

16. COMMISSION POUR L'ETUDE PHYSIQUE DES PLANETES ET DES SATELLITES

PRÉSIDENT: Dr A. Dollfus, Observatoire de Paris, Section d'Astrophysique, Meudon (Seine-et-Oise), France.

VICE-PRÉSIDENT: Professor M. G. J. Minnaert.

COMITÉ D'ORGANISATION: G. P. Kuiper, S. Miyamoto, V. V. Sharonov.

MEMBRES: Arthur, Ashbrook, Barabashov, Blamont, Bouska, Bullard, Bullen, Camichel, Collinson, de Marcus, de Mottoni, de Vaucouleurs, Dzhapiashvili, Focas, Gdomski, Gehrels, Giclas, Gold, Heath†, Herzberg, Hibbs, Jeffreys, Kiess, Kopal, Levin, Link, Lipsky, Luplau-Janssen, Mayer, Menzel, O'Keefe, Öpik, Peek, Ramsey, Rösch, Safronov, Shoemaker, Sinton, Slipher, Strong, Sytinskaya, Tombaugh, Urey, Vsekhsvyatsky, Whitaker, Wildt, Wilson (A. G.).

INTRODUCTION

Le présent mémoire résume les résultats obtenus sur les planètes et la Lune de 1961 à 1963.

Pour sa réalisation, le président de la Commission 16 a demandé à tous les membres des rapports individuels et à certains membres les rapports généraux spécialisés suivants:

- Summary of radioastronomical studies of the planets and the Moon (1961–63), par C. H. Mayer.
- Travaux de physique planétaire et lunaire en U.R.S.S. de 1961 à 1963, par V. V. Sharonov.
- Theories on the interpretation of lunar topographic features, par E. M. Shoemaker.
- Laboratory spectroscopic studies, par G. Herzberg.
- Exobiology, par C. Sagan.
- Phénomènes atmosphériques sur Jupiter et Saturne, par J. H. Focas.
- Recent observations and interpretation of the Blue Clearing on Mars, par A. G. Wilson.

Les travaux sur l'intérieur des planètes ne sont pas abordés dans ce mémoire.

I. ORIGINE DU SYSTÈME SOLAIRE

Le précédent Draft Report n'ayant pas traité l'origine du système solaire, le Professeur Levin a bien voulu préparer un rapport particulier couvrant la période de 1958 à 1963 et dont voici la reproduction intégrale:

The papers presented at the Symposium of the Origin of the Earth and Planets organized during the Xth-IAU General Assembly in Moscow were published in Russian in *Voprosy Kosmogonii* (Problems of Cosmogony)*. (See hereafter the addendum to the bibliography). The book *The Origin of the Solar System*, edited by A. G. W. Cameron and R. Jastrow (Academic Press, 1963) contains the proceedings of the symposium which was arranged in New York in January 1962. In January 1963, an additional meeting of the Royal Astronomical Society on the origin and constitution of the planets discussed: (a) thermal state and history of the Earth, (b) mechanical properties and constitution of the planets and (c) origin of the planets by accretion (see the minutes in *Observatory*, 83, 89–105, 1963).

*The papers by Hoyle (19) and by Whipple (52) were published also in English in other periodicals.

During recent years new evidence indicating the presence of decay products of short living isotopes in the matter of the Earth and meteorites was accumulated by the study of isotopic compositions of chemical elements. If all elements were formed by nucleogenesis in stars, this evidence put severe limitations to the time-interval between the nucleogenesis and the formation of planets and of meteorite parent bodies (4, 5, 20, 25)*. A part of differences in the isotopic composition of xenon from meteorites and from the Earth's atmosphere can be explained according to Cameron (10, 11), as due to the accretion of a substantial part of atmospheric xenon (and of other noble gases) from the solar wind. On the Sun this xenon was irradiated by neutrons during the deuterium burning phase.

Limitations on the time interval between stellar nucleogenesis and formation of planets are removed by the theory of Fowler, Greenstein and Hoyle (17, 18) about the additional synthesis of elements during the early stage of the solar system through the irradiation of planetesimals by solar corpuscular streams accompanied by emission of neutrons which produced further nuclear reactions. But Murthy and Schmidt (26) showed that the meteorites contain in normal abundances isotopes with enormous cross-sections with respect to neutrons. Then new data appeared which reduced the abundance of some light elements involved in the calculations. This made Fowler (report to the Gordon Conference, July 1963) revise this theory and to reduce the supposed role of neutron irradiation.

Hoyle (19) studied the formation of the solar system from the contracting nebula whose mass and angular momentum only slightly exceeded those of the present system. In such case the separation of matter had to begin when the radius of the protosun was about a half of the radius of the orbit of Mercury. He suggests that the separation of matter quickly stopped because of the deceleration of solar rotation by magnetic coupling between the Sun and the separated matter. Therefore the mass of protoplanetary cloud turned to be small as compared to that of the Sun. The transfer of the momentum to the cloud led to its expansion over the whole space of the present planetary system.

Cameron (10, 11) suggesting that the solar system was formed from an interstellar condensation with mass and angular momentum much greater than those of the modern system, concluded that the separation of the protoplanetary cloud began when the radius of the protosun exceeded 100 A.U. and that the initial mass of the cloud was great. But later Cameron and Ezer (16) calculated models of the internal constitution of the non-rotating protosun at the stage of gravitational contraction, and confirmed the conclusion by Hayashi that its luminosity was at that time several tens times greater than after it reached the main sequence. If this is confirmed for a rotating protosun, all hypotheses upon the separation of the protoplanetary cloud from the protosun and upon the early stages of the solar system will need revision.

McCrea (24) put forward the idea that the small angular momentum of the Sun is due to its formation in a cluster of stars from a nebula which previously subdivided into a multitude of condensations. The protoplanetary matter was captured by the growing gravitational field of the Sun when it was accumulated by direct collisions of about 10^5 condensations.

Berlage (7, 8, 9) continued to develop his ideas on the formation of planets and regular satellites from nebular disks, dividing due to internal friction into rings, which later are collected into planets and satellites.

Alfvén (2) found a correlation between the mass distribution in the planetary and satellites systems and the rotation of the central body. This correlation he discussed in the light of his ideas on the origin of these systems in the result of interaction of magnetic forces and ionized matter. On the basis of this correlation he evaluated the rotational velocity of the Sun at the

*The result by Murthy (26 bis), who obtained an anomalous isotopic composition of silver in meteorites was not confirmed by results of Chacraburthy, Rushing, Anders and Stevens (13 bis).

time of the formation of terrestrial planets (3). In the paper by Alfvén and Wilcox (2 bis) an attempt is made to confirm experimentally the possibility of the ionization of a neutral cloud falling onto the Sun by collisions with ions.

Lyttleton (21) computed several examples of motions in the restricted three-body problem and from their analysis showed that the planetary system could not be formed from matter separated from the Sun at its approach or collision with another star. He studied a hypothesis on the formation of planets from a small part of matter of a star-companion of the Sun, disrupted by rotational instability. In another paper Lyttleton (22) considered the formation of the gas-dust cloud around the Sun through the accretion process. The capture of the amount of matter having mass and momentum of the planetary system was possible only when the velocity of the Sun relative to the interstellar nebula was not more than 0.2 km/sec. This problem for a matter composed only of dust was considered earlier by Agekjan (1, 1 bis).

Tuominen (44) and Safronov (36) criticized the suggestions on the effects of turbulence in the protoplanetary cloud contained in Weizsäcker's hypothesis. Safronov, using his criterium of gravitational instability for flattened systems with differential rotation (38), studied the formation of condensations of dust in the protoplanetary cloud and their further evolution into asteroidal-size bodies (39). He studied also the dispersion of velocities in the rotating systems of gravitating bodies with inelastic collisions (43), the origin of rotation of planets accumulated from solid bodies (42), the change with time of the mass distribution of protoplanetary bodies (40). In the latter paper he showed that a substantial part of the Earth's mass was contributed by large bodies up to 10^3 km in size. Safronov studied also a radiative equilibrium in the protoplanetary cloud and evaluated the temperature of the dust component in connection with the problem of the possibility of condensation of volatile substances into solid particles (41).

Rabe (27), basing on Kuiper's hypothesis about massive protoplanets with gradually decreasing masses, studied their secular perturbations.

Chebotarev and Volkov (14, 15) by direct computations for two Trojan's showed that, with the mass of proto Jupiter 20 times exceeding its present mass, these asteroids would leave the vicinity of libration points, over a period of some hundredths or tenths of a year.

Rabe (28) suggested that the rapidly rotating asteroids originated by merging of binary asteroids, but Ruskol and Safronov (34) showed that it was impossible because the probability of the disruption of such asteroidal pairs is by several orders of magnitude greater than the probability of their merging.

Ruskol (30, 31, 32) studied the formation of a swarm of particles around the growing Earth and showed that this circumterrestrial swarm could be sufficiently massive for the accumulation of the Moon from its matter. While MacDonald (23) believes that the recession of the Moon from the Earth caused by the tidal interaction between them had a duration of only 1.3×10^9 years, Ruskol showed that this recession could begin at the time of formation of the solar system about 4.5×10^9 years ago (33). The heat generated in the Earth by body tides is evaluated.

Urey, in the belief that the Earth's core is of iron and consequently the composition of the Earth and that of the Moon are different, rejects the possibility of their common origin. He suggests the formation of the Moon far away from the Earth and its subsequent capture by the Earth (46, 49, 50).

Wise (53) attempted to return to Darwin's hypothesis of the separation of the Moon from the Earth. He attributed this separation to the rotational instability of the Earth caused by the formation of the core. But he does not mention the works by Liapunoff, by Cartan (1924) and by Lyttleton (22 bis), in which it was shown that Darwin's idea on the fission of rotating mass in two parts was incorrect. Wise's idea is used by Cameron (13) to explain why Venus retained,

as he believes, a primordial atmosphere captured from the protoplanetary cloud while the Earth has no primordial atmosphere.

Ringwood (29) admitting that the differences in densities of terrestrial planets are due mainly to a different content of metallic iron, attempted to explain this by the different degree of reduction of initially fully oxidized matter, correlated with different temperatures inside these planets. But Urey (17) pointed out that during the reduction enormous quantities of CO₂ (amounting to $\frac{1}{4}$ of the planet's mass) must be liberated and their dissipation from planets is impossible.

Several papers by Urey (45, 46, 48, 49, 50, 51) contain reviews of different data upon planets, Moon and meteorites, a critical analysis of hypotheses of their origin and evolution and the author's latest ideas. Urey admits that the mass of the protoplanetary cloud was great enough ($\approx 0.3 M_{\odot}$) and its temperature was low enough (about 4–6° in the region of giant planets) to allow the insert of gravitational instability in the gas mixed with dust and this led to the formation of condensations with a mass about 10^{28} g, i.e. a lunar mass of nonvolatile matter plus a cosmic proportion of volatile matter (In the works of Schmidt's group in Moscow, the insert of gravitational instability in the layer of dust settled to the equatorial plane of the cloud is considered). In this connection Bainbridge (6) studied physical conditions in gaseous spheres of such a mass using the equation of state of imperfect gas.

BIBLIOGRAPHY

1. Agekjan T. A. *Dokl. Akad. N. SSSR*, **69**, 515, 1949.
- 1 bis. Agekjan, T. A. *Učenyje Zapiski Leningrad. gos. Univ.* no. 136, 33, 1950 = *Trudy astr. Obs. Leningrad. gos. Univ.*, **15**, 33, 1950.
2. Alfvén, H. On the mass distribution in the solar system. *Astrophys. J.*, **136**, no. 3, 1005, 1962.
- 2 bis. Alfvén, H., Wilcox, J. M. On the origin of the satellites and the planets. *Astrophys. J.*, **136**, 1016, 1962.
3. Alfvén, H. On the early history of the Sun and the formation of the solar system. *Astrophys. J.*, **137**, 981, 1963.
4. Anders, E. Extinct radioactivity and the prehistory of the solar system. *Z. Naturforschung*, **16a**, 520, 1961.
5. Anders, E. Meteorite ages. *Rev. Mod. Phys.*, **34**, 287, 1962; *The Solar System*, ed. B. Middlehurst and G. Kuiper, Vol. 4, Chap. 13, 402–495, Univ. of Chicago Press, 1963.
6. Bainbridge, J. Gas imperfections and physical conditions in gaseous spheres on lunar mass. *Astrophys. J.*, **136**, 202, 1962.
7. Berlage, H. P. The basic scheme of any planetary or satellite system corrected and reanalysed. *Koninkl. Nederl. Akad. Wet. Proc.*, Ser. B, **62**, 63, 1959.
8. Berlage, H. P. Sur l'origine des satellites en général et de la Lune en particulier. *Ciel et Terre*, **75**, 173, 1959.
9. Berlage, H. P. On accretional instability, the state leading to the transformation of a gaseous disk, rotating in quasi-steady motion round a massive centre, into a set concentric rings of particulate matter. *Koninkl. Nederl. Akad. Wet. Proc.* Ser. B., **65**, 199, 1962.
10. Cameron, A. G. W. The formation of the Sun and planets. *Icarus*, **1**, 13, 1962.
11. Cameron, A. G. W. The origin of atmospheric xenon. *Icarus*, **1**, 314, 1963.
12. Cameron, A. G. W. Formation of the solar nebula. *Icarus*, **1**, 339, 1963.
13. Cameron, A. G. W. The origin of the atmospheres of Venus and the Earth (Preprint).
- 13 bis. Chacraburthy, A. K., Rushing, H. C., Anders E., Stevens C. M. *Amer. geophys. Un Trans.*, **44**, 88, 1963.
14. Chebotarev, G., Volkov, M. The investigation of the motion of the asteroid Patroclus in the gravitational field of the Sun and Proto-Jupiter. *Bjull. Inst. teor. Astr. Akad. N. SSSR*, **7**, no. 3 (86), 202, 1959.

15. Chebotarev, G., Volkov, M. The investigation of the motion of the asteroid Diomedes (1437) in the gravitational field of the Sun and Proto-Jupiter. *Bjull. Inst. teor. Astr. Akad. N. SSSR*, **7**, no. 6 (89), 420, 1959.
16. Ezer, D., Cameron, A. G. W. The early evolution of the Sun. *Icarus*, **1**, 422, 1963.
17. Fowler, W. A., Greenstein, J. L., Hoyle, F. Deuteronomy. Synthesis of deuterons and the light nuclei during the early history of the solar system. *Amer. J. Phys.*, **29**, 393, 1961.
18. Fowler, W. A., Greenstein, J. L., Hoyle, F. Nucleosynthesis during the early history of the solar system. *Geophys. J.*, **6**, 148, 1962.
19. Hoyle, F. On the origin of the solar nebula. *Quart. J. R. astr. Soc.* **1**, 28, 1960.
20. Kuroda, P. K. The time interval between nucleosynthesis and formation of the Earth. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **24**, 40, 1961.
21. Lyttleton, R. A. Dynamical calculations relating to the origin of the solar system. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **121**, 551, 1960.
22. Lyttleton, R. A. An accretion hypothesis for the origin of the solar system *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **122**, 399, 1961.
- 22 bis. Lyttleton, R. A. *Trans. int. astr. Un.*, **8**, 717, 1952.
23. MacDonald, G. J. F. Interior of the Moon. *Science*, **133**, 1045, 1961.
24. McCrea, W. H. The origin of the solar system. *Proc. Roy. Soc. Lond.* **A256**, 245, 1960.
25. Murthy, V. R., Urey, H. C. The time of formation of the solar system relative to nucleosynthesis. *Astrophys. J.*, **135**, 626, 1962.
26. Murthy, V. R., Schmidt, R. A. Isotope abundances of rare Earth elements in meteorites. I. Implications of Samarium, Europium and Gadolinium to the early history of the solar system. *J. Geophys. Res.*, **68**, 911, 1963.
- 26 bis. Murthy, V. R. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **26**, 481, 1962.
27. Rabe, E. Secular perturbations of the protoplanets. *Astr. J.*, **63**, 407, 1958.
28. Rabe, E. On the formation of rapidly rotating asteroids. *Astrophys. J.*, **131**, 231, 1960.
29. Ringwood, A. E. On the chemical evolution and densities of the planets. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **15**, 257, 1959.
30. Ruskol, E. L. On the origin of the Moon. I. The formation of a pre-satellite swarm of bodies around the growing Earth. *Astr. Zu.*, **37**, 690, 1960.
31. Ruskol, E. L. On the origin of the Moon. in *The Moon*, IAU Symp. no. 14, Academic Press, London-New York, p. 149, 1962.
32. Ruskol, E. L. On the origin of the Moon. II. The formation of the Moon in the circumterrestrial swarm of satellites. *Astr. Zu.*, **40**, 288, 1963.
33. Ruskol, E. L. On the tidal evolution of the Earth-Moon system. *Izv. Akad. Nauk. SSSR*, Ser. geofiz., no. 2, 216 1963.
34. Ruskol, E. L., Safronov, V. S. On the origin of rapidly rotating asteroids. *Astr. Zu.*, **38**, 273, 1961.
35. Safronov, V. S. On the growth of the terrestrial planets. *Voprosy Kosmogonii*, **6**, 63, 1958.
36. Safronov, V. S. On the turbulence in the protoplanetary cloud. in Proc. third Symp. on *Cosmical Gas Dynamics*, Cambridge U.S.A., 1957, IAU Symp. no. 8, *Rev. Mod. Phys.*, **30**, 1023, 1958.
37. Safronov, V. S. On the initial temperature of the Earth. *Izv. Akad. Nauk. SSSR*, Ser. geofiz., no. 1, 139, 1959.
38. Safronov, V. S. On the gravitational instability in flattened system with axial symmetry and non-uniform rotation. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, **130**, 53, 1960; *Ann. Astroph.*, **23**, 979, 1960.
39. Safronov, V. S. On the formation and evolution of the protoplanetary condensations. *Voprosy Kosmogonii*, **7**, 121, 1960.
40. Safronov, V. S. A particular case of solution to coagulation equation. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, **147**, 64, 1962.
41. Safronov, V. S. On the temperature of the dust component of the protoplanetary cloud. *Astr. Zu.*, **39**, 278, 1962.
42. Safronov, V. S. On the problem of planet rotation. *Voprosy Kosmogonii*, **8**, 150, 1962.
43. Safronov, V. S. On the velocity dispersion in rotating systems of gravitating bodies with inelastic collisions. *Voprosy Kosmogonii*, **8**, 168, 1962.

44. Tuominen, J. On the vortices postulated in von Weizsäcker theory of the origin of the solar system. *Z. Astrophys.*, **46**, 88, 1958.
45. Urey, H. C. The early history of the solar system as indicated by meteorites. *Proc. Chemical Soc. London*, 67-78, March 1958.
46. Urey, H. C. Lines of evidence in regard to the composition of the Moon. (Proc. First Intern. Space Science Symp. Nice 1960), *Space Research I*, p. 1114. North-Holland Publ. Co. Amsterdam, 1960.
47. Urey, H. C. On the chemical evolution and densities of the planets. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **18**, 151, 1960.
48. Urey, H. C. Evidence regarding the origin of the Earth. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **26**, 1, 1962.
49. Urey, H. C. The origin of the Moon and its relationship to the origin of the solar system. in *The Moon*, IAU Symp. no 14, Academic Press, London-New York, p. 133, 1962.
50. Urey, H. C. Origin and history of the Moon. in *Physics and Astronomy of the Moon*, ed. Z. Kopal, Academic Press, London-New York, 1962. p. 481.
51. Urey, H. C. The origin and evolution of the solar system. *Space Science*, ed. D. P. Le Galley, New York, ch. IV, 123-168, 1963.
52. Whipple, F. L. Notes on comets, meteors and planetary evolution. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **70**, 485, 1958.
53. Wise, D. U. An origin of the Moon by rotational fission during formation of the Earth's core. *J. geophys. Res.*, **68**, 1547, 1963.

Addendum

Papers presented at the Symposium on the Origin of the Earth and Planets and published in *Voprosy Kosmogonii* [Problems of Cosmogony], **7**, 1960.

1. Jeffreys, H. Problems concerning the origin of the solar system, p. 5.
2. Ruskol, E. L. Some remarks on the protoplanet formation, p. 8.
3. Hoyle, F. On the origin of the solar nebula, p. 15.
4. Lebedinsky, A. I. On the reasons of various abundances of hydrogen in planets, p. 50.
5. Levin, B. J. On distances and masses of the planets, p. 55.
6. Safronov, B. S. Accumulation of terrestrial planets, p. 59.
7. Krat, V. A. On the process of the formation of the terrestrial planets, p. 66.
8. Urey, H. C. The origin of meteorites in relation to the origin of the solar system, p. 69.
9. Urey, H. C., Du Fresne, E. Abundances of the elements, p. 71.
10. Cameron, A. Notes on the origin of the solar system, p. 86.
11. Kuiper, G. Surface of the Moon and early development of the solar system, p. 89.
12. Whipple, F. Notes on comets, meteors, and planetary evolution, p. 91.

II. ÉTUDE PHYSIQUE DE LA LUNE

Quatre ouvrages de synthèse d'une importance particulière ont été publiés sur la Lune depuis 1960. Ce sont les ouvrages de A. B. Markov (1), de Z. Kopal (2), le Volume IV de l'Encyclopédie de G. P. Kuiper (3), et le Symposium UAI no. 14 (4).

1. *Etude polarimétrique*

Les anciennes mesures de polarisation relevées de 1933 à 1938 par F. E. Wright ont été publiées (3). D'assez nombreuses mesures polarimétriques ont été relevées sur des petites régions de la surface lunaire à l'aide de polarimètres photoélectriques en Union Soviétique, (A. B. Markov à Leningrad, V. P. Dzhapiashvili à Abastumani, Géorgie) (4). La polarisation maximum varie en sens inverse du pouvoir réflecteur de la surface, mais les anciens cratères à fonds plats et sombres donnent une polarisation systématiquement trop faible. Le U.S. Geological Survey s'équipe d'un polarimètre visuel à franges de Lyot pour l'étude de telles anomalies (E. Shoemaker). Un polarimètre photoélectrique est à l'étude dans le même but à

l'Université de Manchester (D. Clarke sous la direction de Z. Kopal (5)). V. P. Dzhapiashvili et L. V. Xanfomaliti ont achevé à Abastumani le dispositif photoélectrique qui leur permet de reconstituer et photographier des images de la Lune en lumière polarisée, et de découvrir directement sur les clichés des régions lunaires donnant des polarisations anormales (4, 45).

La variation de la polarisation de la lumière avec la longueur d'onde est étudiée photoélectriquement à l'Observatoire McDonald à 3500 Å, 5600 Å et 9900 Å par T. Gehrels (6) et à l'Observatoire de Meudon de 5400 Å à 1·8 microns par M. Marin et A. Dollfus (non publié). Des mesures de laboratoire sont développées simultanément.

La polarisation de la lumière par le sol lunaire s'explique toujours comme provenant d'une poudre constituée de grains de toutes dimensions, entremêlés, sombres et complètement opaques même sous l'épaisseur de quelques microns. A. Dollfus a montré que cette structure poudreuse caractérise de la même façon Mercure, Ganymède, Callisto, Cérés, Vesta, Pallas, Iris et probablement tous les corps du système solaire dépourvus d'atmosphère et de dépôts superficiels de givre (7). Le calcul montre que les tensions provenant des variations thermiques sont insuffisantes pour engendrer la pulvérisation superficielle. La texture pulvérulente résulte très probablement des impacts avec les petits météores et la poussière cosmique durant les derniers milliards d'années (A. Dollfus, référence citée, et J. A. Ryan (8)).

2. Etude photométrique

La magnitude apparente de la pleine Lune a été remesurée photoélectriquement dans le système *UBV* par Gallouët, soit $V = -12.75 \pm 0.01$ et $(B-V) = +0.94$ (9).

Les courbes d'éclat des régions lunaires en fonction de l'angle de phase obtenues dans le passé par la photométrie photographique sont maintenant déterminées photoélectriquement, au Pic-du-Midi par les élèves de Z. Kopal, à Tucson et à l'Observatoire McDonald par G. P. Kuiper et T. Gehrels (4). Les mesures de T. Gehrels montrent un brusque et très rapide accroissement de la brillance au voisinage de la phase nulle, c'est-à-dire lorsque la lumière revient dans la direction de la source.

Les recherches d'interprétation par comparaison avec les échantillons minéraux au laboratoire ont été très nombreuses. A Leningrad, V. V. Sharonov et ses collaborateurs retrouvent les propriétés photométriques de la Lune sur des scories criblées de toutes dimensions. A Kharkov, N. P. Barabashev reconnaît les courbes d'éclat lunaire sur les dépôts de fragments complexes et crevassés de roches broyées. N. N. Sytinskaya et V. V. Sharonov expliquent ces structures criblées par les nombreuses explosions des petites météorites (45). Cependant les identifications précédentes ne tiennent pas compte de la nature poudreuse trouvée par la polarisation et les mesures thermiques.

E. Öpik envisage des structures rugueuses analogues aux précédentes mais recouvertes et enveloppées de poudre (10).

Aux Etats-Unis, B. Hapke, sous la direction de T. Gold, a montré expérimentalement qu'une fine poudre tamisée donne des structures très aérées dans lesquelles les grains reposent les uns sur les autres de façon complexe. Les propriétés photométriques sont exactement celles de la Lune. La théorie des ombres portées par les grains dans cet enchevêtrement rend compte de ces propriétés (11). Le dépôt polarise la lumière de la même façon que la surface lunaire.

Les recherches analogues développées à l'Université d'Arizona sous la direction de G. P. Kuiper confirment aussi qu'il n'est pas nécessaire d'envisager des surfaces rugueuses et que des dépôts de grains enchevêtrés suffisent à donner les propriétés photométriques de la Lune; les résultats laissent pressentir une structure fibreuse avec adhérence des éléments constitutifs.

3. Action des protons du vent solaire

La structure superficielle du sol lunaire semble fortement altérée par les impacts des protons

d'origine solaire. T. Gold a bombardé au laboratoire des poudres claires de dunité avec des flux de protons équivalant à l'exposition au Soleil pendant 10^6 années. La poudre s'assombrit et acquiert le pouvoir réflecteur ainsi que la couleur du sol lunaire; il y a formation d'éléments sombres tels que le Fe_3O_4 , du carbone libre ou des métaux libres.

G. P. Kuiper a montré que la surface peut prendre une structure complexe et filamenteuse. Les laboratoires de la General Mills Inc. ont constitué de la sorte des croûtes fibreuses adhérentes (12). Leurs propriétés ont été discutées par C. R. Warren (13, 14).

4. *Luminescence du sol lunaire*

Les recherches classiques de F. Link, N. A. Kozyrev et Dubois ont été développées avec plus de précision par J. F. Granger et J. Ring qui ont mesuré photoélectriquement la profondeur des raies H et K dans le spectre lunaire, à Asiago. Des variations de 3 à 10% d'un point à l'autre de la surface lunaire indiqueraient une luminescence localisée et variable sur certaines régions seulement, attribuée au rayonnement *UV* solaire, équivalant à quelques Stilbs/Watt, soit environ le dixième de nos substances terrestres les plus luminescentes (J. F. Granger (15)) Des observations analogues sont en préparation au Lunar and Planetary Laboratory de l'Université d'Arizona par G. P. Kuiper.

La luminescence par bombardement protonique, d'une autre nature, a fait l'objet d'expériences de laboratoire à l'Université de Manchester; certaines météorites enstatites achondrites donnent une luminescence appréciable dans le rouge vers 6721 \AA (C. J. Derham et J. E. Geake (16)). Des clichés de la Lune obtenus par Z. Kopal le 1er novembre 1963 à travers des filtres interférentiels isolant ce domaine spectral et un domaine voisin dénotent autour du cratère Kepler des différences d'éclat attribuables à une telle luminescence.

5. *Mesures thermiques*

La découverte de l'anomalie thermique du cratère Tycho pendant les éclipses de 1960 par Shorthill et par Sinton a redonné aux mesures thermiques dans le domaine de 8 à 14μ une importance particulière. Les perfectionnements des bolomètres permirent à R. W. Shorthill et J. M. Saari de dresser les cartes thermiques de onze régions de la pleine Lune avec une résolution d'environ $50''$ et d'expliquer les faibles différences de température par des variations locales de la rugosité du sol (17, 18). A l'Observatoire de Crimée, un groupe de recherches a montré que certains cratères tels que Aristarchus atteignent une température moins élevée que les régions voisines (19).

Pendant l'éclipse du 5 septembre 1960, selon Shorthill et Saari (ref. citée), les cratères à auréoles Tycho, Aristarchus, Copernicus, Proclus, Kepler se sont moins refroidis que les régions voisines. Pendant l'éclipse du 26 août 1961, W. Sinton a mesuré 17 cratères et décelé de semblables anomalies. Le facteur classique $(K\rho C)^{-1/2}$ vaut de 300 à 400 sur ces cratères au lieu de 700; il faut que la couche poudreuse soit plus mince ou localement compressée.

Explorant la partie non éclairée de la Lune au-delà du terminateur, B. C. Murray et R. L. Wildey ont déterminé la baisse de température après que le Soleil ait cessé d'éclairer le sol lunaire (20); la variation n'est pas celle d'une couche de poudre épaisse uniforme; il faut supposer des blocs épars plus conducteurs ou une poudre couvrant un socle conducteur, ou un dépôt de poudre progressivement compressé en profondeur.

Les cratères à auréoles Tycho et Copernicus confirment un refroidissement beaucoup plus lent; quelques autres régions montrent des anomalies semblables.

R. W. Shorthill (Boeing Scient. Research Lab.), R. Sternberg (University of Manchester), D. Menzel et Ingrao (Harvard College Observatory) équipent de nouveaux instruments pour améliorer les observations. T. Gold (Cornell University), prépare un programme de mesures au laboratoire dans les conditions lunaires.

6. Mesures radioélectriques

La température radioélectrique de la Lune comprend un terme constant et un terme variable avec l'angle de phase, souvent réduit à son premier harmonique, dont l'amplitude décroît avec la longueur d'onde. Voici quelques-unes des mesures recueillies récemment:

Table 1. Observations radioélectriques

λ	Auteurs	T
0.40 cm	A. G. Kisljakov (21)	$230^{\circ}\text{K} + 73^{\circ} \cos(\Omega t - 24^{\circ})$ (ensemble du disque)
2.3	N. L. Kaydanovsky, V. N. Ihsanova, G. P. Apushinsky, O. N. Shivris, (4, p. 527)	$\pm 13^{\circ}5$
3.2	K. M. Strezneva and V. S. Troitsky (4, p. 501)	$245^{\circ} + 15^{\circ}5 \cos(\Omega t - 50^{\circ})$ (centre du disque)
	V. S. Troitsky (22) and V. D. Krotikov, V. A. Porfiriev and V. S. Troitsky (23).	$210^{\circ} + 13^{\circ}5 \cos(\Omega t - 55^{\circ})$ $+ 1.7 \cos(\Omega t + 44^{\circ})$ $+ 0.5 \cos(3\Omega t + 11^{\circ})$ (ensemble du disque)
9.4 cm	W. J. Medd and N. W. Broten (24).	220°K (variation avec la phase $< 5\%$)
9.6	V. D. Krotikov (25).	$218^{\circ} + 7^{\circ} \cos(\Omega t - 40^{\circ})$
10	V. N. Koshchenko, A. D. Kuzmin and A. E. Salomonovich (4, p. 497).	230° (variation avec la phase $< 4^{\circ}5$)
21	J. A. Waak (26).	205° (variation avec la phase $< 5^{\circ}$)
178MHz	J. E. Baldwin (27).	$233^{\circ} \pm 8^{\circ}\text{K}$ (sans variation avec la phase)

Les mesures pendant les éclipses par Castelli et Ferioli (28), Gibson (29), Tyler et Copeland (30) et Tolbert (31), ne s'accordent pas.

Utilisant la haute résolution de l'antenne de Poulkovo sur 3.2 cm, N. S. Soboleva (32, 45) a mesuré la proportion polarisée linéairement de l'émission radioélectrique au bord du limbe par suite de la réfraction et déduit une valeur de la constante diélectrique du sol lunaire comprise entre 1.5 et 1.7. Drake, aux Etats-Unis, rapporte des observations analogues qui conduisent à la valeur 2.0 pour la constante diélectrique.

A. E. Salomonivitch et ses collaborateurs (33) ont exploré la Lune sur 0.8 cm avec une résolution de 2', sur 2.0 cm avec 4', sur 3.2 cm avec 6'3; la température varie avec la latitude φ selon la loi $\cos^{1/2}\varphi$. Le facteur classique $(K\rho C)^{-1/2}$ serait compris entre 300 et 750; la perméabilité diélectrique vaudrait 1.5; la densité moyenne de matériau 0.5 gr cm⁻³; ces valeurs sont confirmées par V. S. Troitsky. La densité et la conductivité thermique semblent décroître vers la surface.

V. S. Troitsky et V. D. Krotikov ont amélioré la précision des mesures absolues de température par comparaison avec des corps noirs (34, 35, 45) (Rapports Symp. Cospar, Varsovie, 1963); le terme indépendant de la phase varie de 205°K pour $\lambda = 0.4$ cm à 237°K pour $\lambda = 50$ cm; par suite, la gradient thermique vertical entre la surface du sol et la profondeur de 20 m serait 1.6 degré m⁻¹; le flux thermique émis par la Lune serait 1.3.10⁻⁶ cal. sec⁻¹ cm⁻² qui

est exactement la valeur connue pour la Terre. Le flux de chaleur spécifique (par gramme de matériau lunaire) vaudrait $2.2 \cdot 10^{-7}$ cal. gr^{-1} et serait de 6 à 7 fois supérieur à celui de la Terre.

7. *Etude des échos radar*

Des rapports généraux très complets de J. V. Evans, G. H. Pettengill, T. B. Senior, K. M. Siegel, etc. . . résumant la question (2, 3, 4).

La réflexion spéculaire non dépolarisée caractérise pour $\lambda = 70$ cm une réflectivité de 0.07 et une constante diélectrique de 2.6. Cette valeur, plus forte que celle déduite des émissions radioélectriques, provient d'une profondeur plus grande et pourrait indiquer soit une stratigraphie verticale complexe, soit un tassement progressif de la couche poudreuse. La variation de la section efficace avec la longueur d'onde confirme de telles interprétations.

La réflexion diffuse dépolarisée varie avec la distance φ au bord du disque comme $\cos^{3/2}\varphi$; elle provient de faibles rugosités ou compressions locales de la couche à l'échelle comprise entre la longueur d'onde et la profondeur de pénétration de l'onde.

En 1961, G. H. Pettengill et J. C. Henry ont décelé sur 70 cm un écho anormal que le retard par rapport à l'écho principal et le changement de fréquence dû à la libration permet de localiser exactement à l'emplacement du cratère Tycho. Cette formation auréolée très récente était déjà singularisée par ses propriétés thermiques.

8. *Cartographie de la surface lunaire*

Le Air Chart and Information Center (ACIC) de l'Armée de l'Air américaine poursuit, sous la direction de M. R. Carder, la publication des cartes de la région centrale du disque de la Lune (cartes LAC). Ce travail utilise le catalogue donnant 4510 positions de cratères à la surface de la Lune, achevé et publié sous la direction de G. P. Kuiper (D. W. G. Arthur (36)). Les altitudes relatives des reliefs lunaires sont déterminées par la mesure de la longueur des ombres portées, à l'aide des nombreuses séquences de clichés de la Lune qui continuent à être enregistrées régulièrement au Pic-du-Midi par le groupe de Z. Kopal; l'Observatoire Kwasan, au Japon, contribue à cette coopération. Enfin, les petits détails sont contrôlés directement par l'observation visuelle, par un groupe d'observateurs travaillant à l'Observatoire Lowell sous la direction de M. Cannell.

Les clichés des régions voisines du bord du disque sont photographiés à nouveau après projection sur un globe pour corriger la perspective, au Lunar and Planetary Laboratory de l'Université d'Arizona; des dessins sont effectués d'après ces documents par K. Herring et un atlas rectifié de la Lune est préparé par G. P. Kuiper, Whitaker Hartmann et Spradley, en collaboration avec le ACIC (37).

Les clichés de la face de la Lune opposée à la Terre obtenus par la sonde spatiale soviétique le 7 octobre 1959 ont été réexaminés par A. A. Mikhailov, Y. N. Lipsky, D. E. Shchegolev, A. V. Markov, etc. . . (3, 4). Une nouvelle présentation photographique de ces clichés a été entreprise par E. A. Whitaker en composant les différentes images (38, 3).

9. *Etude télescopique de la surface lunaire*

Le réflecteur de 300 cm de l'Observatoire Lick a délivré un ensemble de photographies lunaires d'une exceptionnelle qualité; la résolution atteint 600 mètres. Des images de la collection des clichés à haute résolution obtenus au Pic-du-Midi depuis 1943 ont été publiées par A. Dollfus (4); quelques premières photographies ont été réalisées avec le nouveau réflecteur de 100 cm du Pic-du-Midi; l'étude visuelle de la rugosité du sol permet un datage des formations superficielles; de très fines failles ouvertes puis refermées, et quelquefois déboîtées, sont observées.

La station d'observation du U.S. Geological Survey à Flagstaff (Arizona) effectue des observations visuelles systématiques et disposera prochainement d'un réflecteur de 75 cm.

G. P. Kuiper, D. W. G. Arthur et leurs collaborateurs ont dressé un catalogue de 200 cratères plus grands que 3·5 km sur un quart de la surface lunaire (39); des cartes des dômes, des rainures, etc. . . . ont été dressées (4). L'étude statistique des dimensions des cratères par W. K. Hartman permet l'étude des détériorations des configurations lunaires au cours du temps. Des statistiques de cratères sont également entreprises à Manchester sous la direction de Z. Kopal.

G. Fielder a développé plusieurs études tectoniques, notamment sur le Mur Droit, les stries, les rainures et les dômes.

V. G. Teifel a étudié par photométrie la répartition de la matière claire dans les auréoles et les rayons de cinq cratères; il estime que près de 10^5 tonnes auraient été éjectées à chacun de ces impacts, soit 10^{11} cm³, représentant seulement une fraction insignifiante du volume de chaque cratère (4).

Il apparaît maintenant clairement que l'effacement des auréoles autour des cratères anciens provient de l'assombrissement du matériau par le bombardement protonique solaire.

Appliquant les méthodes de la stratigraphie, Hackman, Eggleton, et Marshall de l'U.S. Geological Survey, sous la direction de E. Shoemaker, ont effectué la cartographie géologique de certaines régions lunaires en discriminant les différentes couches superficielles rattachées à des systèmes d'ancienneté différente dénommées Imbrian, Procellarian, Erathosthenian, Copernican; ils ont étudié les variations d'épaisseur probable du dépôt projeté par le système Procellarian et proposé un datage relatif par statistique photométrique de la rugosité du sol des petits cratères (40, 2, 4).

En utilisant systématiquement les clichés lunaires corrigés de la perspective, G. P. Kuiper et W. K. Hartman ont démontré qu'une douzaine de bassins du type des mers circulaires sont entourés de plusieurs anneaux concentriques alternativement surélevés et affaissés caractérisant les répercussions tectoniques lors de la formation de ces mers (41). Mare Imbrium est entourée de structures radiales nombreuses distinctes des incisions par les projectiles secondaires, indiquant plutôt la création de failles résultant des tensions dans la croûte accompagnées souvent d'extrusion (42). Les bassins semblent avoir été formés bien avant les épanchements de lave qui les remplissent maintenant.

S'écartant des interprétations classiques, O'Keefe et A. Cameron pensent que les couches superficielles de la Lune contiennent une forte proportion de silice et de composés acides; les mers seraient constituées par un tuff de roches soudées du type ignimbrite. Les dômes, les dépressions sinueuses (telles que Schröter Vallis) seraient la manifestation d'activité ignée, du type laccolithe et nuées ardentes (43).

10. *Formation des cratères*

L'origine balistique des cratères semble maintenant bien démontrée.

Une théorie de la propagation des ondes de choc a été élaborée par E. Shoemaker (1961). Elle permet notamment d'expliquer la répartition de nombreux impacts secondaires observés autour du cratère Copernicus par projection de débris lors de l'explosion initiale.

Au U.S. Geological Survey également, Shoemaker, Gault, Lugn et Moore ont étudié les impacts artificiels provoqués par des corps accélérés, et des déflagrations de charges détonnantes. Chao, Fahey, Sittler et Milton ont prouvé la formation caractéristique de deux polymorphes à haute pression de la silice, la coesite et la stishovite.

Les cratères météoritiques terrestres ont fait l'objet d'études particulièrement approfondies. R. B. Baldwin consacre un important ouvrage à cette question (44). L'encyclopédie de G. P. Kuiper constitue une mise au point fondamentale: E. L. Krinov distingue les cratères météoritiques d'explosion dont le corps percutant a été volatilisé et les cratères d'impacts dont

les fragments du météore se retrouvent dans le sol. Il étudie 11 cas de cratères ou groupes de cratères terrestres. H. H. Nininger étudie la répartition des cratères météoritiques terrestres et démontre leurs fréquentes structures en essaims groupés. C. S. Beals et ses collaborateurs, ainsi que R. S. Dietz, étudient les cratères terrestres fossiles. L'Académie des Sciences d'U.R.S.S. a publié de nouveaux détails sur l'étude géologique des grands cratères météoritiques contemporains de Tunguska tombé le 30 juin 1908 et de Sikhote-Alin formé le 12 février 1947 (E. L. Krinov). E. Shoemaker au U.S. Geological Survey a étudié en détails le 'Meteor crater', Arizona, a déterminé le mouvement des couches géologiques lors de l'impact et a montré la présence de coesite et de stishovite; les circonstances de la formation ont été précisées en grand détail. Le grand bassin de Ries, en Allemagne, est en cours d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

1. Markov, A. B. *La Lune*, Moscou, 1960 (traduction en anglais diffusée aux U.S.A.).
2. Kopal, Z. *Physics and Astronomy of the Moon*. Academic Press, London-New York, 1962.
3. *The Moon, Meteorites and Comets* (The Solar System, Vol. IV). Editeurs G. P. Kuiper et B. Middlehurst, Univ. of Chicago Press, 1963.
4. Symp. UAI no. 14, *The Moon*. Editeurs, Z. Kopal et Z. Mikhailov. Academic Press, London-New York, 1962. Edition en russe, Moscou, 1963.
5. Clarke, D. *Astr. Contr. Univ. Manchester* III, no. 93.
6. Gehrels, T. *Appl. Optics*, 2, 67, 1963.
7. Dollfus, A. *Handbuch der Physik*, Vol. 54, p. 180. Springer Verlag, 1962.
8. Ryan, J. A. *Douglas Aircraft Eng. Pap.* no. 1294.
9. Gallouët, L. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 256, 4593, 1963.
10. Öpik, E. *Progress Astronaut. Sci.* Vol. 1, S. F. Singer, éd. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1962. p. 219.
11. Hapke, B. *Cornell Univ. CRSR* 1963, Rep. no. 138, 139, 140, 147.
12. Kuiper, G. P. *Planet. and Space Sci.*, 11, 1257, 1963.
13. Warren, C. R. *U.S. Geolog. Survey*. Prof. Pap. 475 B, p. 148.
14. Warren, C. R. *Science*, 140, 188, 1963.
15. Granger, J. F. *Astr. Contr. Univ. Manchester* III, no. 104, 1963.
16. Derham, C. J., Geake, J. E. *Nature*, 1963.
17. Saari, J. M., Shorthill, R. W. *Boeing Sci. Res. Lab. Rep.* July 1962, Aug. 1962.
18. Saari, J. M., Shorthill, R. W. *Icarus*, 2, 115, 1963.
19. *Izv. Kryn. astrofiz. Obs.*, 30, 1963.
20. Murray, B. C., Wildey, R. L. *Astrophys. J.*, 137, 692, 1963.
21. Kisljakov, A. G. *Astr. Zu.*, 38, 561, 1961.
22. Troitsky, V. S. *Izv. Vysšikh Učebn. Zaved., Radiofizika*, 5, 602, 1962.
23. Krotikov, V. D., Profiryev, V. A., Troitsky, V. S. *Izv. Vysšikh Učebn. Zaved., Radiofizika*, 4, 1004, 1961.
24. Medd, W. J., Broten, N. W. *Planet. and Space Sci.*, 5, 307, 1961.
25. Krotikov, V. D. *Izv. Vysšikh Učebn. Zaved., Radiofizika*, 5, 604, 1962.
26. Waak, J. A. *Astr. J.*, 66, 298, 1961.
27. Baldwin, J. E. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 122, 513, 1961.
28. Castelli, J. P., Ferioli, C. P. *U.S. Air Force AFCRL Rep.* 62-882.
29. Gibson, J. E. *Astrophys. J.*, 133, 1072, 1961.
30. Tyler, W., Copeland, J. *Astr. J.*, 66, 56, 1961.
31. Tolbert, C. W. *Electr. Eng. Res. Lab. Univ. Texas*, Rep. no. 125, 1961.
32. Soboleva, N. S. *Astr. Zu.*, 39, 1124, 1962.
33. Salomonovitch, A. E. *Astr. Zu.*, 39, 79 et 1074, 1962.
34. Troitsky, V. S., Krotikov, V. D. *Astr. Zu.*, 39, 73, 1962.
35. Troitsky, V. S., Krotikov, V. D. *Izv. Vysšikh Učebn. Zaved., Radiofizika*, 5, 602 et 839, 1962.
36. Arthur, D. W. G. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), 1, no. 11, 47, 1962.

37. Herring, A. K. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **1**, no. 4, 9 et 19, 27, 43, 154, 1962.
38. Whitaker, E. A. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **1**, no. 13, 67, 1962.
39. Arthur, D. W. G. *et al.* *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **2**, no. 30, 71, 1963.
40. Hackman, R. T., Eggleton, R. E., Marshall C. H. *U.S. Geol. Survey, Astrogeol. Stud., Annu. Rep.* 1961-62, Part A.
41. Hartman, W. K., Kuiper, G. P. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **1**, no. 12, 51, 1962.
42. Hartman, W. K. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **2**, no. 24, 1, 1963.
43. O'Keefe, J. A., Cameron, W. S. *Icarus*, **1**, 271, 1962.
44. Baldwin, R. B. *The measure of the Moon.* Univ. of Chicago Press, 1963.
45. Fourth Intern. Space Sci. Symp., Varsovie, 1963. *Space Res.* **IV** (sous presse).

III. OBSERVATION PHYSIQUE DES PLANÈTES

Un colloque international sur 'La Physique des Planètes' s'est tenu à Liège (Belgique) du 9 au 11 juillet 1962 (1).

Les deux Centres de Documentation Photographique sur les planètes de l'UAI sont organisés à l'Observatoire de Meudon (France) et au Lowell Observatory (U.S.A.). Le Centre de Meudon possède déjà 4000 clichés de Mercure, Vénus, Saturne et plus spécialement Mars et Jupiter, reproduits généralement à l'échelle de 1' par mm, classés et consultables. Le Centre de Lowell a publié l'ouvrage 'Mars' de E. C. Slipher reproduisant plusieurs centaines de clichés de la planète Mars, accompagnés d'une étude approfondie et prépare un ouvrage semblable sur les autres planètes. La création et la constitution de ces Centres seront exposées dans les rapports du Comité 16c devant la Commission, au Congrès de Hambourg, rapports qui figureront au procès-verbal de ces réunions.

C. Tombaugh et B. Smith préparent un atlas de très nombreuses photographies de Vénus en ultra-violet.

La présente Commission a organisé des campagnes d'observation par coopération d'Observatoires répartis sous différentes longitudes, sur Mercure (mesures du diamètre lors du passage devant le disque solaire), sur Vénus (évolution des taches en ultra-violet et circulation atmosphérique), sur Mars (mesures polarimétriques, étude des nuages et de leur déplacement) sur Saturne (durée de rotation lors de l'apparition des taches à la surface).

Les résultats de ces coopérations, ainsi que les travaux effectués sur les documents des Centres Photographiques, sont reportés ci-dessous pour chaque planète.

BIBLIOGRAPHIE

1. Coll. Intern. Astrophys. Liège, 1962, *La Physique des Planètes.* Publ. Inst. Astrophys., Cointe-Sclessin, 1963.

TRAVAUX SPECTROSCOPIQUES AU LABORATOIRE

Le Professeur G. Herzberg a préparé pour ce Rapport un mémoire dont voici les principaux extraits:

'Rank and his collaborators (1, 2) have initiated a very detailed study of the quadrupole spectrum of molecular hydrogen which is of great interest to the study of the outer planets. They have measured the absolute intensities of the 1-0 and 2-0 bands and studied the effect of resolving power on the apparent intensity of this spectrum as well as the effect of pressure on the

width and position of the lines. They are planning to extend this work to the 3-0 band and when that is done will have provided a much more reliable basis for estimates of the amount of H_2 in the atmospheres of the outer planets. T. C. Owen (3) has recently investigated the absorption spectra of several gases that might be of interest for comparison with the spectrum of Jupiter. Although no new molecules have been identified, an additional feature due to NH_3 has been established by this comparison and a new upper limit for the deuterium: hydrogen ratio has been obtained.

It appears likely that the free radicals NH_2 and CH_2 may be formed in the upper atmospheres of the outer planets by photodecomposition of the abundant molecules NH_3 and CH_4 respectively. With this in mind some years ago Ramsey (4) listed the lines of NH_2 most likely to occur at low temperature. Recently Herzberg and Johns (5) have made a similar study for CH_2 , however, up to now none of the laboratory lines have been observed in planetary spectra.

A considerable amount of laboratory work in the vacuum ultra-violet has been carried out which may become of importance when planetary spectra from outside the atmosphere will be available. A summary of this work up to 1960 has been given by Herzberg, Monfils and Rosen (6). This work is continuing in many laboratories'.

BIBLIOGRAPHIE

1. Rank, D. H., Wiggins, T. A. *J. Opt. Soc. Am.*, **53**, 759, 1963.
2. Rank, D. H., Rao, B. S., Sitaram, P., Slomba, A. F., Wiggins, T. A. *J. Opt. Soc. Amer.*, **52**, 1004, 1962.
3. Owen, T. C. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **2**, no. 29, 65, 1963.
4. Ramsey, D. A. *Mém. Soc. Roy. Sci. Liège*, (4), **18**, 471, 1957.
5. Herzberg, G., Johns, J. W. C. *Mém. Soc. Roy. Sci. Liège* (5), **7**, 117, 1963.
6. Herzberg, G., Monfils, A., Rosen, B. *Mém. Soc. Roy. Sci. Liège* (5), **4**, 146, 1961.

LA PLANÈTE MERCURE

Les informations générales sur Mercure sont résumées dans trois publications d'ensemble, par R. L. Newburn (1), A. Dollfus (2), C. Sagan et W. W. Kellogg (3).

Le diamètre de Mercure a été déterminé avec une précision nouvelle grâce à la coopération internationale organisée par la présente Commission à l'occasion du passage de la planète devant le Soleil, le 7 novembre 1960 (cf. (4)). Des mesures à double image ont été effectuées par G. P. Kuiper en Arizona (U.S.A.), H. Camichel au Pic-du-Midi (France), A. Dollfus au Mt Wilson (U.S.A.). La méthode photométrique recommandée par le Professeur Hertzprung a été mise en oeuvre par J. Rösch et H. Camichel au Pic-du-Midi (France), et par A. Dollfus et J-L. Leroy à Meudon (France). Les cinq déterminations précédentes conduisent à la valeur $6^{\circ}.67$ à 1 U.A., avec une dispersion de 1%. Le rayon planétaire vaut 2420 km. En admettant, d'après Brouwer et Clemence, la masse 3.21×10^{29} grammes, la densité devient 5.45.

W. E. Howard, A. H. Barrett et F. T. Haddock ont réussi à mesurer l'émission radio-électrique de Mercure sur 3.45 et 3.75 cm (5, 6). En supposant l'hémisphère obscur au zéro absolu et la variation de T avec l'inclinaison des rayons égale à $T = T_0 (\cos i)^{1/4}$; la température T_0 du point ayant le Soleil au zénith est trouvée égale à $1100 \pm 300^{\circ}K$. La valeur théorique serait $620^{\circ}K$ et les mesures bolométriques à 10 microns donnent $610^{\circ}K$. Pour expliquer cet écart, G. B. Field invoque une faible atmosphère qui échaufferait la face obscure par convection. Une pression au sol de l'ordre de 1 mm/Hg serait compatible avec les déterminations polarimétriques de A. Dollfus (1950) et paraîtrait suffisante. G. P. Kuiper avait suggéré qu'une telle atmosphère serait constituée par l'Argon A^{40} dégagé du sol par radioactivité; la quantité d'argon serait alors de l'ordre de 10^{-8} fois la masse de la planète qui se trouve être aussi la

proportion d'argon dans l'atmosphère terrestre. G. B. Field (7) discute la température probable de l'exosphère et les conditions de l'évaporation de l'argon.

En supposant l'intérieur de Mercure en équilibre thermique, la production de chaleur par radioactivité semblable à celle donnée par les météorites chondritiques et une conductivité thermique de $1.33 \text{ cal. deg.}^{-1} \text{ min}^{-1}$, J. C. G. Walker (8) calcule un flux de chaleur à la surface de $3.2 \times 10^{-5} \text{ cal. cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, et une température au pôle de l'hémisphère obscur de 28°K . Toutefois, la densité élevée du globe rend possible l'existence d'un noyau métallique qui changerait les conditions du calcul.

Des échos de radar ont été détectés sur 43 cm par V. A. Kotelnikov (9) qui trouve une réflectivité d'environ 6%, analogue à celle observée sur la Lune, ce qui confirme encore l'analogie entre ces deux astres, déjà prouvée par les propriétés photométriques et polarimétriques. Des mesures ont été recueillies au radar de Goldstone sur 12.5 cm.

BIBLIOGRAPHIE

1. Newburn, R. L. *Adv. Space Science and Technology*, **3**, p. 195. Academic Press, 1961.
2. Dollfus, A. *Handbuch der Physik*, **54**, p. 180. Springer Verlag, 1962.
3. Sagan, C., Kellog, W. W. *Ann. Rev. Astr. and Astrophys.*, **1**, 235, 1963.
4. Dollfus, A. *Icarus*, **2**, 219, 1963.
5. Howard, W. E., Barrett, A. H., Haddock, F. T. *Astr. J.*, **66**, 287, 1961.
6. Howard, W. E., Barrett, A. H., Haddock, F. T. *Astrophys. J.*, **136**, 995, 1962.
7. Field, G. B. *Astr. J.*, **67**, 575, 1962.
8. Walker, J. C. G. *Astrophys. J.*, **133**, 274, 1961.
9. Kotelnikov, V. A. *Dokl. Akad. N. SSSR*, **147**, 1320, 1962.

LA PLANÈTE VÉNUS

Diamètre du globe, masse, densité

La discussion des mesures des instants d'occultation de Régulus par Vénus le 7 juillet 1959 conduisit D. Y. Martynov (1) à la valeur du rayon apparent de Vénus à 1 U.A. de $8''41$, soit 6100 km. G. de Vaucouleurs conclut de même à 6114 km. L'étude des échos radar donna à D. O. Muhleman et ses collaborateurs (2), la valeur 6100 km. B. A. Smith (3) a sélectionné 54 images parmi les clichés qu'il a obtenus à moins de 7° de la conjonction inférieure en novembre 1962; la planète en fin croissant montre un allongement des cornes dû à la diffusion dans l'atmosphère, le rayon de l'auréole mesuré valait $8''486$ à 1 U.A., soit 6155 km. J. H. Focas a utilisé le micromètre biréfringent de A. Dollfus avec le réfracteur de 40 cm de Athènes et trouvé $8''41$.

La sonde spatiale américaine Mariner II est passée le 14 décembre 1962 à 41 000 km du centre de la planète; l'étude de la déviation de la trajectoire donna la masse de la planète avec une très grande précision, soit 0.81485 fois celle de la Terre.

Combinée avec les mesures de diamètre précédentes, non corrigées de l'effet de l'atmosphère, cette détermination donne la densité moyenne du globe de Vénus, soit 5.25 gr cm^{-3} .

Ceintures de radiation, magnétosphère, champ magnétique.

La sonde spatiale Mariner II était munie de compteurs de Geiger-Müller. A l'approche de Vénus à 7 rayons du centre de la planète, le taux de comptage des particules n'a accusé aucune augmentation (L. A. Frank, J. A. van Allen, H. K. Hills (4)). La comparaison avec les relevés de la sonde Explorer XIV au voisinage de la Terre laisse supposer que le moment magnétique dipôle de Vénus est inférieur à 0.18 fois celui de la Terre.

La sonde spatiale portait en outre un magnétomètre sensible à 4 gammas, soit 1.3×10^{-4}

fois le champ magnétique terrestre à l'équateur. A l'approche de Vénus, un faible signal correspondant à 10 gammas a été enregistré, sa variation ne ressemblait pas à celle que donnerait un champ planétaire et il n'excédait pas les variations fortuites continues du champ magnétique interplanétaire (E. J. Smith, L. Davis, P. J. Coleman, C. P. Sonett (5)). Les comparaisons avec un champ dipolaire théorique déformé par le vent solaire, et avec les mesures relevées par les sondes spatiales autour de la Terre indiquent un moment magnétique dipolaire pour Vénus inférieur à 0.10 fois celui de la Terre. Des structures magnétiques multipolaires plus fortes ne sont toutefois pas exclues.

Observations photographiques

E. C. Slipher achève la publication d'une sélection des photographies de Vénus qu'il a obtenues depuis le début du siècle en plusieurs radiations, et plus particulièrement les clichés ultra-violet montrant les formations nuageuses de l'atmosphère. Des séries d'images obtenues en U.V. la même journée à quelques heures d'intervalle montrent de légères variations de configuration.

De grandes collections de photographies de Vénus en U.V. donnant l'évolution des nuages ont été assurées de façon régulière ces derniers temps plus particulièrement par C. Tombaugh et B. A. Smith au New-Mexico (U.S.A.), par C. Boyer à Brazzaville (Congo), par H. Camichel au Pic-du-Midi (France). Plus récemment, C. Capen et R. Newburn ont ajouté leurs contributions au Table Mountain, Californie (U.S.A.). L'ensemble des données est coordonné par la présente Commission de l'UAI.

En mai, juin, et juillet 1962, la présente Commission a organisé une campagne d'observations photographiques en U.V. par des Observatoires répartis sous différentes longitudes, en vue d'une surveillance encore plus continue de l'évolution des nuages. Ont participé aux observations, les Observatoires de Lick (télescope de 300 cm), Lowell (H. Giglas), Tucson (W. K. Hartman), New Mexico University. (C. Tombaugh et B. A. Smith), Pic-du-Midi (H. Camichel), Brazzaville (C. Boyer), Athènes (J. Focas), Kwasan, Japon (S. Miyamoto). Environ 500 images recueillies de la sorte sont actuellement à l'étude au Centre de Données photographiques de la présente Commission à l'Observatoire de Meudon. Des cas de déplacements nuageux significatifs sont relevés et C. Boyer a prouvé la récurrence de configurations semblables fréquentes avec une périodicité voisine de quatre jours.

Les résultats complets de la coopération seront publiés ultérieurement.

Théorie de la circulation atmosphérique

Y. Mintz (6) a calculé le bilan du transfert d'énergie par convection atmosphérique entre l'hémisphère éclairé et l'hémisphère obscur, en tenant compte de la chaleur spécifique, des énergies potentielles et cinétiques des masses d'air, du travail de la pression et des forces de friction, en supposant la rotation égale à la durée de révolution. Le transport n'a lieu que si le gradient thermique vertical est inférieur à la valeur adiabatique. Si la pression atmosphérique au sol vaut plusieurs dizaines de fois la pression atmosphérique terrestre, comme il faut le supposer si on attribue les émissions radioélectriques à une température du sol de 600°K, la vitesse des vents, extrêmement faible, ne dépasserait pas 1 km/sec. Si au contraire la pression au sol est une fraction de la pression sur Terre, la vitesse des vents peut dépasser 600 km/heure, et soulever alors une grande quantité de poussière.

Les observations reportées ci-dessus donnent des déplacements de nuages correspondant à des vitesses intermédiaires entre ces deux cas extrêmes.

Y. Mintz (7) conclut par ailleurs que la circulation semble correspondre à de larges cellules à axes verticaux.

La dynamique de l'atmosphère de Vénus est discutée également par J. R. Mahoney (8) en

supposant des vitesses horizontales du même ordre de grandeur que les vitesses moyennes des vents saisonniers zonaux sur Terre.

D. Y. Martynov (9) discute la circulation thermodynamique dans l'atmosphère de Vénus supposée contenir une très grande quantité d'eau. La vapeur étant saturée dans l'hémisphère obscur, le gradient thermique vertical serait beaucoup plus faible qu'au-dessus de l'hémisphère éclairé; comme la température des nuages est la même, il faut que l'altitude de la couche soit beaucoup plus basse.

Observations polarimétriques

La polarisation de la lumière de l'ensemble du disque de Vénus a été mesurée photo-électriquement entre les angles de phase 28° et 120° à travers six filtres colorés (de 3250Å à 9900Å) par T. Gehrels (10, 11). Les courbes en rouge et infra-rouge suggèrent la diffusion par de petites particules de quelques microns de diamètre, ainsi que Lyot l'avait suggéré; les courbes en ultra-violet donnent un fort maximum vers l'angle de phase 90° , indiquant une contribution appréciable de la diffusion par les molécules de l'atmosphère au-dessus de la couche nuageuse.

A. Dollfus et M. Marin recueillent de nouvelles mesures polarimétriques sur Vénus dans l'infra-rouge, aux longueurs d'ondes 0.85Å , 0.95Å et 1.03Å , à l'Observatoire de Meudon.

D. Deirmendjian (12) a cherché à interpréter la courbe de polarisation complète de Vénus en lumière visible par la théorie de la diffusion par un mélange de très petites particules. Il obtient un résultat raisonnable en supposant des particules diélectriques légèrement absorbantes, d'indice $m = 1.353 - 0.0059i$, ayant des diamètres dispersés autour de 1 micron. Ce résultat théorique est légèrement différent de l'interprétation expérimentale de Lyot, qui donnait 2.5 microns.

A. Dollfus a continué à recueillir au Pic-du-Midi des mesures de la répartition sur la surface de Vénus de la lumière polarisée qui caractérise les variations de l'état poussiéreux et nuageux des différentes régions.

Z. Sekera (13) calcule la répartition de la brillance et de la polarisation sur la surface du disque en tenant compte de la diffusion multiple, dans le cas d'une atmosphère pure surmontant une couche solide ou nuageuse obéissant à la loi de Lambert; il donne des graphiques d'isophotes de brillance et polarisation pour différents angles de phases. E. Öpik (14) donne une interprétation des mesures photométriques de F. E. Ross et R. Richardson en ultra-violet et en jaune.

Etude spectroscopique de la composition de l'atmosphère

De nouveaux spectres photographiques à grande résolution ont été obtenus au Mt Stromlo par Th. Dunham Jr, à l'Observatoire de Crimée par N. Kozyrev et par V. K. Prokofiev, au Mt Wilson par G. Münch, etc.

Des spectres infra-rouges, jusqu'à 3.5 microns, ont été réalisés par G. P. Kuiper (15), par W. Sinton (9), par V. I. Moroz (16); des interférogrammes ont été essayés par H. A. Gebbie, L. Delbouille et G. Roland (17).

Le gaz carbonique CO_2 donne 40 bandes entre 1.0 et 2.5 microns sur les spectres de G. P. Kuiper, plusieurs bandes de $^{13}\text{CO}_2$ sont identifiées, ainsi qu'une forte bande à 2.15 microns attribuée à $^{12}\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$. Plusieurs bandes chaudes de CO_2 sont relevées. W. Sinton et V. I. Moroz confirment les bandes du $^{13}\text{CO}_2$. H. Spinrad observe la faible bande du CO_2 à 7158Å (18). Grâce à des spectres de laboratoire, G. P. Kuiper estime la quantité de CO_2 au-dessus de la couche nuageuse de Vénus voisine de 2 km. atm., valeur plus élevée que les déterminations précédentes par L. Kaplan (100 m. atm.). Cette quantité est variable d'un jour à l'autre et

d'une région à l'autre du disque en raison de l'évolution de la couverture nuageuse. Le rapport de la quantité isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ semble du même ordre que dans le cas de l'atmosphère terrestre, soit 1/89. Le rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ paraît être aussi du même ordre que sur Terre. H. Spinrad confirme par l'étude de la bande 7820 Å une teneur en CO_2 au-dessus des nuages voisine de 2 km. atm. (9).

L'oxyde de carbone CO semble identifié à 2.35 microns sur les spectres de W. Sinton (9), les comparaisons au laboratoire donnant une teneur de l'ordre de 80 cm.atm. avec une large marge d'erreur. V. I. Moroz confirme la faible bande à 2.35 microns, mais estime la teneur à 4 cm.atm. seulement. G. P. Kuiper ne retrouve aucune trace de cette bande sur ses spectres et donne la limite supérieure 3 cm.atm. (16).

Le tétr oxyde d'azote N_2O_4 semble complètement absent (H. Spinrad (19)). Le formaldéhyde HCHO, d'après Spinrad, serait inférieur à 0.3 cm.atm.

L'oxygène O_2 a été recherché avec une attention particulière par V. K. Prokofiev et N. N. Petrova (9), sur des spectres à grande résolution des bandes 6300 Å, 6900 Å, et 7600 Å. Les profils des raies de ces bandes semblent légèrement asymétriques dans le sens prévu par le déplacement Doppler des raies de la planète. Les auteurs concluent à la détection de O_2 ; ils considèrent prudemment une estimation quantitative prématurée.

La vapeur d'eau H_2O a été recherchée sur des spectres photographiques susceptibles de séparer la raie planétaire 8180 Å par effet Doppler par H. Spinrad (20), qui n'a rien trouvé et donne une limite supérieure de 7.10^{-3} gr. cm^{-2} . Cependant, par une étude spectrophotométrique comparative de la bande 1.4 microns de H_2O dans les spectres de Vénus, de la Lune et du Soleil, entreprise en ballon stratosphérique depuis 1959, puis en haute montagne au Jungfraujoch, A. Dollfus a décelé en janvier 1963 l'absorption spectrale correspondant à l'eau sur Vénus (21). La quantité d'eau au-dessus de la couche nuageuse peut être estimée très approximativement à 10^{-2} gr cm^{-2} .

Gibson et Cobbet (22) ont observé Vénus au radio-télescope sur la radiation 1.35 cm correspondant à l'absorption par l'eau et n'ont pas trouvé le minimum d'émission prévu par A. H. Barrett dans le cas d'une quantité d'eau de plusieurs grammes par cm^2 sur Vénus.

La glace pourrait être un constituant possible des nuages de Vénus. W. Sinton (9) cherche à expliquer la décroissance de l'éclat de ses spectres sur Vénus, entre 1 et 3 microns, par la diffusion que donneraient des cristaux de glace d'environ 3 microns de diamètre. G. P. Kuiper (15) observe une forte absorption vers 2 microns au voisinage des bandes de la glace, mais établit des différences qui lui font rejeter cette interprétation.

Le néon serait l'un des constituants importants de l'atmosphère de Vénus, selon l'étude cosmochimique de H. S. Suess (23) qui discute les caractères oxydants et réducteurs de cette atmosphère.

Luminescence de l'hémisphère obscur

N. A. Kozyrev, qui avait annoncé l'observation d'un spectre de raies d'émission sur l'hémisphère non éclairé de Vénus, a effectué de nouveaux spectres qui ne montrent plus aucun effet. G. Newkirk obtient aussi des spectres négatifs (24). T. C. Owen a réalisé encore une série de spectres qui ne montrent aucune trace de raies d'émissions (25).

Cependant l'analyse spectrophotométrique des raies H et K du crépuscule terrestre sur le fond de la partie non éclairée du disque de Vénus conduisit N. Kozyrev à suspecter un autre type d'émission (26), que G. M. Ildis chercha à interpréter (27).

A. B. Meinel et D. T. Hoxie (28, 29) discutent les spectres de raies atomiques ionisées que pourraient produire le CH_2O et C_3O_2 créés photochimiquement dans l'atmosphère, par suite des décharges électriques des éclairs dans l'hémisphère obscur de Vénus.

Température radiométrique

W. M. Sinton a effectué de nouvelles mesures de l'émission à 3.5 et à 3.75 microns sur l'hémisphère obscur de Vénus et confirmé la température de 235°K semblable à celle de la face éclairée (9).

La sonde spatiale américaine Mariner II a relevé lors de son passage à 41 000 km de la planète, le 14 décembre 1962, des mesures bolométriques en balayant trois fois le disque planétaire, sur les deux longueurs d'onde 8.4 microns et 10.4 microns. Le premier domaine spectral correspond à une région de transparence de l'atmosphère terrestre. Le second domaine est fortement absorbé par des bandes du CO₂. Des calibrations ont été faites sur des corps noirs avant et pendant le vol. Les deux domaines spectraux donnèrent exactement la même température, identique sur les hémisphères éclairés et obscurs, voisine de 240°K au centre du disque et s'abaissant à 220°K près du limbe. Il faut donc que la radiation provienne d'une couche nuageuse uniforme, opaque aux rayonnements sous-jacents et que l'absorption par le CO₂ au-dessus de cette couche soit très faible (S. C. Chase, L. D. Kaplan, G. Neugebauer (30)). Une région de l'hémisphère Sud près du terminateur donnait une température inférieure à la moyenne d'environ 10°.

A la même époque, les 14, 15, 16 et 17 décembre 1962, B. C. Murray, R. L. Wildey et J. A. Westphal (31) ont balayé chaque nuit la surface de Vénus avec le télescope de 5 m de Palomar et un détecteur sensible de 8 à 14 microns, et dressé des cartes donnant la répartition de la température sur le disque de Vénus avec une très grande précision. La température au centre du disque est 208°K, nettement plus basse que celle donnée par les méthodes antérieures; aucune différence n'apparaît entre les hémisphères éclairés et obscurs; la décroissance de température vers les bords du disque est dissymétrique dans le sens du plan orbital, les pôles étant plus froids; une tache légèrement plus chaude que la moyenne apparaît près du pôle Sud.

Température spectroscopique

Les anciennes déterminations de température de rotation dans l'infrarouge par Kuiper et Chamberlain ont été réexaminées par L. D. Kaplan (32, 33), qui donne $T = 235^{\circ}\text{K}$ et une pression atmosphérique au niveau de la couche nuageuse voisine de 90 ou 140 mb. Une nouvelle étude des bandes à 7820 Å sur les spectres de Adams et Dunham de 1930, par H. Spinrad (34, 9), donne la pression par le contour des raies, et la température par la distribution de l'intensité des raies de rotation. La température et la pression varient fortement d'un spectre à l'autre comme le ferait une atmosphère variable. Les plus fortes températures correspondent aux plus fortes pressions, comme le voudrait une pénétration plus profonde dans l'atmosphère entre les nuages. Les valeurs les plus élevées sont $T = 440^{\circ}\text{K}$ et $p = 6 \text{ atm}$. L'atmosphère serait donc semi-transparente pour ce domaine spectral.

Plus récemment, en reprenant le travail précédent, L. D. Kaplan (9) remarque que les répartitions d'intensité des raies de rotation donnent deux maxima pour $\mathcal{J} = 16$ et $\mathcal{J} = 24$ à 26, correspondant à deux valeurs de la température 300°K et 700°K. Ces deux maxima proviendraient de l'existence d'une couche absorbante basse à l'altitude correspondant à la température 450°K et distincte de la couche élevée absorbante à 10 μ et donnant 235°K. C. Sagan a supposé que la couche pourrait provenir d'hydrocarbures. G. P. Kuiper (15) signale que ses observations, dans le domaine 1 à 2 microns, des bandes du CO₂ sensibles à la température donnent des valeurs nettement supérieures à 300°K.

Emission radioélectrique

Les ondes centimétriques et millimétriques pénètrent probablement beaucoup plus profondément encore dans l'atmosphère et peuvent provenir du sol. Voici la liste des nombreuses déterminations récentes:

Longueur d'onde en cm	Température équivalente (conjonction supérieure)	auteurs
0.40	390 ± 120°K	Kisljakov <i>et al.</i> (35)
0.43	350 ± 50	Grant, etc. (36)
0.80	374 ± 75	Kuzmin et Salomonovitch (37)
0.85	380 ± 55	Lynn, etc. (38)
0.86	410 ± 30	Gibson (39)
1.18	395 ± 75	Staelin, etc. (40)
1.35	520 ± 40	Gibson et Corbett (22)
1.60	534 ± 60	Kuzmin, etc. (16)
2.07	500 ± 70	McCullough, etc. (41)
3.15	548 ± 60	Mayer, etc. (9)
3.30	542 ± 85	Bibinova, etc. (42)
9.60	690 ± 100	Kuzmin et Salomonovitch (43)
10.0	583 ± 48	Drake (44)
10.7	580 ± 70	Clark et Spencer (45)
18.0	596 ± 100	„ „
21.0	616 ± 100	„ „
21.0	600	Lilley (46)

La température de corps noir équivalente de Vénus est comprise entre 350 et 400°K pour les radiations entre 0.40 et 1.18 cm; elle s'accroît rapidement à 500°K entre 1.35 et 2.07 cm; elle s'élève encore lentement jusqu'à 600°K entre 10 et 21 cm.

En fonction de l'angle de phase de Vénus, Kisljakov trouve sur 0.40 cm un très léger minimum juste avant la conjonction inférieure; Grant, sur 0.43 cm, ne trouve aucune variation; Kuzmin et Salomonovitch trouvent sur 0.80 cm un minimum à la conjonction inférieure; Mayer, sur une longue série d'observations à 3.15 cm, trouve un minimum de 548° à 12° après la conjonction inférieure, la valeur extrapolée du maximum loin de la conjonction étant 694°K. Drake, à l'aide également d'une longue série, trouve sur 10 cm un minimum de 583°K pour la phase 17° après la conjonction, et une température extrapolée maximum de 660°K.

Toutes ces observations indiquent une température plus élevée sur l'hémisphère éclairé de Vénus que sur l'hémisphère obscur, le minimum étant peut-être légèrement déplacé dans le sens que donnerait une rotation rétrograde.

Les mesures interférométriques à haute résolution donnent déjà quelques indications sur la répartition de l'émission sur le disque. Clark et Spencer interprètent leurs observations sur 9.4 cm comme provenant d'un disque uniforme de diamètre 15% plus grand que Vénus, ou encore d'un anneau brillant au limbe contenant 1/4 du flux; ces interprétations favoriseraient donc une contribution de l'ionosphère à l'émission recueillie. Pour les longueurs d'ondes plus courtes 3.02 cm, Korolovskov et ses collaborateurs (47) trouvent au contraire une nette diminution d'émission au bord du disque, comme le voudrait une émission par le sol ou la très basse atmosphère, en partie absorbée par une atmosphère supérieure plus froide.

Ce dernier résultat est confirmé par les mesures relevées par la sonde spatiale américaine Mariner II le 14 décembre 1962 sur la longueur d'onde 1.9 cm au cours de trois balayages du disque planétaire (48); le centre du disque donnait 570°K, et les bords 410° et 450°K.

Interprétation des émissions radioélectriques

Beaucoup d'auteurs ont attribué les émissions radioélectriques de Vénus de 0.4 cm à 21 cm, et leurs variations vers le limbe et avec la phase à une réelle température du sol, aussi élevée que 670°K sur la face obscure et 750°K sur l'hémisphère éclairé, l'atmosphère beaucoup plus froide contribuant à absorber partiellement cette émission (cf. par exemple C. Sagan. (49, 50).

Très intéressante et peu exploitée est aussi la suggestion de C. W. Tolbert et A. W. Straiton (51) d'une contribution possible des décharges électriques entre les particules de poussière près de la surface.

L'ionosphère peut apporter une certaine contribution, surtout pour les longueurs d'ondes supérieures à quelques centimètres. Il faudrait supposer une densité électronique moyenne de l'ionosphère aussi élevée que $5 \cdot 10^8$ électrons par cm^3 (D. E. Jones (52)) (A. D. Kuzmin et A. E. Salomonovitch (53, 9)), près de 100 fois supérieure à celle prévue par l'ionisation photoélectrique solaire. W. Priester et ses collaborateurs (54) supposent des nuages de densité $2 \cdot 10^9$ électrons par cm^3 occupant $1/4$ de la surface d'une couche ionisée de densité moyenne $5 \cdot 10^8$ électrons par cm^3 . Pour accorder ces données avec les intensités des échos radar, A. D. Daninov et S. P. Yatsenko (16) considèrent une ionosphère opaque à 10 cm, mais avec une rapide décroissance de la densité électronique dans sa partie supérieure. A. D. Kuzmin (16) calcule des modèles pour différentes valeurs de la température du sol, de sa constante diélectrique, la densité de l'ionosphère et la surface des lacunes entre les nuages électroniques.

Il faut encore expliquer la très forte densité électronique.

Selon F. L. Scarf (55), l'absence de champ magnétique autour de la planète permettrait aux protons du vent solaire de réagir directement avec l'ionosphère, créant des instabilités de plasma dans lesquelles 0.1% de l'énergie incidente serait renvoyé dans l'espace à une fréquence harmonique élevée de la fréquence critique du plasma.

De très abondantes chutes météoritiques ont également été invoquées. De nombreuses objections subsistent.

Réflexion des échos radar

C. H. Mayer a préparé pour le présent Rapport un mémoire dont voici un extrait: 'Observations using a radar at 68 cm wavelength: G. H. Pettengill *et al.* (56), W. B. Smith (57) gave a value for the astronomical unit of $149\,597\,850 \pm 400$ km. A distinct surface smoother than that of the Moon was inferred from the range dispersion of the signals and the echo intensity was consistent with a hard rocky surface with a reflectivity of 11% corresponding to a dielectric constant of 4.1. The frequency broadening of the signal was compatible with a rotation period of 225 (+275, -110) days which suggests slow, possibly retrograde rotation.

Radar measurements at a wavelength of 12.5 cm: Muhleman *et al.* (2), Victor and Stevens (58) gave a value for the astronomical unit of $149\,598\,500 \pm 500$ km, a value for the radar cross section of $11 \pm 2\%$ of geometric, and indicate small scale surface roughness similar to the Moon and a rotation rate of 200 to 400 days. More recent measurements: R. M. Goldstein and R. L. Carpenter (59) indicate that Venus may rotate in the retrograde sense with a period of approximately 240 days.

Measurements at 43 cm wavelength: V. A. Kotelnikov *et al.* (60) gave a value for the astronomical unit of $149\,599\,300 \pm 570$ km. The spectra of the returned signal from Venus showed in addition to the narrow band echo a wide band component which was not found by the other groups of observers. If the broad band component is interpreted as due to Venus, a rotation period of 10 days is implied, while if interpreted as not due to Venus a rotation period greater than 100 days is consistent with the measurements.

A radar measurement at 74 cm was reported by Thomson *et al.* (61), which gave a value for the solar parallax of 8.7943 ± 0.0003 sec. of arc. Another measurement giving a value for the astronomical unit of $149\,596\,000 \pm 200$ km was reported by I. Maron *et al.* (62). W. Priester *et al.* (54) found a correlation between the systematic variations in the 68 cm radar distance to Venus and the intensity of the 20 cm radiation from the Sun, a good indicator of solar activity, in the opposite sense, to be explained by increased electron density in the path, and they advance a possible explanation based on a variable reflecting level in the ionosphere of Venus. D. O.

Muhleman (63) also notes this correlation using the 10.7 cm solar flux and interprets it in terms of either a sweeping out of electrons or an increase of recombinations due to increased solar activity. Muhleman discusses the results of the 12.5 and 68 cm radar measurements and concludes that the effects of plasma phenomena are small, and that the echo power indicates an average dielectric constant of the surface between 3 and 7, interpreted as evidence against large bodies of water on Venus.'

Plus récemment, O. N. Rzhiga a communiqué de nouveaux résultats (16). L'écho présenterait comme dans le cas de la Lune une composante provenant de la réflexion spéculaire de largeur 1 Hz et de pouvoir réflecteur 30 à 40%, et une composante due à la diffusion, de largeur 15 Hz et de réflectivité 12 à 18%. La largeur du signal reçu indiquerait, dans le cas d'un axe de rotation perpendiculaire à l'orbite, une période de rotation d'environ 300 jours dans le sens rétrograde.

Structure et modèles de l'atmosphère

Différents modèles théoriques d'atmosphères ont été invoqués; leurs caractères spéculatifs les rendent provisoires.

Le modèle éolosphérique proposé par E. J. Öpik (64) suppose la température du sol voisine de 600°K, avec une pression de l'ordre de 4.3 atm. L'absorption des radiations provenant des basses couches nécessaires pour réaliser cette température serait due à la poussière très dense dont l'atmosphère serait chargée. La principale source de chaleur serait la friction du vent sur le sol. La poussière serait principalement composée de grains de carbonates de calcium et de magnésium qui constitueraient les nuages observés. Ce modèle, qui suppose une quantité de poussière considérable et des vents très rapides, explique mal les apparences des voiles éphémères et mouvants observés en lumière ultra-violette. On a objecté aussi que la différence de température entre les deux hémisphères éclairés et obscurs décelés par les radiotélescopes n'était pas expliquée.

Le modèle avec effet de serre, proposé en particulier par C. Sagan, suppose une atmosphère transparente dans le domaine visible, et complètement absorbante dans l'infra-rouge de 5 à 12 microns. Le rayonnement solaire chauffe alors le sol et la radiation réémise est absorbée, d'où une forte température dans les basses couches. Pour expliquer cependant la température aussi élevée que 600°K suggérée par les mesures radioélectriques, il faut admettre une opacité atmosphérique très complète dans l'infrarouge; S. I. Rasool et R. Jastrow (65, 66) estiment l'épaisseur optique nécessaire voisine de 42. Les molécules triatomiques telles que CO₂ et H₂O absorbent l'infrarouge et non le visible, mais contiennent de nombreux intervalles de transmission. Une forte pression atmosphérique élargit les bandes et réduit ces intervalles; selon G. N. Plass et V. R. Stull (67), le CO₂ à la pression de 30 atm. donnerait une épaisseur optique de 5 seulement, encore très insuffisante. La vapeur d'eau serait plus efficace, mais une pression atmosphérique de 50 atm. au sol paraît au moins nécessaire. G. Ohring et O. Coté (68) ont montré que l'opacité infrarouge des nuages pouvait également jouer un rôle. Ce modèle ne semble pas en désaccord avec les déterminations de pression et température spectroscopiques données par Spinrad, ni avec les données radioélectriques et les observations de nuages ultra-violets, mais conduirait à une quantité d'eau probablement plus forte que celle observée.

Le modèle ionosphérique suppose la planète entourée d'une ionosphère extrêmement dense, contenant jusqu'à 10⁹ électrons par cm³, laquelle serait responsable des émissions radioélectriques centimétriques. La température du sol serait donnée par les émissions millimétriques, soit 350°K, et la pression atmosphérique serait de l'ordre de 1 à 3 atm. (cf. D. E. Jones (52)). Les problèmes relatifs à l'ionosphère et leurs difficultés, ont été discutés ci-dessus.

Ces trois principaux modèles très schématiques ont fait l'objet de discussions comparatives, en particulier par W. W. Kellog et C. Sagan (69), et plus récemment très en détail par C. Sagan (50); ils ont principalement pour but d'expliquer les hautes températures données par les

radio-émissions. On a l'impression que des difficultés graves subsistent pour chacun d'entre eux et que la structure réelle de l'atmosphère, très complexe, est le siège de nombreux phénomènes encore trop mal connus.

BIBLIOGRAPHIE

1. Martynov, D. Y. *Soviet Astr.*, **4**, 798, 1961.
2. Muhleman, D. O., Holdridge, D. B., Block, N. *Astr. J.*, **67**, 191, 1962.
3. Smith, B. A. *Sky and Telesc.*, **26**, no. 4, 1963.
4. Frank, L. A., van Allen, J. A., Hills, H. K. *Science*, **139**, 905, 1963.
5. Smith, E. J., Davis, L., Coleman, P. J., Sonett, C. P. *Science*, **139**, 905, 1963.
6. Mintz, Y. *Icarus*, **1**, 172, 1962.
7. Mintz, Y. *Planet. and Space Sci.*, **5**, 141, 1961.
8. Mahoney, J. R. *Amer. geophys. Un. Trans.*, **43**, 458, 1962.
9. Coll. Intern. Astrophys. Liège, 1962, *La Physique des Planètes*. Publ. Inst. Astrophys., Cointe-Sclessin, 1963.
10. Gehrels, T. *Astrophys. J.*, **134**, 1022, 1961.
11. Gehrels, T. *Appl. Optics*, **2**, 67, 1963.
12. Deirmendjian D. *J. geophys. Res.*, **67**, 1635, 1962.
13. Sekera, Z. *J. geophys. Res.*, **67**, 1656, 1962.
14. Öpik, E. *Progress astronaut. Sci.*, **1**, 307, 1962.
15. Kuiper, G. P. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **1**, no. 15, 83, 1962.
16. Fourth Intern. Space Sci. Symp., Varsovie, 1963. *Space Res. IV* (sous presse).
17. Gebbie, H. A., Delbouille, L., Roland, G. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **123**, 497, 1962.
18. Spinrad, H. *Astrophys. J.*, **135**, 651, 1962.
19. Spinrad, H. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **74**, 156, 1962.
20. Spinrad, H. *Icarus*, **1**, 266, 1962.
21. Dollfus, A. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **256**, 3250, 1963.
22. Gibson, J. E., Corbet, H. H. *Astr. J.*, **68**, 74, 1963.
23. Suess, H. S. *Z. Naturforschung*, oct. 1963.
24. Newkirk, G. *Planet. and Space Sci.*, **5**, 163, 1961.
25. Owen, T. C. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **1**, no. 5, 29, 1962.
26. Kozyrev, N. A. *Astr. Cirk.* no. 225, 4, 1961.
27. Idlis, G. M. *Izv. astrofiz. Inst. Ak. N. Kazakh. SSR*, **12**, 37, 1962; **16**, 15, 1963.
28. Meinel, A. B., Hoxie, D. T. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **74**, 329, 1962.
29. Meinel, A. B., Hoxie, D. T. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), **1**, no. 7, 35, 1962.
30. Chase, S. C., Kaplan, L. D., Neugebauer, G. *JPL Techn. Rep.* no. 32-429; *J. geophys. Res.* **68**, 6157, 1963.
31. Murray, B. C., Wildey, R. L., Westphal, J. A. *J. geophys. Res.*, 1963.
32. Kaplan, L. D. *Planet. and Space Sci.*, **8**, 23, 1961.
33. Kaplan, L. D. *Rand Rep.* P. 2213, 1961.
34. Spinrad, H. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **74**, 187, 1962.
35. Kisljakov, A. G. *et al.* *Astr. Zu.*, **39**, 410, 1962.
36. Grant, C. R. *et al.* *Astrophys. J.*, **137**, 620, 1963.
37. Kuzmin, A. D., Salomonovitch, A. E. *Astr. Cirk.* no. 221, 3, 1961.
38. Lynn, V. L. *et al.* *Astr. J.*, **68**, 284, 1963.
39. Gibson, J. E. *Astrophys. J.*, **137**, 611, 1963.
40. Staelin, D. H. *et al.* *Astr. J.*, **67**, 294, 1963.
41. McCullough, T. P. *et al.* *Astr. J.* 1964.
42. Bibinova, V. P. *et al.* *Astr. Zu.*, **39**, 1083, 1962.
43. Kuzmin, A. D., Salomonovitch, A. E. *Astr. Zu.*, **39**, 660, 1962.
44. Drake, F. D. *Publ. nat. Radio astr. Obs.*, **1**, 165, 1962.
45. Clark, B. G., Spencer, C. L. *Obs. Owens Valley Radio*, no. 6, 1963.
46. Lilley, A. E. *Astr. J.*, **66**, 290, 1961.
47. Korolskov, D. V. *et al.* *Dokl. Akad. N. SSSR*, **149**, 65, 1963.

48. *Techn. Rep.* JPL. no. 32, 429.
49. Sagan, C. *Icarus*, **1**, 151, 1962.
50. Sagan, C., Kellog, W. W. *Ann. Rev. Astr. and Astroph.*, **1**, 235, 1963.
51. Tolbert, C. W., Straiton, A. W. *J. geophys. Res.*, **67**, 1741, 1962.
52. Jones, D. E. *Planet. and Space Sci.*, **5**, 166, 1961.
53. Kuzmin, A. D., Salomonovitch, A. E. *Astr. Zu.*, **38**, 1115, 1961 (trad. angl., *Soviet Astr.*, **5**, 851, 1962).
54. Priester, W. *et al.* *Nature*, **196**, 464, 1962.
55. Scarf, F. L. *J. geophys. Res.*, **68**, 141, 1963.
56. Pettengil, G. H. *et al.* *Astr. J.*, **67**, 181, 1962.
57. Smith, W. B. *Astr. J.*, **68**, 15, 1963.
58. Victor, W. K., Stevens, R. *Space Res.* III, 886, 1963.
59. Goldstein R. M., Carpenter R. L. *Science*, **139**, 910, 1963.
60. Kotelnikov, V. A. *et al.* *Dokl. Akad. N. SSSR*, **145**, 1035, 1962.
61. Thomson, J. H. *et al.* *Nature*, **190**, 519, 1961.
62. Maron, I. *et al.* *Science*, **134**, 1419, 1961.
63. Muhleman, D. O. *Icarus*, **1**, 401, 1963.
64. Öpik, E. J. *J. geophys. Res.*, **66**, 2807, 1961.
65. Rasool, S. I., Jastrow, R. *Amer. Inst. Aeronaut. and Astronaut. J.*, **1**, 6, 1963.
66. Proc. Third Intern. Space Sci. Symp., Washington, 1962. *Space Res.* III. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1963.
67. Plass, G. N., Stull, V. R. *J. geophys. Res.*, **68**, 1355, 1963.
68. Ohring, F., Coté, O. *Geophys. Corp. of Amer. Techn.* no. 63, 6 N, 1963.
69. Kellog, W. W., Sagan, C. *Rep. Space Sci. Board*, Nat. Acad. Sci. Washington, no. 944, 1961.

LA PLANÈTE MARS

La période concernée couvre les deux oppositions de 1960 et 1963.

Observations collectives

Les observations photographiques coordonnées par la présente Commission de l'UAI sont dues plus particulièrement aux Observatoires de Table Mountain, U.S.A. (Cf. Capen, etc.), New Mexico University, U.S.A. (C. Tombaugh et B. Smith), Harvard, U.S.A. (A. Young, etc.), Pic-du-Midi, France (H. Camichel, A. Dollfus, etc.), Haute-Provence, France (P. Guérin), Athènes, Grèce (J. Focas), Kwasan, Japon (S. Miyamoto). Les collections de clichés sont en cours de groupement aux deux Centres de Documentation de l'UAI à Meudon et à Flagstaff. Les clichés originaux calibrés ont été mesurés photométriquement à Meudon par J. Focas.

Les mesures polarimétriques demandées par la Commission ont été recueillies au Pic-du-Midi, France (A. Dollfus, etc.), à Athènes, Grèce (J. Focas), en U.R.S.S. (V. I. Morozenko), à Harvard (A. Young, etc.) et sont étudiées à Meudon pour la recherche des nuages, voiles et impuretés de l'atmosphère martienne. Les études visuelles les plus élaborées sont parvenues de S. Miyamoto, C. Tombaugh, J. Focas, A. Dollfus.

Topographie

L'ensemble des mesures de coordonnées classiques anciennes a été discuté par G. de Vaucouleurs qui étudie les erreurs (1, 2), qui a effectué et réduit en outre de très nombreuses mesures nouvelles sur les clichés obtenus en 1956 par R. Leighton. H. Camichel effectue de nouvelles déterminations de coordonnées pour 1960.

G. de Mottoni, utilise les documents du Centre de l'UAI de Meudon pour établir les nouvelles cartes planisphères des oppositions de 1960 et 1963. S. Ebisawa a établi une carte sur les documents japonais. Ces documents, les clichés des Centres de l'UAI, ainsi que les rapports des observateurs visuels précités donnent les éléments descriptifs des variations et des configurations du sol. Ils permettent aussi la recherche des nuages, en relation avec les mesures polarimétriques.

E. C. Slipher a étudié très en détail la topographie du sol de 1907 à 1960 (3); il distingue les variations saisonnières et séculaires, les taches temporaires, d'éventuels assombrissements au pourtour des nuages denses, etc.

A. Dollfus classe également les variations des taches sombres et étudie leurs structures fines grâce à l'observation visuelle (4). Les variations saisonnières des structures fines sont décrites par J. Focas (5).

Les études des petits nuages et de blanchissement au limbe conduisirent C. Tombaugh (6) et J. Focas à admettre que les régions claires représentent souvent de hauts plateaux. La morphologie du relief doit être gouvernée en grande partie par les impacts des météores accumulés sur le sol martien. A. Dollfus a confirmé que les saillies du pourtour des calottes qui retiennent le givre le plus longtemps sont souvent couvertes de petits nuages au printemps et s'expliquent par des sommets élevés. Des blancheurs dans Amazonis et autour de Nix Olympica révèlent la polarisation de la lumière caractéristique du givre et doivent être aussi des régions élevées.

Nature du sol

Les nouvelles mesures de polarisation recueillies sur les calottes polaires confirment l'interprétation d'un dépôt de givre sous faible pression atmosphérique reproduite au laboratoire par A. Dollfus en 1958. Les spectres I.R. des calottes polaires de V. I. Moroz confirment les caractères de la réflectivité du givre indiqué par G. P. Kuiper en 1958.

I. K. Koval, V. G. Teifel, N. B. Ibrahimov, I. I. Lebedeva et leurs collaborateurs ont précisé de nombreuses données photométriques de la surface du disque, de l'U.V. à l'I.R., en particulier l'assombrissement au bord. La variation spectrale du facteur de diffusion de 0.6 microns à 0.32 microns a été déterminée par P. Guérin (1).

I. I. Lebedeva et V. V. Charonov (1, 7), ont mesuré les propriétés photométriques et spectrales des oxydes de fer, limonite en poudre, dont la présence fut indiquée en 1951 par les mesures de polarisation du Pic-du-Midi.

Les interprétations des mesures photométriques et polarimétriques des régions claires du sol martien ont été discutées à nouveau au Colloque *Remote Investigation of Martian Biology* (Boston, 1964). La limonite pulvérisée semble continuer à être considérée comme l'explication la plus satisfaisante.

L'étude des échos radar sur 700 MHz par A. M. Shackovsky révèle une composante brève initiale provenant du centre du disque et caractérise des étendues planes de plusieurs kilomètres de côté dans les régions claires. Les études semblables entreprises à la station du J. P. L. de Goldstone par Gillmore et Goldsten donnent un pouvoir réflecteur moyen de 3%. Les régions optiquement sombres, comme Syrtis Major, semblent donner une réflectivité plus grande que les continents clairs pour la longueur d'onde 12.5 cm du radar (8).

Conditions biologiques

Les taches sombres manifestent des variations saisonnières de contraste et de couleur qui se propagent depuis les pôles vers l'équateur. L'hypothèse de taches sombres plus lisses et passagèrement recouvertes par des poussières transportées par les vents saisonniers se heurte aux mesures polarimétriques et photométriques qui révèlent une rugosité comparable dans toutes les régions (A. Dollfus). L'hypothèse de l'émission de cendres volcaniques déposées dans la direction des vents dominants (McLaughlin, 1955) s'oppose aux aspects révélés par l'observation visuelle sous fort grossissement. Les sels hygroscopiques colorés par l'U.V. et décolorés par la vapeur d'eau invoqués par A. Dauvillier donnaient une polarisation de la lumière très différente de celle observée par A. Dollfus. On a suggéré récemment la transformation de la poudre de limonite couvrant le sol Fe_2O_3 hydraté jaune en Fe_3O_4 noir avec réduction en été et réoxydation en hiver, mais le mécanisme semble mal défini.

L'hypothèse de l'intervention d'organismes biologiques a donc dû être approfondie. Le Cospar a consacré un colloque particulier (*Extraterrestrial Biology and Methods of Detection of Extraterrestrial Life* (Varsovie, 1963), et créé un groupe de recherche. L'American Institute of Biological Sciences a organisé un Colloque *Remote Investigation of Martian Biology* (février 1954, C. Sagan, organisateur). Les rapports de ces réunions seront publiés.

Les nouvelles mesures polarimétriques relevées par la coopération internationale de l'UAI confirment la modification de polarisation des taches sombres lors de leurs variations saisonnières, indice d'un changement saisonnier de la structure microscopique très difficile à expliquer sans le recours à des formes animées.

Les nouvelles analyses spectrales de W. Sinton confirment les bandes d'absorption des régions sombres à 3.45 microns, 3.58 microns et 3.69 microns (9). De nombreux interférogrammes obtenus à Palomar en 1963 sont en cours de dépouillement. V. I. Moroz observe les bandes à 3.59 microns et 3.63 microns. Les bandes 3.45 et 3.58 semblent attribuables aux liaisons carbone-hydrogène dans les carbohydrates et les protéines organiques. N. B. Colthup attribue la bande 3.69 à l'acide aldéhyde organique (10). Mais, selon D. G. Rea, l'acétaldéhyde pourrait se trouver à l'état gazeux dans les régions martiennes où la température est assez élevée (11). D. G. Rea, T. Belsky et M. Calvin ont montré, par des mesures au laboratoire, que la bande 3.45 microns pourrait s'expliquer par des carbonates inorganiques. Les autres bandes ne se retrouvent que sur du PbCO_3 dont l'abondance paraîtrait déraisonnable sur Mars (12). Finalement, l'hypothèse d'organismes animés demeure particulièrement vraisemblable.

C. Sagan a étudié la température probable du sol martien lors de l'assombrissement saisonnier décrit par J. Focas et attribué à la vie; les valeurs généralement supérieures à 290°K semblent compatibles avec le développement d'organismes biologiques. A. Dollfus, d'une part, I. Spinrad et L. D. Kaplan, d'autre part, ont décelé la vapeur d'eau sur Mars en quantités suffisantes pour permettre les processus biologiques (cf. plus loin). E. J. Hawrilewicz, d'une part (13), C. Sagan et collaborateurs, d'autre part (14), ont reconstitué dans des enceintes des conditions de sol, d'atmosphère, de température et de radiations proches de celles de Mars; des microorganismes s'y développèrent lorsque la teneur en eau était suffisante.

Diamètre du globe

A. Dollfus a publié les mesures des diamètres équatoriaux D_e et polaires D_p relevés au Pic-du-Midi en 1954, 1956 et 1958 avec le micromètre biréfringent (15). Les valeurs $D_e = 9''43$ et $D_p = 9''31$ à 1 u.a. sont données à 3 millièmes près. Après correction de l'effet de l'atmosphère au bord du disque, on trouve $D_e = 6790$ km et $D_p = 6710$ km; en admettant la masse 6.606×10^{26} grammes de Brouwer et Clemence, la densité moyenne du globe est 4.09.

J. Focas confirme à Athènes en 1963, avec un micromètre semblable, $D_e = 9''40$ et $D_p = 9''30$.

L'ellipticité optique $D_e - D_p / D_e$ vaut 0.0117, soit environ le double de l'ellipticité dynamique 0.0051 déduite par Woollard de la perturbation des satellites. Selon D. L. Lamar un manteau superficiel d'épaisseur nulle aux pôles et 176 km à l'équateur, en équilibre isostatique, expliquerait cette différence (16). Selon S. K. Runcorn, la convection dans l'intérieur du globe pourrait rendre compte de ces valeurs. E. J. Öpik invoque une atmosphère plus transparente aux pôles (17).

Les mesures de A. Dollfus en lumière bleue donnent les mêmes valeurs qu'en rouge; le phénomène signalé jadis par Wright de l'accroissement du diamètre en bleu est négligeable. F. Link explique les anciens résultats de Wright par l'effet combiné de l'éclat de l'atmosphère au bord du disque et de la courbe de noircissement de l'émulsion photographique (1).

En 1956, pendant le développement du grand voile jaune exceptionnel, les mesures de diamètres relevées au Pic-du-Midi en rouge, vert et bleu dépassent systématiquement celles des autres années d'environ 30 km.

Propriétés générales de l'atmosphère

Les propriétés physiques de l'atmosphère de Mars ont été discutées par M. H. Davis (18), D. Menzel (1), I. Rasool et R. Jastrow (12), G. F. Schilling, (19, 20, 1), W. W. Kellog et C. Sagan (21).

Les propriétés optiques et de polarisation de l'atmosphère et de ses impuretés ont fait l'objet d'études théoriques par E. J. Öpik (17, 22), V. V. Charonov (1), N. P. Barabashev (1), Z. Sekera (23), K. L. Coulson, M. Lotman et D. N. Vachon (24), etc.

De nouvelles mesures ont été faites par T. Gehrels, par I. K. Koval et A. V. Morozenko, par P. Guérin (1).

J. W. Chamberlain discute les propriétés de l'exosphère martienne (25, 1), G. Yanov de l'ionosphère (26, 27), A. Arking et I. Rasool (28), ainsi que H. K. Paetzold (1) de la couche d'ozone, G. Ohring de la température (1).

Composition de l'atmosphère

Les déterminations classiques de la pression atmosphérique par la polarisation de la lumière de A. Dollfus conduisaient à la valeur 83 mb; elles ont été rediscutées par G. P. Kuiper qui examine l'effet que produirait de très fines particules en suspension dans l'air; G. P. Kuiper estime la valeur 83 mb comme une limite supérieure (29). Comparant les intensités de la raie spectrale saturée du CO₂ voisine de 1.6 micron sensible à la pression, observée par Kuiper et Sinton, avec les raies faibles non sensibles à la pression L. D. Kaplan, G. Münch et I. Spinrad ont calculé une valeur de la pression atmosphérique au sol 25 ± 15 mb. A l'aide d'un tube à gaz donnant un parcours de 80 mètres, éclairé par la lumière solaire et contenant un mélange de CO₂ et N₂ sous pressions variables, G. P. Kuiper a reproduit au laboratoire les intensités relatives des raies du CO₂ observées dans les spectres de Mars. Le meilleur résultat donne le rapport CO₂/N₂ = 1/4, et une pression atmosphérique de l'ordre de 12 mb seulement. Dans la nuit du 1er mars 1963, le ballon stratosphérique automatique américain Stratoscope II a donné des spectres de Mars entre 1.8 et 2.8 microns; les fortes bandes du CO₂ à 2.0 et 2.6 microns, comparées aux faibles bandes des spectres du Mt Wilson donnèrent à Woolf et Schwarzschild la valeur de la pression 80 mb avec une précision faible.

Les mesures de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère martienne ont été entreprises simultanément par les mêmes observateurs précédents. Kaplan et ses collègues trouvent 55 ± 20 mètres-atmosphère, G. P. Kuiper donne 50 m-atm., Woolf conclut 60 m-atm.

La présence de la composition isotopique C¹³O₂¹⁶ a été prouvée par l'observation de la bande 2.11 microns, par V. I. Moroz ainsi que par G. P. Kuiper.

C. C. Kiess confirme une faible et large dépression spectrale vers 5100 Å qu'il attribue à NO₂; il discute les réactions possibles entre NO₂ et N₂O₄ (30, 31). Cependant, d'après ses spectres, W. M. Sinton estimait la quantité maximum de NO₂ inférieure à 2.2 mm-atm (32). H. Spinrad conclut aussi à une teneur limite extrêmement faible (33). J. A. Adamchik (34), ainsi que E. J. Öpik (17) et d'autres, estiment les réactions d'équilibre entre NO₂ et N₂O₄ proposées trop instables.

La découverte de la vapeur d'eau dans l'atmosphère de Mars en 1963 est particulièrement importante. Les mesures spectrophotométriques de la bande 1.4 micron de H₂O effectuées en ballon stratosphérique et en haute montagne au Jungfraujoch par A. Dollfus conduisirent à trouver la vapeur d'eau sur Mars, la hauteur d'eau précipitable paraissant voisine de 150 microns (35, 36). Simultanément, L. D. Kaplan, G. Münch et H. Spinrad observaient sur Mars au Mt Wilson la bande 8300 Å de H₂O déplacée par l'effet Doppler; la calibration du spectre par D. Rank donne 1.4 microns. Le spectre à faible résolution obtenu le 1er mars 1963 par le ballon Stratoscope II ne semble pas montrer nettement les bandes de l'eau.

J. Adamchik (37) étudie l'équilibre thermodynamique entre la pression de vapeur de l'eau

et la limonite (goethite hydratée) qui constitue vraisemblablement la surface du sol martien et calcule pour ce seul processus une quantité d'eau dans l'atmosphère comprise entre 6×10^{-2} et $2 \cdot 10^{-4}$ gr cm^{-2} selon la température. A. I. Lebedinsky et G. I. Salova (38) étudient l'évaporation des calottes polaires et la diffusion atmosphérique; ils donnent pour quantité d'eau probable dans l'atmosphère $1.5 \cdot 10^{-3}$ gr cm^{-2} seulement. C. Sagan (39) calcule la pression de vapeur au-dessus des calottes polaires et l'effet de serre; il conclut à une quantité d'eau comprise entre 10^{-3} et $2 \cdot 10^{-2}$ gr cm^{-2} .

Circulation générale de l'atmosphère

Le calcul de la circulation atmosphérique dans le cas de Mars a été entrepris par Y. Mintz (40), à partir de l'échange de chaleur entre les pôles et l'équateur. Pendant l'hiver martien, la variation de température avec la latitude caractérise un régime turbulent de Rossby à plusieurs cellules circumpolaires, comme sur la Terre. En été, la variation de température avec la latitude semble diminuer et devenir inférieure à la valeur limite nécessaire au régime de Rossby, laissant une circulation méridienne avec transport régulier des masses d'air entre le pôle froid et l'équateur.

A l'Observatoire japonais de Kwasan, S. Miyamoto a relevé plusieurs déterminations de positions et déplacements de nuages blancs et jaunes, sur Mars de 1956 à 1963 (41); il a comparé ces mouvements avec les prédictions de Mintz. Les époques d'évaporation des calottes polaires devraient correspondre aux périodes de régime à transport régulier; il semble en effet que la vapeur d'eau diffuse progressivement vers l'équateur. Ce régime devrait être caractérisé par un amortissement des perturbations occasionnelles, mais aussi par une persistance des perturbations liées à la topographie constante; les déplacements des nuages semblent en effet associés souvent à la répartition des taches sombres. Les observations ne sont pas assez nombreuses pour vérifier le régime turbulent prévu en hiver.

Les nombreuses observations recueillies par la coopération internationale de 1956 ont été analysées à Meudon par G. de Mottoni, qui a dressé des cartes des mouvements des voiles jaunes. Les vents transportèrent de tels nuages notamment en contournant la tache très sombre *Depressio Hesperontica* qui se comportait comme un anticyclone; la circulation paraissait dans l'ensemble gouvernée par les conditions topographiques.

E. C. Slipher (3) a publié de très nombreux documents photographiques parmi ceux obtenus par lui depuis 1907; il a montré d'excellents cas de déplacements de nuages. La récurrence de mêmes trajectoires, souvent le long des contours des taches sombres, semble ressortir de cette grande étude.

De plus, E. C. Slipher (3), C. Tombaugh (6), A. Dollfus (à paraître) ont étudié séparément en grand détail les formations météorologiques permanentes de voiles de cristaux, leurs persurances aux bords levants et au-dessus de certaines régions claires.

Voiles jaunes

Les Centres de Documentation de la Commission à Meudon et Flagstaff regroupent la plupart des cas de voiles jaunes observés. La grande monographie de E. C. Slipher donne de nombreux exemples de nuées observées dans le passé. Les travaux cités de Miyamoto, de Mottoni, Dollfus et de la Coopération Internationale de la présente Commission établissent de nouveaux cas de nuages jaunes. La récurrence de ces voiles au-dessus de certaines régions paraît fréquente; ces voiles débutent toujours au-dessus des régions claires, et souvent à partir d'un nuage blanc de cristaux de glace. Leurs apparitions semblent limitées aux époques du printemps et ils sont plus fréquents dans l'hémisphère Sud.

G. P. Kuiper (29), ainsi que A. Dollfus (à paraître) ont appliqué la loi de Stokes à l'étude de la vitesse de chute des grains dans l'atmosphère martienne; les documents de la coopération

internationale de 1956 donnent la persistance des voiles et, par suite, la dimension des grains, le plus souvent compris entre 2 et 10 microns.

Les propriétés photométriques des voiles jaunes, mesurées sur les clichés du Pic-du-Midi, caractérisent des particules très absorbantes malgré leurs faibles diamètres, ayant même couleur jaune clair et même pouvoir réflecteur que les grains les plus fins des échantillons de limonite pulvérisée reproduisant les propriétés du sol martien.

Les mesures polarimétriques relevées au Pic-du-Midi et à Athènes ne peuvent s'expliquer que par de très petits grains constitués d'un matériau très absorbant (42).

Voiles bleus

E. C. Slipher consacre un chapitre de son ouvrage aux voiles bleus et à leurs brusques disparitions. La variation d'opacité de la couche absorbante violette, étudiée de 1922 à 1960, ne montre que des corrélations faibles avec la longitude martienne, la saison, la date de l'opposition, etc. Les éclaircies ne concernent pas toute la planète à la fois, mais des régions localisées; leurs apparitions soudaines ne sont pas favorables à l'hypothèse de particules de poussière, mais plutôt à la disparition de cristaux volatiles; l'albedo trop élevé des cristaux diélectriques suggère un mélange de particules de carbone agissant comme catalyseur, et de petits cristaux de glace. Selon A. G. Wilson (43), des particules de carbone ne permettraient pas d'expliquer les éclaircissements passagers, mais pourraient fournir les noyaux nécessaires à la formation de condensations.

E. J. Öpik (17) remarque que des particules diélectriques diffusant vers l'avant ne diminueraient pas l'éclat apparent du sol; que la diffusion vers l'arrière donnerait une brillance trop forte et que la diffusion latérale est un phénomène trop rare; il conclut à la nécessité d'une absorption propre. Cependant G. P. Kuiper admet que, étant donné le très faible pouvoir réflecteur du sol, des particules diélectriques diffusant principalement vers l'avant, et faiblement vers l'arrière, rendraient compte des faits. Des petits grains de poussière ayant des diamètres d'une fraction de longueur d'onde se comporteraient probablement ainsi. On comprend cependant mal leurs disparitions brusques lors des éclaircissements de la couche.

P. Werneck et F. F. Marmo invoquent de faibles traces variables de NO_2 (44), C. Sagan rejette l'hypothèse de l'action des protons solaires (45), Z. Kviz invoque les collisions avec les nuages de poussière cosmique (46), qui n'expliqueraient pas non plus les disparitions brusques.

Cependant, dans le violet et l'U.V., le pouvoir réflecteur des régions claires devient aussi faible que 0,05, les taches sombres semblent avoir un éclat peu différent et les contrastes relatifs entre les régions du sol deviennent très faibles; il suffit probablement d'une obscuration atmosphérique additionnelle infime pour faire disparaître complètement tous les détails, sauf la calotte polaire qui reste en effet toujours très bien visible. La couche violette permanente peut ne correspondre qu'à des impuretés atmosphériques extrêmement tenues. L'apparition additionnelle de faibles voiles bleus, légèrement plus brillants, et formés préférentiellement au-dessus des territoires clairs, pourrait suffire à reconstituer occasionnellement l'apparence des taches sombres.

BIBLIOGRAPHIE

1. Coll. Intern. Astrophys., Liège, 1962, *La Physique des Planètes*. Publ. Inst. Astrophys., Cointe-Sclassin, 1963.
2. Vaucouleurs, G. de Harvard Obs. U.S. AF, CRL Rep. no. 818.
3. Slipher, E. C. *The photographic Story of Mars*. Sky Publ. Corp. Cambridge, Mass. and Northland Press, Flagstaff, Ariz., 1962.
4. Dollfus, A. *Handbuch der Physik*, 54, p. 180. Springer Verlag, 1962.
5. Focas, J. *Planet. and Space Sci.*, 9, 371, 1962.
6. Tombaugh, C. U.S. Air Force, CRL, Rep. no. 676.

7. Lebedeva, I. I., Charonov, V. V. *Soviet Astr.*, **5**, 199, 1961.
8. Gillmore, W. F., Goldstein, R. M. *Science*, **141**, 1171, 1963.
9. Sinton, W. *Science*, **132**, 529, 1961.
10. Colthup, N. B. *Science*, **134**, 529, 1961.
11. Rea, D. G. *Space Sci. Rev.*, **1**, 159, 1961.
12. Fourth Intern. Space Sci. Symp., Varsovie, 1963. *Space Res.* **IV** (sous presse).
13. Hawrilewicz, E. J. *Nature*, **193**, 497, 1962.
14. Packer, E., Scher, S., Sagan, C. *Icarus*, **2**, 293, 1963.
15. Dollfus, A. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **255**, 2229, 1962.
16. Lamar, D. L. *Icarus*, **1**, 258, 1962.
17. Öpik, E. J. *Progress Astronaut. Sci.*, **1**, 268, 1962.
18. Davis, M. H. Rand 2817, JPL, Rep. 1961.
19. Schilling, G. F. Rand 402, JPL, Rep. 1962.
20. Schilling, G. F. Rand 3885, Pr. Rep. 1963.
21. Kellog, W. W., Sagan, C. *Rep. Space Sci. Board*, Nat. Acad. Sci., Washington, no. 944, 1961.
22. Öpik, E. J. *J. geophysic. Res.*, **65**, 3057, 1960.
23. Sekera, Z. *J. geophysic. Res.*, **67**, 1656, 1962.
24. Coulson, K. L., Lotman, M., Vachon, D. N. *Gen. Electric Techn. Rep.*, no. R. 62. SD. 71 et 58.
25. Chamberlain, J. W. *Astrophys. J.*, **136**, 582, 1962.
26. Yanov, G. *Douglas Aircraft Eng. Pap.* no. 974, 1961.
27. Yanov, G. *J. astronaut. Sci.*, **8**, 103, 1961.
28. Arking, A., Rasool, I. *Amer. geophysic. Un. Trans.*, **43**, 459, 1962.
29. Kuiper, G. P. *Commun. Lunar and Planet. Lab.* (Tucson), no. 31, 1963.
30. Kiess, C. C. *et al.* *Astr. J.*, **67**, 579, 1962.
31. Kiess, C. C. *et al.* *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **75**, 50, 1963.
32. Sinton, W. M. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **73**, 125, 1961.
33. Spinrad, H. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **75**, 190, 1963.
34. Adamchik, J. A. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **74**, 328, 1962.
35. Dollfus, A. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **256**, 3009, 1963.
36. Dollfus, A. *Astronomie*, Fév. 1964, p. 61.
37. Adamchik, J. *Planet. and Space Sci.*, **11**, 355, 1963.
38. Lebedinsky, A. I., Salova G. I. *Soviet Astr.*, **6**, 390, 1962.
39. Sagan, C. *Astr. J.*, **66**, 52, 1961.
40. Mintz, Y. *The Atmosphere of Mars and Venus*. U.S. Acad. Sci. Publ., Washington, 1961, p. 944.
41. Miyamoto, S. *Contr. Inst. Astrophys. Kwasan Obs.*, no. 124 et 125, 1963.
42. Lunar and Planet. Coll. 1961, II, no. 3.
43. Wilson, A. G. *Rand Commun.* P-2068, 1961.
44. Werneck, P., Marmo, F. F. *J. atmosph. Sci.*, **20**, 236, 1963.
45. Sagan, C. *Icarus*, **1**, 70, 1962.
46. Kviz, Z. *Bull. astr. Inst. Csl.*, **12**, 150, 1960.

LA PLANÈTE JUPITER

Observations visuelles et photographiques de Jupiter

Un ouvrage d'ensemble publié par B. M. Peek, intitulé *Jupiter* (Faber and Faber, London 1958) résume nos connaissances sur les aspects et mouvements des détails dans les bandes de Jupiter, et contient de très nombreuses informations.

Le Dr E. C. Slipher prépare la publication commentée d'un grand nombre de clichés de Jupiter choisis parmi les collections de photographies qu'il a recueillies depuis 1907.

Les phénomènes atmosphériques ont été étudiés au cours des apparitions des années 1960 à 1963 par la Société Astronomique de France (M. Marin (1, 2)), par la Société Astronomique Italienne (3), par la British Astronomical Association, sous la direction de W. E. Fox, par l'Association of Lunar and Planetary Observers (ALPO), etc. En outre l'étude visuelle des centres actifs a été particulièrement développée par J. H. Focas à l'Observatoire d'Athènes et par A. Herring à Tucson et Hawaï. R. R. de Freitas Mourao (4) a mesuré les latitudes des bandes en 1960.

Le Centre de Documentation de l'UAI à Meudon a reçu de nombreux clichés photographiques obtenus au Pic-du-Midi à travers plusieurs filtres de 3200 Å à 9000 Å (H. Camichel, M. Marin, E. Maurice, A. Dollfus), des collections d'images, dont certaines en couleurs, de Table Mountain Observatory (C. Capen, R. Newburn, etc.), des clichés en quatre couleurs de l'Observatoire de Haute-Provence (P. Guérin), etc. Certains planisphères ont déjà été établis et montrent l'évolution des bandes et centres actifs. Les mesures donnent des périodes de rotation.

Phénomènes atmosphériques

La région équatoriale de la planète s'est assombrie au cours des années 1960 à 1963 et reproduisit à nouveau l'aspect présenté de 1881 à 1885, lorsque les deux bandes équatoriales et la zone claire équatoriale se soudèrent en une seule bande sombre. L'activité dans la zone équatoriale de la planète commença en 1958 par l'apparition de filaments de plus en plus nombreux qui, en 1951, formèrent un voile épais; les mesures photométriques de J. H. Focas (11) donnent l'assombrissement maximum de la zone équatoriale en 1962; la régression commença en 1963. Les mêmes conclusions sont données par W. E. Fox (5).

De fortes perturbations dans la zone tempérée australe ont été étudiées à l'Observatoire d'Athènes par J. H. Focas et C. Banos (6), ainsi que leurs répercussions sur la Tache Rouge et sa position en longitude.

La position de la Tache Rouge et ses changements ont été étudiés par J. Meeus (7) et R. A. McIntosh (8) de 1957 à 1962; la longitude calculée dans le Système II augmentait et des échanges de matière claire et sombre se sont manifestés.

B. M. Peek (9) a étudié la durée de vie de la 'grande perturbation australe' et conclut que ce phénomène persista de 1901 à 1947.

Les propriétés générales de l'activité atmosphérique sur Jupiter ont été exposées en détail par J. H. Focas (10). La quantité totale de matière sombre a été étudiée à Athènes par photométrie des clichés photographiques par J. H. Focas et C. Banos (11) de 1952 à 1963; un minimum d'activité totale est noté en 1960, ainsi qu'une inversion de l'intensité de l'activité entre les deux bandes équatoriales.

Photométrie

G. Wlérick et ses collègues ont obtenu des clichés de Jupiter à 5850 Å avec la caméra électronique de Lallemand; les coupes photométriques de la planète donnant l'assombrissement au bord du disque sont corrigées de diverses causes d'étalement en utilisant la méthode de Van Cittert adaptée aux calculateurs électroniques (12, 13).

En 1962, V. G. Teifel a comparé spectrophotométriquement Jupiter et la Lune et confirmé l'existence d'une absorption progressive vers l'ultraviolet (14, 15). Selon les mesures photo-électriques de H. Spinrad (16), cette absorption ne peut s'expliquer par N_2O_4 .

R. L. Younkin et G. Münch (Colloque Liège) donnent des courbes de répartition spectrale de l'énergie et du pouvoir réflecteur de 3300 Å à 8000 Å. Des spectres et des clichés en 4 couleurs de la Tache Rouge et des régions voisines obtenus en France par P. Guérin montrent

que cette tache produit une large absorption débutant dans le jaune-vert et maximum dans le violet.

Polarimétrie

La polarisation de la lumière a été mesurée près des pôles et au limbe en six longueurs d'onde, comprises entre 3200 et 10 000 Å, par T. Gehrels (17); le résultat est conforme à celui prévu par la diffusion multiple dans une atmosphère transparente au-dessus des nuages; la couche nuageuse doit être partiellement résorbée près des pôles.

Les courbes de polarisation en fonction de l'angle de phase ont été mesurées en lumière jaune au Pic-du-Midi et en infrarouge vers 1 micron à Meudon par M. Marin et A. Dollfus; ces deux courbes semblables paraissent confirmer que l'atmosphère au-dessus des nuages doit être polluée par quelques impuretés.

Mesures thermiques

Le réflecteur Hale de 5 m du Mt Palomar a été utilisé par B. C. Murray et R. L. Wildey (18) pendant 5 nuits pour un examen détaillé de l'émission thermique entre 8 et 14 microns sur la surface du disque de Jupiter, avec un orifice explorateur de 5.6 secondes d'arc. La température déduite est maximum au centre du disque et vaut 128.5 °K; elle décroît régulièrement vers les bords et devient 125.5 °K à la distance de 0.8 rayon du centre. Aucune différence systématique n'est trouvée entre les bandes sombres et les zones claires, ni entre les pôles et le limbe.

Un signal positif très fort a été enregistré lorsque l'orifice explorateur recouvrit la tache de l'ombre projetée par le satellite I sur le disque. Ce surprenant phénomène n'est pas expliqué.

Etude spectrale

De nouveaux spectres infrarouges de Jupiter ont été recueillis entre 0.9 et 2.0 microns avec un spectrophotomètre à cellule au sulfure de plomb donnant une résolution élevée par G. P. Kuiper (19). Toutes les raies et bandes observées peuvent s'expliquer par les absorptions du CH₄ et du NH₃ seulement. V. I. Moroz (20, 21) a recueilli des spectres analogues entre 0.9 et 2.5 microns; les résultats confirment dans l'ensemble ceux de G. P. Kuiper; une bande nouvelle douteuse est cependant notée à 1.59 microns. Les bandes du CH₄ donnent une abondance correspondant à 150 m (S.T.P.) en accord avec les déterminations antérieures; la bande 1.5 microns du NH₃ donnent seulement 50 cm (S.T.P.), quantité plus faible que celle déduite des spectres photographiques.

A la station d'altitude du Slope Observatory, Mauna Loa, Hawaï, C. C. Kiess, H. K. Kiess et C. H. Corliss (22) avaient photographié des spectres de Jupiter avec une grande dispersion, entre 3600 Å et 8900 Å. Les intensités et structures des bandes du NH₃ à 6450 Å et 7900 Å, et du CH₄ à 6200, 7250, 8420 et 8620 Å ont été données. Les auteurs attribuent l'absorption continue dans le violet et l'ultraviolet à la molécule de tetroxyde d'azote. Cependant Su-Shu Huang (23) conteste cette interprétation.

C. C. Kiess a reconnu quatre raies quadripoles de H₂ prévues par G. Herzberg.

A partir des spectres précédents, F. R. Zabriskie (24) a mesuré les largeurs équivalentes pour les raies S(1) et S(0) donnant une quantité d'hydrogène voisine de 5 km (S.T.P.) au-dessus de la couche nuageuse.

L'examen d'anciens et de nouveaux spectres du Mt. Wilson, de Lick et du Dominion Observatory par H. Spinrad confirment et précisent les structures des bandes du CH₄ et NH₃. Les mesures des intensités des raies quadripoles de H₂ donnent 27 km d'hydrogène au-dessus de la couche nuageuse, probablement 19 km de He, 0.2 km de CH₄ et NH₃ et 0.7 km de Ne. Le rapport H/C serait beaucoup plus faible que dans le Soleil.

A l'Observatoire de Alma-Ata, V. G. Teifel et N. V. Priboéva (Colloque Liège 1962) ont déterminé sur de nombreux spectres la répartition de l'intensité de la bande 6190 \AA du CH_4 sur la surface du disque de Jupiter. Aucune différence sensible n'apparaît entre les bandes et les zones ni entre le centre et les bords du disque. Cette absorption spectrale proviendrait de la couche gazeuse de CH_4 au-dessus des nuages et de la diminution de l'éclat propre de la couche nuageuse dans la bande d'absorption; ces deux effets compenseraient leurs variations. L'intensité moyenne de la bande spectrale semble changer d'une nuit à l'autre, comme l'expliqueraient des variations de l'altitude de la couche nuageuse d'environ $\pm 2 \text{ km}$.

H. Spinrad et G. Münch (25, 26) ont annoncé que l'inclinaison des raies du NH_3 et CH_4 par déplacement Doppler dû à la rotation de la planète était moindre que prévu par la théorie et la comparaison avec les autres raies solaires. Cependant, les spectres obtenus spécialement dans ce but en Haute-Provence (France) avec 4 \AA/mm par C. Fehrenbach et P. Guérin (27) et à l'Observatoire Lick avec 2 \AA/mm par G. H. Herbig et L. P. Giver (28) montrent que, en 1963, l'effect signalé était inexistant.

G. Herzberg et J. W. C. Johns (Colloque Liège 1962) discutent des bandes du CH_2 et de la détection possible de cette molécule sur Jupiter et Saturne.

Circulation atmosphérique

La durée de rotation radioélectrique (Système III) déterminée à l'Observatoire Yale vaut $9^{\text{h}} 55^{\text{m}} 29.37^{\text{s}}$ et correspond probablement au noyau solide. Les durées de rotation des masses nuageuses (Système I et Système II) rapportées à celles du Système III, donnent les vitesses de déplacement de la haute atmosphère par rapport au noyau. La zone équatoriale est animée d'une vitesse propre vers l'Est de près de 100 m/sec . Ce déplacement change de sens aux latitudes tropicales. Le phénomène est inverse de celui observé sur Terre; R. Gallet en conclut que l'énergie calorifique produisant cette circulation atmosphérique provient non pas de la radiation solaire mais de la température propre du noyau.

Selon R. Hide (29), (Colloque Liège 1962), le déplacement horizontal de l'atmosphère pourrait donner les conditions hydrodynamiques nécessaires à la naissance de 'colonnes de Taylor', c'est-à-dire des cellules cylindriques à axe parallèle à l'axe de rotation de la planète. Dans ce cas un accident topographique prononcé à la surface du noyau serait surmonté d'une colonne de fluide en mouvement cyclonique, à axe parallèle à la ligne des pôles, qui pourrait manifester ses effets jusqu'au niveau de la couche nuageuse observable. La Tache Rouge pourrait être de la sorte le sommet d'une perturbation engendrée par un accident permanent de la surface ayant des dimensions transversales voisines de celle de la Tache, et une dénivellation d'environ 1 km de hauteur. Les observations d'interaction entre les formations sombres et claires et la Tache Rouge (reportées en particulier dans l'ouvrage cité de B. M. Peek) indiqueraient, autour de la colonne de Taylor correspondante, un écoulement laminaire vers l'équateur, et turbulent vers le pôle.

C. Sagan (Colloque Liège 1962) a montré que l'explication classique de la Tache Rouge par un corps solide en équilibre statique dans l'atmosphère se heurte à plusieurs graves difficultés hydrodynamiques et physiques. L'hypothèse de Hide échappe à ces critiques. Les échanges de matières observés entre la Tache et son entourage indiqueraient une convection dans le sein de la colonne de Taylor correspondante et les colorations pourraient provenir de molécules organiques produites par les décharges électriques ou l'UV solaire.

Structure et composition de l'atmosphère

R. Gallet procède au calcul du gradient thermique vertical de l'atmosphère de Jupiter en tenant compte de la présence des molécules et de leurs changements d'état. A l'altitude $z = 0$ correspondant à la couche nuageuse, $T = 162^\circ$ et l'ammoniac donne des nuages de cristaux. Vers $z = -60 \text{ km}$ le point triple de NH_3 est atteint et les nuages deviennent des gouttelettes.

Vers $z = -100$ km, H₂O donne des cristaux, puis plus bas des gouttelettes. Vers $z = -200$ km l'atmosphère redeviendrait limpide.

Selon E. J. Öpik (30), (Colloque Liège 1962), l'atmosphère serait constituée pour la plus grande part d'hélium, selon le pourcentage probable suivant: He: 97.2 %; H₂: 2.3 %; Ne: 0.39 %; CH₄: 0.063 %; A: 0.042 %; NH₃: 0.0029 %.

L'azote serait exclu; CO₂ serait complètement réduit en CH₄ et H₂O. La température au niveau supérieur des nuages serait 156 °K et la pression probable 11 atm.

Etude radioélectrique

Le mémoire que le Dr C. H. Mayer a bien voulu préparer sur l'étude radioélectrique de Jupiter, se trouve intégralement reproduit dans le Rapport de la Commission 40, pages 656 et 657.

BIBLIOGRAPHIE

1. M. Marin *Astronomie*, 1961, p. 171 et 1962, p. 181.
2. M. Marin *Astronomie*, 1963, p. 105.
3. Dall'Olmo, U. *Mem. Soc. astr. Ital.*, **32**, 343, 1962.
4. Freitas Mouraos, R. R. *Mon. Not. astr. Soc. S. Afr.*, **10**, 121, 1961.
5. Fox, W. E. *J. Brit. astr. Asso.*, **72**, 63, 1962.
6. Focas, J. H., Banos, C. *Circulaire UAI* no 1809-1816.
7. Meeus, J. *Ciel et Terre*, **78**, 347, 1962.
8. McIntosh, R. A. *Southern Stars*, **19**, 71, 1961.
9. Peek, B. M. *J. Brit. astr. Asso.*, **73**, 109, 1963.
10. Focas, J. H. *Colloque Liège*, 535, 1963.
11. Focas, J. H., Banos, C. *Ann. Astrophys.*, **27**, 36, 1964.
12. Wlérick, G., Rösch, J., et al. *Advances in Electronics and Electron Physics*, **14**, 371, 1962.
13. Wlérick, G., Rösch, J., et al. *Mém. Soc. R. Sci. Liège*, **7**, 522, 1963.
14. Teifel, V. G. *Izv. Akad. N. Kazahskoj SSR (Alma-Ata), Ser. fiz.-mat.*, **16**, no. 1, 1963.
15. Teifel, V. G. *Colloque Phys. Planètes U.R.S.S.* 1963.
16. Spinrad, H. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **74**, 156, 1962.
17. Gehrels, T. *Communic. Lunar and Planet. Lab.* (Univ. Arizona) et *Astr. J.*, **67**, 272, 1962.
18. Murray, B. C., Wildey, R. L. *Astrophys. J.*, 1964, à paraître.
19. Kuiper, G. P. *Colloque Liège*, Vol. **26**, p. 377, 1964.
20. Moroz, V. I. *Astr. Zu.*, **38**, 1080, 1961 (*Soviet Astr.*, **5**, 827, 1962).
21. Moroz, V. I. *Astr. Zu.*, **38**, 1080, 1961 (*Soviet Astr.*, **5**, 827, 1962).
22. Kiess, C. C., Kiess, H. K., Corliss, C. H. *Astrophys. J.*, **132**, 121, 1960.
23. Su-Shu Huang *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **73**, 446, 1961.
24. Zabriskie, F. R. *Astr. J.*, **67**, 168, 1962.
25. Spinrad, H., Münch, G. *Astrophys. J.*, **136**, 311, 1962.
26. Spinrad, H., Münch, G. *Astr. J.*, **67**, 587, 1962.
27. Fehrenbach, C., Guérin, P. *C.R. Acad. Sci. Paris*, **258**, 1403, 1964.
28. Herbig, G. H., Giver, L. P. *Astrophys. J.*, **139**, 729, 1964.
29. Hide, R. *Nature*, **190**, 895, 1961.
30. Öpik, E. J. *Icarus*, **1**, 200, 1962.

LES SATELLITES DE JUPITER

Le nouveau réflecteur de 107 cm du Pic-du-Midi permet d'améliorer encore la cartographie de la surface des satellites effectuée antérieurement au Pic-du-Midi par B. Lyot. Les premiers dessins obtenus par A. Dollfus indiquent des configurations permanentes plus fines. Les taches de Ganymède apparaissent sur les photographies.

Une nouvelle détermination de diamètres a été effectuée par J. H. Focas (1) à Athènes avec

un micromètre à double image et réfracteur de 63 cm. A 5 u.a. Io donne 0.94", Europe 0.86", Ganymède 1.53" et Callisto 1.34".

Les mesures thermiques de B. C. Murray et R. L. Wildey (2) entre 8 et 14 microns avec le réflecteur de 5 m du Mt Palomar donnent 135°K pour Ganymède, 141°K pour Callisto et moins de 135° et 141° respectivement pour Io et Europe. Les valeurs de Ganymède et surtout Callisto dépassent celles calculées dans le cas de corps gris chauffés seulement par le Soleil.

Les courbes photoélectriques en fonction de l'angle de phase de J. Stebbins ont été ré-examinées par A. Dollfus (3); Callisto montre une rapide perte d'éclat de part et d'autre de la phase nulle comparable à celles observées sur Mercure, la Lune et les astéroïdes, privés d'atmosphère. Ganymède donne une variation intermédiaire entre la Lune et Mars. Io et surtout Europe ont un pouvoir réflecteur élevé et la forme des courbes indique une faible rugosité, ce qui pourrait caractériser un dépôt de cristaux congelés sur le sol.

F. Link (4), utilisant les courbes photoélectriques de Harris lors de leurs éclipses, suggère l'existence d'une luminescence des satellites. A. Binder et D. Cruikshank (5) décelèrent par des mesures photoélectriques un faible accroissement d'éclat de Io pendant les quelques minutes qui suivent la sortie de ces astres du cône d'ombre de la planète, qui pourrait provenir de congélations par refroidissement dans l'ombre.

J. H. Botham (6) étudie les éclipses et occultations de satellites.

BIBLIOGRAPHIE

1. Focas, J. H. *Praktika Acad. Athènes*, **36**, 179, 1961.
2. Murray, B. C., Wildey, R. L. *Astrophys. J.*, 1964, à paraître.
3. Dollfus, A. *Handbuch der Physik*, **54**, 218, 1962.
4. Link, F. *Bull. astr. Inst. Csl.*, **14**, 23, 1963.
5. Binder, A., Cruikshank, D. *Communic. Lunar and Planet. Lab.*, à paraître.
6. Botham, J. H. *Mon. Not. astr. Soc. S. Afr.*, **21**, 52, 1962.

LA PLANÈTE SATURNE

Etudes visuelles et photographiques

Les études visuelles ont été développées principalement par les membres de l'ALPO et ceux de la British Astronomical Association sous la direction de M. B. B. Heath qui centralisa des observations en provenance de stations très diverses (1).

A. F. Alexander a publié l'ouvrage *The Planet Saturn* (Faber and Faber, London, 1962) groupant de nombreuses données.

Le Centre de Documentation Photographique de l'UAI de Meudon a reçu quelques photos récentes du Pic-du-Midi (H. Camichel et A. Dollfus) et de Table Mountain (C. Capen), ainsi que des documents anciens beaucoup plus nombreux des Observatoires de Lick, Mt. Wilson, Lowell, Bloemfontein, Juvisy, etc. . . .

La tache brillante exceptionnelle survenue en avril 1960 à la latitude + 57° avait fait l'objet d'une demande d'observations concertées de la part du Président de la Commission 16 (circulaire UAI du 9 mai 1960). 78 déterminations de passages au méridien reçues de la part de 16 observateurs ont été étudiées par A. Dollfus (2) qui distingue plusieurs configurations dont la durée de rotation commune était 10^h 39.9^m à la latitude + 57°. La rotation équatoriale est environ 10^h 15^m, ce qui révèle un très rapide courant équatorial. La différence entre les vitesses des deux courants atteint 1400 km/h, soit 3.5 fois plus que dans le cas de Jupiter (environ 400 km/h). Au préalable, T. A. Cragg (3) ainsi que L. J. Robinson (4) avaient obtenu un résultat analogue par l'examen des observations communiquées par l'ALPO.

Etudes spectrales et photométriques du disque

G. Wlérick, J. Rösch et leurs collègues (Colloque Liège 1962) ont obtenu un cliché de Saturne le 9 juillet 1961 au Pic-du-Midi avec la caméra électronique Lallemand. L'analyse photométrique et la correction de l'étalement dû à la turbulence donnent l'assombrissement centre-bord pour la longueur d'onde moyenne 5850 Å.

V. I. Moroz (5) a analysé des spectres IR de Saturne obtenus en juin 1960, de 0.9 à 2.5 microns, avec un spectromètre à cellule de PbS. Les spectres sont légèrement différents de ceux obtenus par G. P. Kuiper en 1947, à cause de la lumière des anneaux. Par spectrographie photographique, H. Spinrad, G. Münch et L. M. Trafton (6) ont trouvé pour les bandes du NH₃ dans le rouge une abondance plus faible que prévue par les travaux antérieurs.

G. Münch et H. Spinrad (Colloque Liège 1962) ont identifié à 6453.03 Å et 6367.80 Å les bandes de rotation-vibration quadripoles de H₂.

Etude des anneaux

Le cliché précité du 9 juillet 1961, obtenu avec la caméra électronique, donne le profil photométrique des anneaux le long du grand axe.

M. S. Bobrov (7), (Colloque Liège 1962) a amélioré sa théorie photométrique des anneaux en tenant compte des ombres portées les unes sur les autres par des blocs de dimensions très variées. Les blocs de diamètres compris entre 10 m et 10 cm auraient une surface très tourmentée et un albedo voisin de 0.6 ou 0.7. Des limites d'abondance des grains beaucoup plus petits sont définies. L'épaisseur des anneaux est trouvée inférieure à 2-4 km. La densité optique serait voisine de 0.5 pour l'anneau A, 1.0 à 1.5 pour l'anneau B. Le volume occupé par la matière serait un peu supérieur à 3×10^{-3} seulement; la masse totale serait comprise entre 4×10^{-9} et 4×10^{-7} fois celle de la planète.

A. Dollfus a mentionné (8) les résultats des mesures polarimétriques développées au Pic-du-Midi depuis 1959. Une composante polarisée parallèle ou perpendiculaire à la trajectoire des particules indique que ces corps doivent être dans l'ensemble allongés, ou éventuellement striés par de nombreuses incisions parallèles. La composante polarisée due à la diffusion directe reste faible et compatible avec l'hypothèse proposée par G. P. Kuiper d'un dépôt superficiel de givre ou de glace.

Sur les spectres infra-rouges de V. I. Moroz (5), un faible maximum entre 2.2 et 2.3 microns semble provenir du givre, ce qui confirme encore l'hypothèse de Kuiper.

Etude radioélectrique

On trouvera le rapport que le Dr C. H. Mayer a bien voulu préparer sur l'étude radioélectrique de Saturne dans le Rapport de la Commission 40, page 658.

BIBLIOGRAPHIE

1. *J. Brit. astr. Asso.*, **73**, 62, 1963 et **74**, 1964 (sous presse).
2. Dollfus, A. *Icarus*, **2**, 109, 1963.
3. Cragg, T. A. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **73**, 318, 1961.
4. Robinson, L. J. *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **73**, 347, 1961.
5. Moroz, V. I. *Astr. Zu.*, **38**, 1080, 1961 (*Soviet Astr.*, **5**, 827, 1962).
6. Spinrad, H., Münch, G., Trafton, L. M. *Astr. J.*, **67**, 587, 1962.
7. Bobrov, M. S. *Astr. Zu.*, **38**, 669, 1961 (*Soviet Astr.*, **5**, 508, 1962).
8. Dollfus, A. Coll. Intern. Astroph. Liège, 1962, *La Physique des Planètes*. Publ. Inst. Astroph., Cointe-Slessin, 1963, p. 593.

A. DOLLFUS

Président de la Commission