

RAYONNEMENT VISIBLE ET INFRAROUGE : SOLEIL, ÉTOILES, PLANÈTES, COMÈTES (VI-1)

Par P. SWINGS

Université de Liège, Belgique (*)

RÉSUMÉ. — 1) *Domaine visible.*

Les observations effectuées à partir de véhicules spatiaux permettent d'atteindre la résolution théorique des télescopes en se libérant des effets de turbulence atmosphérique ; d'étudier les phénomènes à faible contraste en évitant la diffusion par l'atmosphère terrestre ; d'observer de près les astres du système solaire.

2) *Domaine infrarouge.*

L'absorption atmosphérique dans l'infrarouge est considérablement réduite en observant d'une plateforme à 30 kilomètres. Certaines observations infrarouges exigent des satellites (exemple : balayage complet du ciel en divers domaines spectraux). Les observations désirables sont passées en revue.

ABSTRACT. — 1) *Visible region.*

When carried on board of space vehicles telescopes can be used with their maximum theoretical resolving power, by avoiding the effects of atmosphere turbulence. As the atmospheric scattering is suppressed, observations of very low contrast phenomena are made easier. Closer observations of the solar system objects are made possible.

2) *Infra red region.*

Observations taken from 30 km high are freed of most of the atmospheric absorption. But some infra red observations require the use of satellites (for example scanning of the whole sky within spectral regions). Needed observations are reviewed.

Резюме. — 1) *Видимая область.*

Наблюдения, сделанные с борта пространственных транспортеров, позволяют достичь теоретическое разрешение телескопов, освободившись от эффектов атмосферной турбулентности ; исследовать явления со слабым контрастом, избегая рассеяние земной атмосферой ; наблюдать вблизи тела солнечной системы.

2) *Инфракрасная область.*

Атмосферное поглощение в инфракрасной области значительно сокращено при наблюдениях с платформы на высоте 30 километров. Некоторые инфракрасные наблюдения требуют спутников (например : полное прочесывание неба в разных спектральных областях). Просмотрены желательные наблюдения.

INTRODUCTION

Le présent colloque ne s'occupe que de résultats d'observations récentes et non encore discutées, ainsi que des considérations théoriques qui y sont relatives. Il en résulte nécessairement que mon rapport introductif relatif au rayonnement visible et infrarouge sera assez bref. D'autre part, je ne parlerai guère du ciel nocturne ou des aurores, malgré le grand intérêt des travaux récents sur leurs émissions dans le domaine infrarouge proche aussi bien que lointain. On a, en effet, l'habitude de penser que l'espace interplanétaire, c'est-à-dire l'astronomie, commence à une distance d'environ vingt-cinq rayons terrestres. Comme nous ne sommes supposés parler que de résultats et non de projets à échéance plus ou moins lointaine,

(*) Exposé d'introduction présenté au Symposium n° 23 sur les Observations Astronomiques faites à bord de véhicules spatiaux, tenu à Liège (Belgique) du 17 au 20 août 1964.

je ne parlerai pas non plus, dans le cas des sondes planétaires, des observations envisagées durant et après la descente d'appareillages à la surface de la lune ou des planètes ; pas plus d'ailleurs que de ce que nous révéleront, peut-être, les véhicules orbitant autour de la lune ou des planètes. Évidemment, le jour où des contacts très doux de véhicules spatiaux avec les surfaces de la lune, des planètes ou des comètes seront possibles, les résultats des observations dans le domaine visible (avec filtres) aussi bien que dans l'infrarouge qui nous seront expédiés par télévision ou autrement, nous fourniront des informations extrêmement intéressantes. Les expériences et mesures effectuées dans les atmosphères durant la descente seront, d'ailleurs, tout aussi importantes. Il faudra bien que je parle de l'atmosphère terrestre, mais je ne le ferai que lorsqu'elle est en relation directe avec les phénomènes astronomiques discutés. J'ai supposé que les applications à la géo-

désie et à la mécanique céleste étaient exclues de ce colloque.

DOMAINE VISIBLE

En quoi les observations dans le domaine visible, effectuées à partir de véhicules spatiaux peuvent-elles contribuer à l'Astronomie ? Elles le font essentiellement de trois façons.

(i) En dehors de l'atmosphère, les effets de turbulence n'existent plus, de sorte que la résolution théorique des télescopes peut être atteinte (si l'instrument est parfait du point de vue de l'optique géométrique).

(ii) On peut éviter la diffusion par l'atmosphère terrestre et atteindre ainsi la couronne à grande distance du soleil, ainsi que les « nuages » interplanétaires. La lumière zodiacale, le gegenschein et tout autre phénomène à faible contraste, peuvent être mieux étudiés ; les observations polarimétriques et photométriques de ces objets diffus peuvent être rendues plus précises et plus sûres. D'ailleurs, l'émission du ciel nocturne causée par la haute atmosphère elle-même limite fortement aussi l'observation des objets à faible contraste, par exemple des nébuleuses (galactiques ou extragalactiques) à faible luminosité de surface. On peut se libérer de cette émission nocturne en plaçant les télescopes au-dessus des couches atmosphériques émettrices.

(iii) Au moyen de sondes lunaires, planétaires et cométaires passant à proximité des astres du système solaire, on peut en acquérir une connaissance incomparablement plus détaillée. Ce troisième point ne pourrait être mieux illustré que par le succès récent de Ranger VII.

Examinons successivement ces trois points.

Un objectif ou un miroir, quelque parfaite que soit sa qualité au point de vue de l'optique géométrique, ne donne pas une image ponctuelle d'une étoile, par suite du phénomène de diffraction lié à la nature ondulatoire de la lumière. Dans le cas astronomique habituel de la diffraction par une ouverture circulaire, la tache centrale est, de beaucoup, la partie la plus brillante de la figure de diffraction, les anneaux étant beaucoup moins brillants et généralement invisibles par suite de leur faible luminance.

Nous connaissons tous la formule donnant le rayon angulaire α de la tache centrale :

$$\sin \alpha = 1,22 \frac{\lambda}{D},$$

la longueur d'onde λ et le diamètre de la pièce optique étant exprimés dans la même unité. Le

rayon linéaire de la tache de diffraction s'obtient en multipliant simplement α (exprimé en radians) par la distance focale. C'est l'Astronome Royal For England, Sir George AIRY, qui, vers 1835, au début de ses fonctions directoriales à Greenwich (1835 à 1881) comprit l'importance de ces disques de diffraction qui sont, à présent, appelés « disques d'AIRY ». RAYLEIGH (1842-1919) a adopté le critère de résolution suivant : les disques d'AIRY étant dégradés sur leurs bords, on considérera que deux étoiles de même éclat apparent sont encore séparées si la distance des centres de leurs disques d'AIRY est égale au rayon de ces disques. Pour un télescope de 200 pouces, l'angle α vaut, en secondes d'arc, 0" 03, pour la longueur d'onde de λ 5500 Å. Mais on n'atteint jamais le pouvoir de résolution d'un grand télescope, à cause de la turbulence de l'atmosphère. Pour y parvenir, il faut se libérer de l'atmosphère terrestre, c'est-à-dire se trouver à bord d'un ballon ou avion à haute altitude ou dans un satellite ou à une station lunaire (1). On conçoit aisément les nombreux avantages importants d'une résolution non limitée par la turbulence atmosphérique. D'une part, on peut atteindre ainsi des détails de granulation solaire (exemple : Stratoscopes) ou de structure au sein des planètes, satellites naturels, nébuleuses, etc... (exemple : Stratoscopes et Projet Sky-Top), observer ces détails au moyen de spectrographes (2), photomètres, polarimètres et autres instruments, mesurer de façon plus précise les diamètres et formes des planètes, l'absence de diffusion agissant dans le même sens favorable. D'autre part, on peut raffiner des études astrométriques requérant une haute résolution, comme les mesures de parallaxes et mouvements propres, les déplacements gravitationnels, les mouvements des composantes d'étoiles multiples ou d'étoiles proches à compagnon planétaire.

Pour atteindre ces résultats, on peut, en principe, se contenter d'un ballon ou avion à haute altitude, disons 25 ou 30 kilomètres. Quelques résultats remarquables ont déjà été acquis dans cette voie, surtout au moyen des « Stratoscopes » de l'équipe de Martin SCHWARZSCHILD ; d'impressionnants programmes sont en préparation et seront réalisés dans un avenir rapproché. Mais une ascension de ballon ne permet l'observation que pendant quelques heures et chacun sait

(1) Pour profiter du pouvoir de résolution théorique à bord d'un véhicule spatial ou à une station lunaire, il faut évidemment que la qualité optique, le pointage et guidage et les récepteurs aient une précision adéquate.

(2) Par exemple, on peut ainsi révéler les déplacements dopplériens associés à la fine granulation solaire.

combien ces ascensions sont difficiles ⁽¹⁾. On ne tirera plein profit de l'absence de turbulence que le jour où on disposera d'une plate-forme semi-permanente au-dessus de l'atmosphère terrestre ou à la surface de la lune. A ce point de vue, la situation en ce qui concerne les ballons est un peu semblable au cas des fusées sondes comparées aux satellites. On a obtenu des résultats astronomiques extrêmement importants au moyen des fusées sondes, notamment en ce qui concerne le soleil, et on continuera à en obtenir ; mais la courte durée d'observation en dehors de l'atmosphère par une fusée sonde limite fortement les possibilités, de sorte que, dans de nombreux cas, les fusées sondes devront être progressivement remplacées par les télescopes orbitants.

Voyons à présent les avantages résultant de l'absence de diffusion par notre atmosphère. MM. NEWKIRK et TOUSEY nous parleront tout à l'heure des observations coronales par ballon (NEWKIRK) et par fusée (TOUSEY). La coronographie par ballon fait de grands progrès instrumentaux, notamment par l'emploi de disques occultants extérieurs apodisés ("apodized external occulting disks"). D^r NEWKIRK nous parlera des importants travaux en cours à Boulder, Colo., ayant en vue l'étude de la couronne K à haute résolution jusqu'à de grandes distances solaires ⁽²⁾. De son côté, D^r TOUSEY nous entretiendra des techniques coronographiques par fusées, développées au Naval Research Laboratory pour étudier les couronnes solaires en dehors des éclipses, à grande distance du centre du soleil. D^r DOLLFUS aussi travaille dans cette voie, par ballon. Les savants soviétiques étudient également la couronne, par fusées et avions à haute altitude ; ils ont révélé des manques d'homogénéité de la couronne dans la région entre 9 et 35 rayons solaires.

Au fait — et quoique cela ne soit pas à proprement parler des études spatiales — on ne pourrait trop insister sur l'intérêt des observations d'éclipses solaires à bord d'avions aménagés à cet effet. Non seulement, on peut ainsi être assuré de l'absence de nuages et prolonger la durée d'observation de l'éclipse, mais on peut encore réduire grandement la brillance du fond du ciel et, même, atteindre certaines régions du domaine infrarouge qui sont inaccessibles du sol.

⁽¹⁾ Les accidents arrivent notamment lorsque les ballons passent à travers une couche aiguë d'inversion ("sharp inversion layer").

⁽²⁾ Le NCAR Quarterly d'avril 1964 décrit les résultats de l'ascension du 5 mars 1964 de Coronascope II, obtenus par G. A. NEWKIRK, Jr. Voir aussi *Sky and Telescope*, Vol. XXVIII, No. 1, pp. 16-19, 1964.

Faut-il aussi rappeler l'observation par plusieurs cosmonautes, d'une bande ou couche lumineuse à environ 100 kilomètres d'altitude ? Certes, ceci, à nouveau, n'est pas de l'Astronomie, mais le fonds lumineux émis par la haute atmosphère limite les observations astronomiques et cette limitation disparaît dans les satellites à périgée suffisamment élevé. Il est évident que des observations par télescope orbitant ou à partir d'un observatoire lunaire permettront d'atteindre des astres beaucoup moins contrastés que ceux qu'on peut étudier dans les observatoires au sol, même en haute montagne.

Enfin, est-il besoin d'insister sur l'intérêt évident de l'observation du soleil, de la lune, des planètes, comètes, astéroïdes et satellites, au moyen de sondes passant à proximité de ces astres ou descendant, en tout ou en partie, à leur surface, après avoir traversé leur éventuelle atmosphère ou, encore, orbitant à proximité de ces astres. Les images télévisées ou photographiées que nous recueillerons ainsi seront reçues avec autant ou plus d'enthousiasme que celles de la face cachée de la lune. Nous entendrons tout à l'heure l'exposé sur les premiers résultats tirés de Ranger VII. Les mesures photométriques ou polarimétriques qui seront effectuées à diverses longueurs d'onde pourront nous fournir une résolution spatiale permettant l'étude des effets de disque et de terminateur. Rappelons que, pour Mars, on ne peut observer, à partir de la terre, aucun angle de phase supérieur à 43° ; des observations par sonde sont donc essentielles pour obtenir une courbe caractéristique de polarisation de régions de Mars. D^r Carl SAGAN nous parlera tantôt des mesures d'obscurissement au bord effectuées sur Vénus par Mariner II. Une sonde cométaire fournira des observations de valeur considérable. Espérons qu'à un futur Colloque de l'UAI, vers 1970, nous pourrions discuter les résultats de lancer de telles sondes cométaires. Jupiter réserve, peut-être, des surprises encore plus sensationnelles ; mais, pour cela, il faudra, sans doute, encore attendre une douzaine d'années.

DOMAINE INFRAROUGE

Dans plusieurs rapports publiés récemment ⁽¹⁾, on a insisté sur la grande importance des observations infrarouges. Par conséquent, je ne citerai plus, dans cette introduction, que quelques faits essentiels. Certes, il existe dans le domaine de 0,8 à 24 μ quelques fenêtres atmosphériques partiellement transparentes, permettant l'obser-

vation des astres dans l'infrarouge à partir du sol. Plusieurs publications récentes ont décrit les résultats extrêmement intéressants obtenus par l'observation dans ces fenêtres, notamment en ce qui concerne la fenêtre 8-14 μ , par les groupes du Caltech (B. C. MURRAY, R. L. WILDEY, J. WESTPHAL,...), de Perkins Observatory et d'Eastman Kodak (P. E. BARNHART et W. H. HAYNIE), de I. T. T. (F. F. HALL, Jr.), de J. P. L. (L. D. KAPLAN). Il faut aussi citer les travaux de G. P. KUIPER, V. I. MOROZ, W. M. SINTON, L. D. KAPLAN, etc... dans d'autres fenêtres. Mais s'il est absolument indispensable de continuer activement les observations infrarouges à partir du sol, il faut reconnaître les limitations de leurs possibilités. C'est ainsi que, dans la région de 8 à 14 μ , les effets atmosphériques introduisent, comme l'a notamment signalé F. F. HALL, Jr., de grandes difficultés et perturbations.

Ces difficultés sont beaucoup diminuées dans les observations en ballon ou avion à haute altitude. D'ailleurs, en observant d'une plate-forme à 30 kilomètres, on réduit considérablement l'absorption atmosphérique, sans, toutefois, s'en débarrasser complètement. A 30 kilomètres d'altitude, il ne reste plus qu'une faible fraction de l'atmosphère (1,2 %), mais cette fraction cause encore une forte absorption dans les bandes infrarouges les plus intenses de H₂O et CO₂. D'ailleurs, l'absorption infrarouge par O₃ subsiste en grande partie. Il y a, dans les observations par ballon, un domaine extrêmement fructueux de recherches et j'y reviendrai plus loin ; mais on n'atteindra pas l'entièreté de l'infrarouge sans véhicule placé au-delà de 100 kilomètres d'altitude.

Il faut, certes, exploiter au maximum les observations infrarouges à partir du sol et à partir de ballons ou avions à haute altitude. Il faut aussi faire progresser les études des récepteurs, ainsi que nos connaissances des spectres de laboratoire et, plus généralement, de l'optique de l'infrarouge. Des techniques optiques nouvelles, plus efficaces, sont, en fait, en plein développement ; des récepteurs plus sensibles, plus stables et, parfois, de manipulation plus aisée (notamment dans les conditions des véhicules spatiaux), sont en voie de réalisation. On trouvera, notamment, des études sur de telles techniques dans le volume du 12^e Colloque International de Liège, consacré aux « Spectres infrarouges des astres ».

Il serait désirable de collationner des tables de longueurs d'onde (et, lorsque c'est possible, des intensités estimées, déterminées ou calculées) des raies permises et interdites des atomes et molé-

cules d'intérêt astronomique se trouvant dans l'infrarouge. Cela permettrait de tirer des conclusions plus rapides et plus complètes des observations infrarouges en train de se faire ou de se préparer.

Bien sûr, il ne faut évidemment pas tenter d'effectuer, à partir de véhicules spatiaux, des observations qui peuvent être effectuées de façon adéquate à partir du sol ou à partir de ballons. Mais il y a des expériences importantes qu'on ne pourra jamais effectuer sans l'aide des satellites. Certaines régions spectrales ne sont pas accessibles par ballon ; certaines le sont, même du sol, mais sont fortement dépendantes d'effets atmosphériques.

Je voudrais, par exemple, citer le projet de balayage du ciel dans l'infrarouge. Il est pratiquement impossible par ballon, étant donné la longue durée requise. Du sol, on peut, certes (et on doit) faire un premier balayage, comme FREEMAN F. HALL, Jr. le fait : il s'agit là d'un travail fort intéressant et utile. Mais pour l'enregistrement du ciel dans certaines régions spectrales (non accessibles au sol) et pour augmenter la précision (aucun effet atmosphérique ou local), un balayage du ciel par satellite semble tout indiqué. Ce qui ne signifie nullement que des travaux préliminaires sur terre (de préférence en haute montagne ⁽¹⁾) et en ballon ne soient pas impératifs.

Parallèlement, il faut, d'ailleurs, faire de nombreux travaux de laboratoire, tant dans le domaine des atomes que des molécules. Quoique de très beaux résultats aient été obtenus récemment dans divers laboratoires de spectroscopie (Lund, Ohio State, Bureau of Standards, etc...) et quoique des programmes encourageants aient été établis (par exemple à Ohio State), on ne pourrait assez insister sur la nécessité de l'extension de ces recherches infrarouges sur les atomes et molécules d'intérêt astronomique ⁽²⁾.

Passons, d'abord, en revue les phénomènes physiques à étudier dans l'infrarouge ; il s'agira des continua, des absorptions discrètes (atomiques et moléculaires, permises et interdites) des émissions discrètes et des effets de diffusion.

Le maximum d'intensité du continuum d'un corps à une température de 2800°K se trouve

(1) Grâce à une collaboration entre l'Observatoire de Genève et l'Institut d'Astrophysique de Liège, un télescope de 75 cm est actuellement en construction en vue de son installation à la Station Scientifique du Jungfraujoch, à 3580 mètres d'altitude. Cet instrument sera consacré, en partie, aux observations infrarouges.

(2) On trouvera plusieurs exemples de travaux expérimentaux fort intéressants dans le volume du 12^e Colloque de Liège (1963).

aux environs d' 1μ . En ce qui concerne les continua nous serons donc essentiellement intéressés par les étoiles froides (M-S-R-N). Mais les étoiles subissent aussi un rougissement interstellaire ; on sera donc amené à trouver des étoiles relativement chaudes, très obscurcies, notamment de population II. Un « Survey » infrarouge du ciel révélera des astres froids inconnus ⁽¹⁾ qui pourront être soit des étoiles normales, soit des proto-étoiles, soit des naines blanches refroidies, soit encore d'autres espèces d'astres encore insoupçonnées. N'oublions pas que l'étude du disque et des taches du soleil est aussi requise. Les mesures d'intensités absolues de domaines spectraux solaires, effectuées par LABS et NECKEL devraient être étendues vers l'infrarouge : elles s'arrêtaient à présent à environ $1,25 \mu$. Les observations du continuum infrarouge de la photosphère ont été discutées par C. DE JAGER ⁽³⁾.

On pourra s'attendre à trouver dans les étoiles froides — et, même dans le soleil — des raies ou bandes d'absorption du plus haut intérêt. Jusqu'en 1963, on n'avait trouvé que deux molécules triatomiques dans les étoiles carbonées les plus froides ; il s'agissait des radicaux C_3 et SiC_2 dont les transitions électroniques tombent dans le domaine visible. Dans l'infrarouge proche des étoiles les plus froides, on devra trouver certaines transitions électroniques ainsi que les bandes de vibration-rotation et, dans l'infrarouge lointain, les transitions de rotation pure de diverses molécules di-, tri- et polyatomiques, comme H_2O , CH_4 , NH_3 , CO_2 , CO ⁽²⁾, etc... En fait, la vapeur d'eau a été découverte par G. P. KUIPER dans Mira Ceti, R Leo et d'autres étoiles M7 et M8 grâce à la bande $1,4 \mu$ ⁽²⁾. Les spectres stellaires de KUIPER s'étendent jusque $2,6 \mu$; malgré leur résolution relativement faible, ils révèlent de nombreuses informations du plus haut intérêt. Les observations par Stratoscope II vont nous être exposées par D^r. WOOLF ; en particulier, le deuxième lancer de Stratoscope II le 26 novembre 1963 a révélé la présence de vapeur d'eau dans Betelgeuse (M2), R Leonis (M8) et surtout Mira (M9). P. B. BOYCE et W. M. SINTON ont aussi trouvé H_2O par les raies de haute excitation rotationnelle dans Mira, U Ori, T Cep, R Cas. Les astronomes de l'Observatoire Lowell ont trouvé de fortes bandes de CO de $2,3$ à $2,5 \mu$ dans les étoiles M avancées ; ces bandes manifestent un important

⁽¹⁾ Ainsi que des compagnons froids inconnus d'étoiles connues.

⁽²⁾ La présence de CO dans le soleil a été révélée par la présence, dans l'infra-rouge, de la bande fondamentale de vibration-rotation, ainsi que du premier harmonique.

effet de luminosité. Les bandes de CO apparaissent aussi, mais assez faiblement, dans YCVn et d'autres étoiles carbonées. On devrait, d'ailleurs, trouver aussi de nouvelles bandes et raies d'absorption interstellaire ; la recherche du H_2 (transition interdite) serait intéressante, quoique sa détection dans l'ultraviolet lointain sera, sans doute, plus facile.

De même, les raies et bandes d'émission qui apparaîtront dans l'infrarouge seront aussi de grande importance. Que pouvons-nous espérer découvrir et dans quels objets ? Des émissions atomiques, permises et interdites, doivent être présentes dans le domaine infrarouge de maints objets : nébuleuses, étoiles anormales, variables à longue période ou irrégulières, étoiles T Tauri étoiles R C Br, couronne solaire, etc... R. GOULD nous parlera, tout à l'heure, des émissions infrarouges des régions H II. Des raies de [OI] (63μ et 147μ), de [N II], [C I], [C II], etc... doivent apparaître dans de nombreux astres (certaines aussi dans la haute atmosphère terrestre). On trouvera des raies de faible excitation (comme 63μ et 147μ de [O I]) et des transitions entre niveaux élevés. L'observation des spectres infrarouges des comètes devrait fournir des informations précieuses sur les molécules parentes et sur certains radicaux des têtes et queues cométaires.

Il est difficile de prédire l'effet de coloration des poussières interstellaires dans l'infrarouge. En tout cas, il serait intéressant de déterminer la fonction de diffusion dans l'infrarouge.

L'objet dont l'étude spectrographique dans l'infrarouge à résolution assez élevée, par ballon d'abord, par satellite ensuite, s'impose en premier lieu est le soleil, tant en vue de son continuum que de ses raies ou bandes d'absorption. Certes, des expériences spectroscopiques solaires ont déjà été effectuées, dans l'infrarouge, en ballon ou avion à haute altitude, par J. STRONG, J. HOUGHTON, CUMMING, WILLIAMSON, MURCRAY et d'autres, mais aucune étude systématique — conduisant à un atlas infrarouge « solaire » (non « tellurique ») — n'a été faite jusqu'ici. A l'heure actuelle, la raie solaire de H ayant la plus grande longueur d'onde a été observée à $4,05 \mu$ (Brackett α), au sein d'une bande tellurique de N_2O dont elle peut être séparée sur les spectrogrammes pris au Jungfraujoch. Aucune raie solaire n'a été identifiée avec certitude au delà de 5μ . Il y a là une source extrêmement riche d'informations précieuses, dont une grande partie pourrait être obtenue en ballon à haute altitude, sans passer.

Remarquons qu'il conviendrait de continuer les observations solaires par avion à une altitude de l'ordre de 12 kilomètres. Le problème du spectre infrarouge solaire a été discuté par C. DE JAGER (3).

L'observation des spectres infrarouges des planètes et comètes en ballon révélerait sûrement une grande variété de résultats intéressants. Pour les comètes, une résolution assez faible suffirait ; pour les planètes, une haute résolution est souhaitable. Un rapport de D^r. John STRONG nous exposera, tout à l'heure, ses résultats obtenus sur la vapeur d'eau de la planète Vénus à partir d'observations en ballon (1). On imagine l'intérêt de l'observation du spectre infrarouge d'une planète comme Jupiter, par interférométrie de MICHELSON, au-dessus de l'atmosphère terrestre. Plusieurs projets de spectrographie planétaire infrarouge sont en préparation (exemple : Sky Top). D^r. WOOLF nous parlera tantôt des spectres stellaires et planétaires obtenus dans l'infrarouge, de 1 à 3 μ , lors d'une ascension de Stratoscope II.

On ne peut évidemment pas se dissimuler les difficultés. Le spectre d'émission de l'atmosphère terrestre et celui du spectrographe lui-même doivent être compensés. On a quelque idée du spectre du nightglow de 1 à 22,5 μ reçu au sol et de 2,4 à 8 μ observé en ballon (HARRISON and LOWE; NOXON and VALLANCE JONES(4)). L'émission tellurique de H₂O à 6,3 μ a été examinée en ballon jusque 31 kilomètres. Le succès des observations infrarouges des satellites Tiros est dû aux excellentes mesures de l'émission dans la bande de CO₂ à 15 μ .

G. P. KNIPER (à l'Observatoire McDonald) et V. I. MOROZ (en URSS) ont effectué d'intéressantes observations de spectres infrarouges de planètes et de satellites (Vénus et Mars jusque 4 μ ; Jupiter jusque 2,1 μ dans les observations de G. P. KUIPER ; Saturne et ses anneaux ; les quatre grands satellites de Jupiter). B. C. MURRAY

(1) Il serait intéressant d'essayer de déceler d'éventuelles variations de la quantité d'eau sur Vénus.

et R. L. WILDEY (Caltech) ont observé la région de 10 μ de Jupiter et des satellites galiléens ; aucune variation supérieure à un degré C n'apparaît à la surface de Jupiter, mais le rayonnement de 8 à 14 μ est considérablement amplifié dans les ombres des satellites intérieurs ; aucune explication vraiment convaincante de ce phénomène n'a encore été trouvée.

D'intéressantes observations infrarouges d'étoiles ont été effectuées, soit par photométrie à bandes étroites (travaux récents de P. E. BARNHART et W. H. HAYNIE, ainsi que de F. F. HALL, Jr voir plus haut), soit par spectrographie (KUIPER).

Toutes ces observations au sol devraient être répétées et considérablement amplifiées à partir de ballons ou avions à haute altitude (et, un jour, en satellite). La découverte, sur Mars, de certaines bandes d'absorption de composés organiques — étendant les travaux de SINTON et de STRONG, aiderait à découvrir s'il y a de la vie sur Mars.

Bien entendu, l'idéal, dans le cas de Mars, est la mission fly-by, un Mariner-Mars semblable à Mariner II, équipé d'appareils à infrarouge de résolution spectrale et spatiale suffisante. On sait que Mariner II transportait un radiomètre fournissant les températures de petites régions de la surface de Vénus à 8,4 μ et à 10,4 μ . D^r. SAGAN nous parlera tantôt de l'obscurcissement vers le bord de Vénus, dans l'infrarouge. On a trouvé une température égale pour les parties claires et obscures de Vénus, température d'ailleurs en accord avec celle qu'on observe, du sol, par bande large (8 à 13 μ). Espérons que, bientôt, une sonde lancée vers Mars et équipée adéquatement pour l'infrarouge nous fournira des informations détaillées sur cette planète.

L'observation du domaine infrarouge, par ballon, avion ou satellite, nous réserve certainement d'enthousiasmantes surprises.

Manuscrit reçu le 28 septembre 1964.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Exemples : (i) Current Objectives of Astronomical Space Research (from Gamma to Infrared Radiation), Space Age Astronomy ed. by A. J. Deutsch and W. B. Klemperer, *Academic Press*, N. 4, 1962, pp. 9-25.
(ii) Report on the Scientific Interest and Problems (COPERS Colloquium on Space Astronomy, Paris, July 1962), *Space Science Reviews*, 1, 762-773, 1962.
- [2] KUIPER G. P., 1963, 12^e Colloque International d'Astrophysique de Liège « Les spectres infrarouges des astres », 1964, *Mém. Soc. R. Sc. Liège*, 5^e série, vol. 9, p. 365.
- [3] DE JAGER C., 1963, 12^e Colloque International d'Astrophysique de Liège, *ibid.*, p. 151.
- [4] VALLANCE JONES A., 1963, 12^e Colloque International d'Astrophysique de Liège, *ibid.*, p. 289.