vont de 10^{-8} à 10^{-10} gramme; la majorité des particules enregistrées ont des masses d'environ 10^{-9} gramme et des énergies de l'ordre de 10^4 erg. Plusieurs observations concordantes montrent qu'il existe une haute concentration de poussière interplanétaire au voisinage de la terre (26). Jusqu'à une distance de 10^5 km, la concentration diminue à peu près suivant la puissance— 1.4 de la distance à la surface terrestre. Ce résultat est basé sur des observations faites à bord de six fusées américaines et de Explorer I (1958 α), Sputnik III (1958 δ), Vanguard III (1959 η) et Explorer VI (1959 δ), ainsi que de Pioneer I. Pour les distances supérieures à 100 000 km, les taux d'impact sont approximativement ceux qu'on déduit du nuage zodiacal. La concentration maximum semble se présenter à environ 140 km d'altitude. Whipple a suggéré quatre explications possibles de la distribution observée; il semble préférer une origine lunaire de la poussière voisine de la terre, mais on n'a encore aucune explication vraiment convaincante.

De nombreux chercheurs aux Etats-Unis (F. Singer, F. L. Whipple, L. Reifel, etc.) et en U.R.S.S. se sont occupés de l'érosion ('sputtering') et des dommages structurels que peuvent produire ces micrométéorites. F. L. Whipple (27) a rediscuté récemment cette question. Même les concentrations les plus élevées ne peuvent produire qu'une faible érosion, estimée à 3×10^{-7} cm/an (pour les météorites ferreux). Toutefois, on n'a pas encore assez de données sur les météorites de masse plus grande (supérieure à 10^{-5} gramme) pour pouvoir déterminer la probabilité de pénétration des météorites dans les véhicules spatiaux. Les facteurs extérieurs peuvent changer l'albedo des satellites (28).

Ce problème des micrométéorites a été beaucoup discuté au Congrès COSPAR de Nice, à la fois du point de vue de la théorie et des observations. Nous renvoyons à *Space Research* pour le détail, et insistons seulement sur les variations considérables observées dans le temps et l'espace, par les satellites (Vanguard III) 1959 η , (Explorer I), 1958 α , (Sputnik III), 1958 δ , et les fusées cosmiques. Il est arrivé que la fréquence à une altitude d'environ 1800 km, passe de 1.7×10^{-3} choc par m^2 et sec à 22 chocs par m^2 et sec pendant une courte période (29).

De nombreux véhicules spatiaux ont aussi porté des appareils destinés à mesurer la concentration en ions. Les sondes spatiales soviétiques étaient munies de pièges à trois électrodes; elles ont fourni des déterminations des concentrations en gaz ionisé dans le plasma entourant la terre (10^2 à 10^3 cm^{-3} jusqu'à environ 22 000 km de la surface de la terre). Dans l'espace interplanétaire, au delà du dipôle terrestre, la concentration en gaz ionisé est inférieure à 100 cm^{-3} (30). Pioneer V a aussi fourni les densités d'ions inter-planétaires.

L. Reifel (31) a examiné les dégats qui peuvent être causés par le plasma interplanétaire, notamment aux matériaux plastiques, aux films superficiels et aux lames minces.

Plusieurs véhicules spatiaux, notamment Lunik I, II, III et Pioneer V transportaient aussi des magnétomètres très sensibles. Pioneer V (1960a) est resté en communication avec la terre pendant 107 jours, alors qu'il parcourait 270 millions de km le long de son orbite et s'éloignait à 36 millions de km de la terre. Une tempête solaire intense se produisit le 1er avril, durant sa vie active. Il a révélé les faits suivants: (a) Il existe un champ magnétique inter-

planétaire à peu près constant, un peu supérieur à 1γ ; ce champ fluctue jusqu'à 10γ durant les flambes solaires; (b) ce champ fait un grand angle (jusqu'à 90°) avec le plan de l'écliptique; (c) un anneau exosphérique de courant, d'environ 4000 km de diamètre, situé à environ 65 000 km de la terre, crée un courant vers l'Ouest, estimé à 5×10^6 amp.

Les satellites et fusées cosmiques soviétiques ont aussi mesuré le champ magnétique dans la haute atmosphère, l'espace interplanétaire et le voisinage de la lune. Une dépression du champ magnétique a été trouvée à une distance de 22 000 km du centre de la terre; cette dépression est du même ordre que le champ lui-même. Le champ magnétique à la surface de la lune est, en tout cas, inférieur à 100γ (32). Les fusées cosmiques soviétiques ont aussi révélé un système de courants à une altitude de 3 à 9 rayons terrestres.

De nombreux travaux sur les rayons cosmiques ont été effectués, notamment au moyen des satellites et fusées cosmiques soviétiques, ainsi qu'avec les sondes américaines. Des compteurs Cherenkov ont permis l'étude des noyaux lourds dans les rayons cosmiques primaires (33). En particulier, on a observé les rayons cosmiques entre la terre et la lune et on a procédé à des mesures pour détecter une éventuelle ceinture de radiations de la lune. Les appareils de Pioneer V (compteur proportionnel à triple coïncidence, équipé pour les hautes énergies) ont été conçus pour déterminer si des rayons cosmiques sont produits par le soleil et pour calculer la durée de leur trajet.

Pioneer V a fourni une nouvelle méthode pour calibrer l'échelle des distances dans le système solaire (34). Cette méthode est basée sur la détermination précise de la vitesse radiale de la sonde spatiale, par décalage dopplérien du signal radio. La sonde a été 'interrogée' pendant 138.9 heures réparties sur 107 jours. On a effectué toutes les corrections désirables de la vitesse radiale et adopté, pour l'espace interplanétaire, $v = 299.792$, 5 km/sec. On a finalement obtenu la parallaxe solaire $8''.7974 \pm 0''.0008$. Cette valeur est en excellent accord avec la valeur tirée de la campagne d'observation d'Eros par E. Rabe (1950): $8''.7984 \pm 0''.0004$, mais elle est en désaccord avec la valeur tirée des observations de Vénus par radar ($8''.8021 \pm 0''.0001$), avec la valeur déduite des déterminations astronomiques classiques de 1889 à 1924 ($8''.803 \pm 0''.001$) et avec celle de Spencer Jones (campagne d'Eros, 1931: $8''.790 \pm 0''.001$). Pour les applications astronautiques, cette constante devrait être connue avec la plus grande précision possible.

Projets soviétiques

D'après un rapport présenté au Congrès de COSPAR à Nice, ces projets astronomiques sont essentiellement:

1. Exploration lunaire et étude du voisinage de la lune.
2. Lancer de sondes vers Vénus et Mars, dans l'espoir de résoudre le problème de la présence éventuelle de la vie sur d'autres planètes.
3. Continuation de l'étude de l'espace interplanétaire.
4. Recherches de mécanique céleste, en vue de fournir de nouvelles données sur la gravitation et les constantes astronomiques du système solaire.

Projets américains

D'après le rapport envoyé à COSPAR et un rapport fourni par Miss Roman pour NASA, les projets en ce qui concerne l'astronomie sont les suivants(*):

(* Nous n'incluons pas, parmi les projets d'intérêt astronomique direct, le projet Mercury (vol spatial avec passager).

1. Continuation de l'étude de l'espace interplanétaire: mesure de la densité et de la composition du plasma interplanétaire; mesure précise du champ magnétique par un magnétomètre à vapeur de rubidium; influence du soleil sur les zones de Van Allen; observation de rayons cosmiques et d'autres particules de haute énergie; technique des communications dans le système solaire; mesure des radiations dans différents intervalles d'énergie.
2. Etude de la lune: les premiers véhicules transporteront une camera Vidicon et un spectromètre à rayons γ ; une capsule à lancer sur la lune contiendra un décéléromètre et un sismomètre; la dureté de la surface sera déterminée par un pénétromètre; par des orbiteurs lunaires, des impacts et des alunissages durs et doux, on essaiera d'acquérir des connaissances sur l'atmosphère, la surface et l'intérieur; cartographie de la surface par altimètre radar et vidicon; tests de radioactivité naturelle β et γ . L'étude de l'environnement lunaire comporte des mesures de la densité, de l'ionisation et du champ magnétique dans l'atmosphère lunaire, de la densité et de la température de l'ionosphère lunaire, des flux de particules dures et molles, du rayonnement cosmique et des micrométéorites.
3. Le but 'ultime' du programme lunaire est l'installation d'une station scientifique habitée sur la lune.
4. Etude des planètes voisines, Vénus et Mars.

ADDENDUM

1. *Lancers de fusées Kappa au Japon*

Quatre lancers concernant le spectre solaire ont été tentés par fusée Kappa type VI, en 1958 et 1959, mais n'ont pas donné de résultat, par suite d'accidents techniques. Les fusées Kappa type VI portent une charge utile de 10 kilos à 50 km de hauteur; le spectrographe à réseau concave à 600 traits par mm, couvre la région 2000-3600.

La nouvelle fusée Kappa VIII porte une charge utile de 30 kilos à 200 km.

Deux lancers de telles fusées en septembre 1960 étaient consacrés à des observations ionosphériques. Des lancers prévus pour mars et avril 1961 seront destinés à des déterminations de densités ioniques et électroniques, ainsi qu'à des études de la luminescence nocturne.

En 1961, une fusée permettra d'atteindre 400 km avec une charge utile de 10 kilos. On envisage surtout des études du spectre ultra-violet lointain et X du soleil. On examine aussi la possibilité de détecter la raie infra-rouge de la molécule interstellaire d'hydrogène H_2 . Des fusées seront probablement équipées pour des observations de radio, notamment dans les basses fréquences émises par les ceintures de Van Allen.

2. *Observations à bord d'un ballon et d'un avion U2, organisées par Professor J. Strong*

Dans la section III, nous avons mentionné l'ascension en ballon, organisée par Dr Strong, en vue de la détection de vapeur d'eau sur Vénus dans la bande 11 300 Å. Les réductions des observations ont conduit au résultat suivant: il y aurait, au-dessus du niveau des nuages de Vénus, une quantité de vapeur d'eau équivalant à une épaisseur d'eau liquide de 19 μ , c'est-à-dire quatre fois plus que dans l'atmosphère terrestre, au-dessus d'une altitude de 15 km.

Des observations du spectre solaire infra-rouge ont été effectuées à bord d'un U2 au moyen d'un spectromètre à prisme. Outre l'enveloppe du spectre infra-rouge solaire, ces observations fournissent des données intéressantes sur les molécules atmosphériques de H_2O (au-dessus de 10.5 et 19.5 km), N_2O et CH_4 .

CONCLUSION

Je m'excuse des inévitables oublis ou omissions et, surtout, de la longueur de ce rapport, le premier de la Commission 44. En faisant un exposé assez détaillé, j'ai cru rendre service à mes nombreux collègues qui s'intéressent aux possibilités astronomiques nouvelles ouvertes par les véhicules spatiaux. Il m'a paru que leur tâche serait allégée en leur faisant non seulement la synthèse des résultats récents, mais encore en leur exposant les préliminaires, les possibilités, les projets et les espoirs. J'espère aussi avoir, de cette façon, augmenté les chances de collaboration internationale dans ce domaine passionnant.

Parallèlement aux progrès de la technologie des fusées, il faut que les projets astronomiques se développent: puisse aussi la chance sourire aux audacieux chercheurs, lors des lancers des télescopes orbitants!

P. SWINGS
Président de la Commission

RÉFÉRENCES

1. Spitzer, L., Jr. *A. J.* **65**, 242, 1960.
2. Voir, par exemple, *Space Research*, éd. Kallmann Bijl, H. K. volume du Congrès de COSPAR à Nice, janvier 1960.
3. Staninkovich, K. P. *Satellites artificiels de la terre*, **4**, 86, 1960.
4. Shklovsky, I. S. *Satellites artificiels de la terre*, **4**, 195, 1960; Shklovsky, I. S., Esipov, V. F., Moroz, V. I. et Shcheglov, P. V. *A. Zh.* **36**, 1073, 1959; Kaplan, S. A. et Kurt, V. G. *A. Zh.* **37**, 356, 1960.
5. Greenstein, J. L. *Astrophysical Research in Space*, ARDC Special Technical Report no. 2, 21 September, 1959.
6. Tcherednichenko, V. I. *Bull. Soc. Sci. Liège* **29**, 254, 1960.
7. Spitzer, L. and Zabriskie, F. R. *P.A.S.P.* **71**, 412, 1959.
8. McCrea, W. H. and McNally, D. *M.N.R.A.S.* **121**, 238, 1960.
9. Ivanov-Kholodnyi, G. S., Pikelner, S. B., et Shklovsky, I. S. *A. Zh.* **36**, 264, 1959; Shklovsky, I. S. *ibid* **36**, 579, 1959.
10. Bahng, J. R. D. *Ap. J.* **128**, 145, 1958; Schwarzschild, M. *Ap. J.* **130**, 345, 1959; Rogerson, J. B. *Ap. J.* **130**, 985, 1959; Danielson, R. E. en préparation; Bahng, J. R. D. and Schwarzschild, M. en préparation.
11. Swings, P. *P.A.S.P.* **56**, 80, 1944.
12. Dollfus, A. *C.R. Acad. Sci., Paris* **249**, 2602, 1959.
13. Houghton, J. T., Moss, T. S. and Chamberlain, J. P. *J. sci. Instrum.* **35**, 329, 1958.
14. Elwert, G. *J. atmos. terr. Phys.* **12**, 187, 1958 et références y indiquées.
15. Kazachevskaya, T. V. et Ivanov-Kholodnyi, G. S. *A. Zh.* **36**, nr. 6, 1959.
16. Kachalov, V. P., Pavlenko, N. A. et Yakovleva, A. V. *Izv. Acad. Sci. U.R.S.S. série géophysique*, no. 9, 127, 1958; Ivanov-Kholodnyi, G. S. *ibid* no. 9, 1958.
17. Friedman, H. *A. J.* **65**, 264, 1960.
18. Shklovsky, I. S. *A. Zh.* **36**, 579, 1959.
19. Clemence, G. M. *A. J.* **65**, 272, 1960.
20. Goldberg, L. *A. J.* **65**, 274, 1960.
21. Davis, R. J., McCrosky, R. E., Whipple, F. L. and Whitney, C. A. *A. J.* **64**, 50, 1959; Whipple, F. L. and Davis, R. J. *A. J.* **65**, 285, 1960.
22. Code, A. D. *A. J.* **65**, 278, 1960.
23. Whipple, F. L. and Fireman, E. L. *Nature, Lond.* **183**, 1315, 1959.
24. Roman, N. G. *A. J.* **65**, 240, 1960.
25. Barabashev, N. P., Lipsky, Yu. N. et Mikhailov, A. A. *Atlas de la face arrière de la lune*. Maison de publ. Acad. Sci. U.R.S.S., Moscou, 1960.

26. Whipple, F. L. *Nature, Lond.* **189**, 127, 1961 et références y indiquées. Travaux publiés en U.R.S.S. au sujet des micrométéorites décelés par satellites; Komissarov, O. D. et Nasarova, T. N. Les satellites artificiels de la terre, **2**, 54, 1958; Isakovitch, M. A. et Roy, N. A. *ibid.*, **2**, 81, 1958; Nasarova, T. N. *ibid.* **4**, 165, 1960. Mirtov, B. A. *ibid.* **4**, 118, 1960; Nasarova, *ibid.*, **5**, 38, 1960.
27. Whipple, F. L. Communication au 1960 Symposium on the Physics and Medecine of the Atmosphere in Space, à l'impression; nombreuses références indiquées dans cet article.
28. Yatsunski, I. M. et Gurko, O. V. Satellites artificiels de la terre, **5**, 71, 1960.
29. Rapport présenté par l'U.R.S.S. au Congrès de COSPAR à Nice; voir *Space Research*.
30. Gringaus, K. I., Besrukikh, V. V., Ozerov, V. D. et Rybchinsky, K. E. *C.R. Acad. Sci. U.R.S.S.* **131**, 6, 1960; Gringaus, K. I., Kurt, V. G., Moroz, V. I. et Shklovsky, I. S. *ibid.* **132**, 5, 1062, 1960 et *A. Zh.* **37**, 716, 1960.
31. Reifel, L. *Amer. Rocket Soc. Journal* **30**, 654, 1960.
32. Dolginov, S. Sh., Zhusgov, L. N. et Pushkov, N. V. Les satellites artificiels de la terre, **2**, 50, 1958; Dolginov, S. Sh. *ibid.* **5**, 16, 1960; Dolginov, S. Sh., Pushkov, N. V., Eroshenko, E. G., Zhusgov, L. N. et Tjurina, L. O. *ibid.* **5**, 16, 1960; Dolginov, S. Sh. *ibid.* **4**, 135, 1960; Dolginov, S. Sh. et Pushkov, N. V. *C. R. Acad. Sci. U.R.S.S.* **129**, 1, 1959.
33. Kurnosova, L. V., Lysechev, V. I., Rasorenov, L. A. et Fradkin, M. I. Satellites artificiels de la terre, **2**, 70, 1959 et **5**, 30, 1960.
34. McGuire, J. B., Morrison, D. D. and Wong, L. *A. J.* **65**, 493, 1960. (voir Melin, M. *Sky and Telesc.* **20**, 337, 1960).