

THE PRIMITIVE TERRESTRIAL ATMOSPHERE AND  
THE ATMOSPHERES OF VENUS AND MARS

by

Alexandre Dauvillier  
*Correspondent of the Academy*

*Translated from*  
*C.R. Acad. Sc. Paris, Series D, 267, (1968), 697-700*

by

E.R. Hope

Defence Scientific Information Service  
DRB Canada  
December 1970

T 9 F



The Defence Research Board thanks the author and the Academy of Sciences of Paris for their kind permission to publish this translation.

## THE PRIMITIVE TERRESTRIAL ATMOSPHERE AND THE ATMOSPHERES OF VENUS AND MARS

Alexandre Dauvillier\*

*Correspondent of the Academy*

The author shows how the above-said atmospheres were of the same nature and essentially made up of water vapor and carbon dioxide; how the latter substance has carbonated the terrestrial soil and not the soil of Venus; how the oceans on Venus have remained with their water still in the supercritical state, and how the atmosphere of Mars is periodically renewed.

I. As long ago as 1933 it was shown by V.M. Goldschmidt [1] that the amount of fossil carbon dioxide is enough to have produced a partial pressure of at least 10 bars in the primitive atmosphere of the Earth. R.T. Chamberlin [2] in 1947 estimated the pressure at 15 bars, which added to that of the vaporized oceans would have given a total pressure of 225 bars. Since the mass of the hydrosphere is  $1.31 \cdot 10^{24}$  g the pressure would actually have amounted to  $247 + 25 = 272$  bars. This exceeds the critical pressure for water (225 bars) at temperatures greater than  $374^{\circ}\text{C}$ .

These indeed are the proportions indicated by volcanism, and this primitive atmosphere was the product of the paleovolcanism resulting from the chemical evolution of the lithosphere in the course of its cosmic cooling.

Now, just such conditions seem to be presently in existence on Venus, where condensation of the oceans has been prevented by a solar radiation twice as intense as on Earth. The best measurements of the ground temperature of Venus was obtained on the 14th of December 1962 by Mariner 2, and yielded a value of  $700^{\circ}\text{K}$ , that is,  $427^{\circ}\text{C}$ : a temperature well above the critical temperature of water. On the other hand, Venusik 4 on the 18th of October 1967 measured a pressure of 22 bars, due almost entirely to  $\text{CO}_2$ ; this was at a temperature of  $280^{\circ}\text{C}$  and therefore at a height far above the ground. Actually the announced values varied from 22 bars to 7.3 bars, and the radar altimeter data seem equally doubtful.

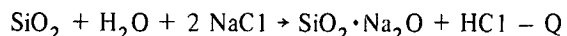
The surface isotherm ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) of the Venerian cloud layer may be considered as the analog of the terrestrial tropopause. In the troposphere a uniform thermal gradient of about  $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$  obtains over an altitude interval of 11 km. The gradient measured on Venus, namely  $9^{\circ}\text{C}/\text{km}$ , gives us, for the temperature interval of  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $+427^{\circ}\text{C}$ , an atmospheric thickness of  $467/9 = 52$  km, a value roughly confirmed by the difference between the optical and radar radii, namely  $6096 - 6056 = 40 (\pm 5)$  km.

So too in tropospheres of Earth and Venus the pressure varies exponentially, halving with each height-increment of 5 km. Knowing that the pressure is 0.20 bar of  $\text{CO}_2$  at the level of the clouds, the altitude of 52 km gives a total pressure of 285 bars at ground level; thus higher than the critical pressure for water and close to the previous estimate of 272 bars for the primitive Earth. The linear graphs of temperature and of pressure (logarithmic) both confirm independently that Venusik 4 ceased to broadcast at 18 km altitude.

The extreme points obtained by Mariner 5, namely 6 bars and  $180^{\circ}\text{C}$ , both fall on the straight lines, at altitude 28 km.

\* Session of the Academy 29 July, 1968.

It appears, then, that the oceans of Venus are contained in the lowest part of the planet's atmosphere in the supercritical state. This conclusion agrees well with the radio observations. Knowing that supercritical water dissolves silica and alkaline halogenides, we can predict gas-phase reactions such as that of Boussingault



and this accords with the discovery of traces of HCl and HF reported by P. and J. Connes et al., [3], using the very attractive method of interference spectrography by Fourier transform.

Under these conditions the CO<sub>2</sub> atmosphere is stable and cannot bring about carbonation of the Venerian silicates, since all carbonates would be decomposed by the water vapor. But on the cold primitive Earth, as soon as the oceans condensed, alkaline-earth, earth-metal and iron silicates gave rise to some 200 m of carbonate sediments, the very low residual CO<sub>2</sub> pressures being thereafter controlled by the dissociation pressure of the bicarbonates dissolved in the ocean waters.

Such an atmosphere is of course totally opaque and the high temperature of ground surface is attributable solely to the internal heat flux due to the radio-activity of the lithosphere.

In the case of the Earth, the conductively transmitted thermal flux is  $54 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and we should add thereto the more intense flux arriving by way of the magma convection currents responsible for volcanism and geothermal phenomena. A new estimate [4] has given us for the total internal heat production a figure of  $22 \cdot 10^{12} \text{ cal/s}$ , corresponding to a mean flux of  $183 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

This flux is already sufficient to raise the surface of an Earth devoid of air and water and remote from the Sun to a temperature of 42°K, instead of 3°K. \* It is sufficient to raise the surface of Venus to 427°C, and is dissipated outward only by gaseous thermal convection.

In other words, the isothermal surface of 427°C, which on Earth is at depth 17 km, is at ground level on Venus, because of the complete radiative insulation. These are favorable conditions for an intensive mineralization, and it is likely that the granitized rock of the planet's surface is covered with giant crystals of quartz and silicates.

**II. The atmosphere of Mars.** The best measurement of the Martian atmospheric pressure was obtained from study of the radio occultation of the signals from Mariner 4 on the 14th of July 1965, and yielded a figure of 5-8 mb of a gas of molecular weight close to 40. Since spectographic measurements have shown a CO<sub>2</sub> pressure of between 5 and 15 mb, it appears that the Martian atmosphere is essentially composed of CO<sub>2</sub>.

This result confronts us with two important problems.

1. In 1937 C.F. Von Weizsäcker [5] showed that the argon 40 contained in our atmosphere came from the decay of potassium 40. From this H. Brown [6] concluded in 1947 that all the terrestrial planets must have had 13 g/cm<sup>2</sup> of argon in their atmospheres, which on Mars would correspond to a pressure of 5 mb. But this gas, which could not have escaped from Mars, is just not found to be there.

2. Mars, according to the paleovolcanic theory of the origin of planetary atmospheres, ought to possess an atmosphere some hundred times more abundant.

Lyman Spitzer [7] in 1947 showed that neither solar bursts nor interplanetary and solar winds could strip off CO<sub>2</sub> and A<sup>40</sup> from Mars. The radiative exosphere of Mars is cold (400°K) and in spite of the planet's small mass it should retain its primitive CO<sub>2</sub> atmosphere and its argon 40.

We thus arrive at the conclusion that Mars, and *a fortiori* Mercury and the Moon, must occasionally undergo loss of the greater part of their residual atmospheres.

\* Not absolute zero.

Now we have suggested exceptionally powerful solar eruptions, occurring at least every megayear, as the cause of reversals of the planetary magnetic fields [4,8]. This hypothesis seems to check with the fact that cores taken in the Bellingshausen Sea have shown two reversals (0.8 and 1.9 mega years B.P.) coinciding with extinctions of Radiolaria. Though present-day solar burst emissions are insufficient to achieve the thermal expulsion of  $\text{CO}_2$  and  $\text{A}^{40}$  from these planets, the emissions associated with powerful eruptions are certainly more capable of doing so. Furthermore, even if the intense solar proton jets that we envisage should strike a planet only once in a thousand times, the abrupt heating of the planet's surface and atmosphere would cause an expulsion of gases from the sunlit hemisphere.

The Martian atmosphere would thus periodically have to be renewed.  $\text{A}^{40}$  would have been expelled, and the observed carbon dioxide gas would be juvenile, emitted from the surface by *postvolcanism*.

Nitrogen and water vapor, which are rare in the high atmospheres of Venus and Mars, are there undergoing absorption according to the Thénard photo-chemical reaction  $\text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2 \cdot \text{NH}_4$ , producing the yellowish ammonium nitrite aerosol that constitutes the cloudy veil of Venus, and producing part of the scattering particles of the Martian atmosphere [9].

Mars, as its paleovolcanic "Lunar" surface relief shows, has never possessed an abundant atmosphere of supercritical water, which would be ruled out by the planet's small mass. As on Mercury and the Moon the water vapor and carbon dioxide gas, released at high temperatures and thus having high velocities, immediately escaped into space. But Mars retained its water for a somewhat longer time, and this water vapor oxidized the lavas, rich in iron silicates, that had flooded the planet's "lunar" seas. These "seas" or maria, which have remained dark and greenish on Mercury and the Moon, have become light-colored and reddish on Mars, by virtue of the reaction  $2 \text{FeO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 + \text{Q}$ . The vast Martian deserts in fact are, contrary to their name, the actual low-lying "lunar" seas of the planet [10].

These considerations indicate that the primitive atmospheres of the terrestrial planets were all of the same nature, essentially made up of water vapor and carbon dioxide gas, the products of volcanism. This is of importance in connection with the question of the origin of organic and organized matter. It confirms that the primitive terrestrial atmosphere was transparent to the solar ultraviolet; it could not have contained either hydrogen or absorptive carbides of hydrogen, as required by the photochemical theory of the origin of life [11]. On Mars the absence of liquid water prevented all photosynthesis of ternary or quaternary compounds, which in any case would have been destroyed there by ozone at ground level, or by lethal radiations.

Pic du Midi Observatory,  
Bagnères, Hautes-Pyrénées.

- [1] V.M. Goldschmidt, Fort. d. Mineral., **17**, 1933, p. 112-156.
- [2] R.T. Chamberlin, Symposium Yerkes Obs., 1947, Chicage Univ. Pr., 1948, 1 volume, 366 pages.
- [3] W. Benedict, J. Connes, P. Connes and L. Kaplan, Astr. J., **147**, 1967, p. 1230.
- [4] A. Dauvillier, Rev. Gén. E1., **76**, 1967, p. 399-409.
- [5] C.F. Von Weizsäcker, Phys. Zeits., **38**, 1937, p. 623.
- [6] H. Brown, Symposium Yerkes Obs., 1947, Univ. Chicago Pr., 1948.
- [7] L. Spitzer, Symposium Yerkes Obs., 1947, Univ. Chicago Pr., 1948.
- [8] A. Dauvillier, Comptes rendus, **263**, Series B, 1966, p. 779. [DRB translation T 4 F.]
- [9] A. Dauvillier, Comptes rendus, **243**, 1956, p. 1257.
- [10] A. Dauvillier, Ciel et Terre, **83**, 1967, p. 384. [DRB translation T 8 F.]
- [11] E. Desguin and A. Dauvillier, Comptes rendus, 208, 1939, p. 294; A. Dauvillier: The Photochemical Origin of Life, Academic Press, 1965, 1 volume, 193 pages.

GÉOCHIMIE. — *Sur l'atmosphère primitive du Globe et les atmosphères de Vénus et de Mars.* Note (\*) de M. **Alexandre Dauvillier**, Correspondant de l'Académie.

L'auteur montre comment ces atmosphères étaient de même nature et essentiellement formées de vapeur d'eau et de gaz carbonique ; comment celui-ci a carbonaté le sol terrestre et non celui de Vénus ; comment les océans sont demeurés à l'état d'eau hypercritique sur Vénus et comment l'atmosphère de Mars se renouvelle périodiquement.

I. V. M. Goldschmidt <sup>(1)</sup> montrait déjà en 1933, que le gaz carbonique fossilisé représentait une pression partielle d'au moins 10 bars dans l'atmosphère primitive de la Terre. R. T. Chamberlin <sup>(2)</sup> estimait en 1947 cette pression à 25 bars, qui ajoutée à celle des océans vaporisés, aurait donné une pression totale de 225 bars. Comme la masse de l'hydrosphère est de  $1,31 \cdot 10^{24}$  g cette pression aurait, en réalité, atteint  $247 + 25$ , soit 272 bars excédant la pression critique de l'eau (225 bars) aux températures supérieures à 374 °C.

Ce sont là les proportions effectivement montrées par le volcanisme et cette atmosphère primitive était le produit du paléovolcanisme résultant de l'évolution chimique de la lithosphère au cours de son refroidissement cosmique.

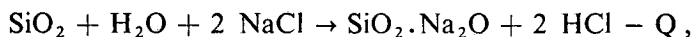
Or, ces conditions semblent actuellement réalisées sur Vénus où la condensation des océans a été prévenue par un rayonnement solaire deux fois plus intense. La meilleure mesure de la température du sol a été effectuée le 14 décembre 1962 par Mariner 2 et a donné 700 °K, soit 427 °C, largement supérieure à la température critique de l'eau. D'autre part, Venusik 4 a mesuré le 18 octobre 1967, une pression de 22 bars, presque entièrement due à CO<sub>2</sub>, pour une température de 280 °C, par conséquent très au-dessus du sol. En réalité, les valeurs annoncées ont varié de 22 bars à 7,3 bars et les données du radar altimètre semblent également douteuses.

La surface isotherme (-40 °C) de la couche nuageuse peut être considérée comme analogue à la tropopause terrestre. Dans la troposphère, le gradient thermique uniforme d'environ 5 °C/km, règne sur 11 km de hauteur. Le gradient mesuré sur Vénus, soit 9 °C/km, conduit, pour une différence de température de -40 °C à +427 °C, à une épaisseur atmosphérique de 467/9, soit 52 km, valeur sensiblement confirmée par la différence du rayon optique et du rayon radar, soit 6 096 - 6 056 ou 40 km.

De même, dans les troposphères de la Terre et de Vénus, la pression varie exponentiellement, avec une échelle de hauteur voisine de 5 km, pour une variation de moitié. Sachant que la pression est de 0,20 bar de CO<sub>2</sub> au niveau des nuages, cette altitude de 52 km donne au sol une pression totale de 285 bars, supérieure à la pression critique de l'eau et en accord avec l'estimation terrestre précédente de 272 bars. Les deux graphiques linéaires de température et de pression (logarithmique) confirment tous deux indépendamment que Venusik 4 a cessé d'émettre à 18 km d'altitude.

Les points extrêmes : 6 bars et 180 °C, obtenus par Mariner 5, se placent tous deux, sur les droites, à 28 km d'altitude.

Les océans de Vénus sont donc bien contenus dans sa très basse atmosphère à l'état hypercritique, ce qui s'accorde avec les observations radio-électriques. Sachant que l'eau hypercritique dissout la silice et les halogénures alcalins, nous pouvons y prévoir des réactions en phase gazeuse telles que celle de Boussingault :



ce qui rend compte de la découverte par P. Connes, J. Connes et coll. <sup>(3)</sup>, de traces de HCl et HF, par la belle méthode de spectrographie interférentielle par transformée de Fourier.

Dans ces conditions, l'atmosphère de CO<sub>2</sub> est stable et ne peut carbonater les silicates, tous les carbonates étant décomposés par la vapeur d'eau. Sur la Terre primitive refroidie, au contraire, dès la condensation des océans, les silicates alcalino-terreux, terreux et ferreux ont donné naissance à quelque 200 m de sédiments carbonatés, la très faible pression de CO<sub>2</sub> résiduelle étant dorénavant contrôlée par la tension de dissociation des bicarbonates dissous dans l'eau de mer.

Bien entendu, une telle atmosphère est totalement opaque à la lumière et la haute température du sol est seulement attribuable au flux thermique interne dû à la radio-activité de la lithosphère. Le flux issu par conduction est, pour la Terre, de 54 ergs cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> et il convient d'y ajouter le flux plus intense apporté par les courants magmatiques convectifs responsables du volcanisme et du thermalisme. Une nouvelle estimation nous a conduit <sup>(4)</sup> à une production totale de chaleur interne de 22.10<sup>12</sup> cal/s, correspondant à un flux moyen de 183 ergs cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Un tel flux serait déjà suffisant pour porter le sol d'une Terre privée d'atmosphère et éloignée du Soleil, à la température de 42 °K, au lieu — non du zéro absolu — mais de 3 °K. Il est suffisant pour porter la surface de Vénus à 427 °C et n'est dissipé vers l'extérieur que par convection thermique gazeuse.

Autrement dit, la surface isotherme à 427 °C, qui se trouve sur la Terre, à 15 km de profondeur, est au niveau du sol sur Vénus, par suite d'un isolement radiatif parfait. Ces conditions sont favorables à une minéralisation intense et le sol granité de la planète est vraisemblablement recouvert de cristaux géants de quartz et de silicates.

II. L'ATMOSPHÈRE DE MARS. — La meilleure mesure de la pression atmosphérique a été obtenue par l'étude de l'occultation radio-électrique des signaux de Mariner 4 le 14 juillet 1965, soit 5 à 8 mb d'un gaz de masse moléculaire voisine de 40. Comme les mesures spectrographiques ont accusé une pression de CO<sub>2</sub> comprise entre 5 et 15 mb, il en résulte que cette atmosphère est essentiellement constituée de CO<sub>2</sub>.

Ce résultat pose deux importants problèmes :

1. C. F. Von Weizsäcker <sup>(5)</sup> a montré en 1937 que l'argon 40 contenu dans notre atmosphère était issu de la désintégration du potassium 40. H. Brown <sup>(6)</sup> en 1947 en a déduit que toutes les planètes terrestres devaient renfermer dans leurs



atmosphères  $13 \text{ g/cm}^2$  d'argon 40, ce qui correspondrait à une pression de 5 mb sur Mars. Or ce gaz, qui ne peut s'en échapper, n'y est pas présent.

2. Mars devrait, d'après la théorie de l'origine paléovolcanique des atmosphères planétaires, posséder une atmosphère quelque mille fois plus abondante. cent

Lyman Spitzer (7) a montré en 1947 que ni les fulgurations solaires, ni les vents interplanétaires et solaire ne pouvaient expulser  $\text{CO}_2$  et  $\text{A}^{40}$ . L'exosphère rayonnante de Mars est froide ( $400 \text{ }^\circ\text{K}$ ) et malgré sa faible masse (Terre/9), la planète devait retenir son atmosphère primitive de  $\text{CO}_2$  et son argon 40.

Nous aboutissons donc à la conclusion que Mars et *a fortiori* Mercure et la Lune, doivent occasionnellement, perdre la plus grande partie de leur atmosphère résiduelle.

Or, nous avons attribué [(4), (8)] à des sursauts solaires exceptionnels, se produisant au moins tous les Méga ans, le renversement des champs magnétiques planétaires. Cette hypothèse semble vérifiée par le fait que des carottes prélevées en mer de Bellingshausen ont montré deux renversements (0,8 et 1,9 Ma) coïncidant avec des extinctions de Radiolaires. Si les fulgurations solaires actuelles sont insuffisantes pour expulser thermiquement  $\text{CO}_2$  et  $\text{A}^{40}$  de ces planètes, celles associées à ces sursauts sont plus efficaces. De plus, si les jets intenses de protons solaires envisagés rencontrent seulement une fois sur mille la planète, le brusque échauffement du sol et de l'atmosphère provoquera son évaporation sur l'hémisphère insolé.

L'atmosphère de Mars se renouvellerait ainsi périodiquement.  $\text{A}^{40}$  serait expulsé et le gaz carbonique observé serait juvénile et issu du sol par postvolcanisme.

L'azote et la vapeur d'eau, rares dans la haute atmosphère de Vénus et de Mars, y sont absorbés selon la réaction photochimique de Thénard en produisant l'aérosol jaunâtre de nitrite d'ammonium :  $\text{N}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO}_2 \cdot \text{NH}_4$ , qui constitue le voile nuageux de Vénus et une partie des particules diffusantes de l'atmosphère de Mars (9).

Mars n'a jamais possédé une abondante atmosphère d'eau hypercritique, interdite par sa faible masse, comme le montre son relief paléovolcanique lunaire. Comme sur Mercure et la Lune, la vapeur d'eau et le gaz carbonique, émis à haute température et avec une grande vitesse, s'échappaient aussitôt dans l'espace. La planète a seulement retenu plus longtemps sa vapeur d'eau qui a oxydé les laves riches en silicates ferreux, inondant ses mers lunaires. Celles-ci, demeurées sombres et verdâtres sur Mercure et la Lune, sont devenues claires et rougeâtres sur Mars, en vertu de la réaction :  $2 \text{FeO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 + \text{Q}$ . Les vastes déserts de Mars sont, en effet, contrairement à leur nom, les véritables mers lunaires déprimées de la planète (10).

Ces considérations montrent que les atmosphères primitives des planètes terrestres étaient toutes de même nature et essentiellement formées de vapeur d'eau et de gaz carbonique, produits du paléovolcanisme. Elles sont importantes du point de vue de l'origine de la matière organique et organisée. Elles confirment la transparence à l'ultraviolet solaire de l'atmosphère primitive de la Terre, qui ne pouvait contenir, ni hydrogène, ni carbures d'hydrogène absorbants, conformément à la théorie photochimique de l'origine de la vie (11). Sur Mars, l'absence d'eau liquide

a prévenu toute photosynthèse de composés ternaires ou quaternaires qui y auraient d'ailleurs été détruits par l'ozone au sol et les radiations abiotiques.

(\*) Séance du 29 juillet 1968.

- (1) V. M. GOLDSCHMIDT, *Fort. d. Mineral.*, 17, 1933, p. 112-156.
- (2) R. T. CHAMBERLIN, *Symposium Yerkes Obs.*, 1947, Chicago Univ. Pr., 1948, 1 volume, 366 pages.
- (3) W. BENEDICT, J. CONNES, P. CONNES et L. KAPLAN, *Astr. J.*, 147, 1967, p. 1230.
- (4) A. DAUVILLIER, *Rev. Gén. El.*, 76, 1967, p. 399-409.
- (5) C. F. VON WEIZSÄCKER, *Phys. Zeits.*, 38, 1937, p. 623.
- (6) H. BROWN, *Symposium Yerkes Obs.*, 1947, Univ. Chicago Pr., 1948, 1 volume, 366 pages.
- (7) L. SPITZER, *Symposium Yerkes Obs.*, 1947, Univ. Chicago Pr., 1948, 1 volume, 366 pages.
- (8) A. DAUVILLIER, *Comptes rendus*, 263, Série B, 1966, p. 779.
- (9) A. DAUVILLIER, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 1257.
- (10) A. DAUVILLIER, *Ciel et Terre*, 83, 1967, p. 384.
- (11) E. DESGUIN et A. DAUVILLIER, *Comptes rendus*, 208, 1939, p. 294.

(Observatoire du Pic du Midi,  
Bagnères, Hautes-Pyrénées.)