SUR LA BRILLANCE DE LA LUNE ECLIPSEE

A. DAUVILLIER
Observatoire du Pic du Midi, France

(Reçu le 24 février, 1976)

Sommaire. L'excès de luminosité de la Lune eclipsée est attribué à l'impact de la poussière cosmique magnétique environnant la Lune, concentrée et guidée par la queue géomagnétique. Ce mécanisme rend compte de la lenteur du refroidissement du sol lunaire durant les éclipses. La règle de Danjon est attribuée à l'extension variable de cette queue en fonction de l'activité solaire, celle-ci n'atteignant plus la Lune à l'époque des minimums d'activité.

1. L'excès de luminosité

La loi de Danjon relative à la brillance de la Lune éclipsée, traduit un excès de luminosité dû à l'activité solaire. Cette loi et le fait que la brillance de la Lune éclipsée suit la règle des équinoxes (Link, 1971) montrent le rôle de l'activité solaire dans le phénomène, mais celle-ci peut s'exercer, soit sur l'atmosphère terrestre (Vassy, 1956) soit sur la Lune (Link, 1947) ou par l'intermédiaire de la queue géomagnétique.

La première hypothèse étant inadéquate (Dubois et Link, 1971), il convient de rechercher la nature et la source de l'énergie pouvant décupler la brillance de la Lune éclipsée. Ce sera, soit le rayonnement électromagnétique du Soleil, soit son rayonnement corpusculaire, soit une énergie mécanique étrangère.

Nous examinerons successivement ces trois hypothèses:

(1) Durant les éclipses totales la plus grande partie de la lumière visible et ultraviolette, ainsi que les rayons X, sont interceptés, sauf le rayonnement coronal, et la Lune ne reçoit qu'une lumière rouge réfractée et transmise par l'atmosphère. Le rôle du rayonnement hertzien est exclu. La fluorescence des roches lunaires soumises à ces rayonnements est très faible. Il n'a été reconnu sur la Lune qu'une trentaine de minéraux ignés, assez analogues à la trentaine de minéraux montrés par les météorites, alors que la minéralogie terrestre en possède près de 2000, dont la moitié des minéraux des météorites. Les minéraux dominants sur la Lune sont le pyroxène $(Mg, Fe, Ca)_2$, $2\ SiO_3$, le plagioclase $(Ca, Na_2)\ Al_2\ Si_3\ O_{10}$ et l'olivine $(Mg, Fe)_2\ SiO_4$, très différents des rares minéraux terrestres fluorescents.

(2) Le rayonnement corpusculaire bombardant la surface de la Lune éclipsée est constitué par le vent solaire, dont les protons ont une vitesse inférieure à 10^3 km s^{-1}, accompagnés de leurs électrons complémentaires, concentrés et guidés par le champ de la queue géomagnétique d'environ 5γ. Leur densité dans l'exosphère ne dépasse pas 10^4 cm^{-3}. Animés d'une vitesse de 10^3 km s^{-1}, ils s'enroulent orthogonalement sur les lignes de force d'un champ de 5γ avec un rayon de courbure voisin du rayon de la Lune et peuvent ainsi être concentrés et guidés par la queue géomagnétique sur la surface de la Lune éclipsée. Leur énergie cinétique serait de 10^4 ergs cm^{-2} s^{-1} soit le centième de la constante solaire. Ils n'élèveraient que de peu la température de la surface (200 K). Les électrons associés pourraient exciter une

The Moon **15** (1976) 325–328. *All Rights Reserved*
Copyright © 1976 by D. Reidel Publishing Company, Dordrecht-Holland

cathodoluminescence qui n'est cependant pas montrée par les minéraux cités ci-dessus, ni par les cendres volcaniques terrestres et lunaires. Le rôle des neutrinos et des rayons cosmiques solaires est exclu.

Ce n'est que pour des pressions et des puissances beaucoup plus élevées (10^8 ergs cm^{-2} s^{-1}) que l'on peut observer sur la cathode des tubes à vide, des phénomènes lumineux. L'afflux positif produit une évaporation cathodique atomique et une ionisation telles que la cathode se recouvre d'une pâle lueur verte dans le cas du magnésium, jaune dans le cas d'une cathode de verre alcalin, montrant le spectre du magnésium ou du sodium.

(3) L'impact de micrométéorites (1 à 2μm) sur la Lune éclipsée serait une source lumineuse efficace avec une puissance bien moindre, par suite de l'extrême concentration de l'énergie. Un grain cubique de ferro-nickel de 1μm, a une masse de 8×10^{-12} g, équivalente à 10^{12} protons. Alors qu'un météore s'illumine dans l'ionosphère durant près d'une seconde, l'impact ne durerait qu'une microseconde et la température dépasserait celle des météores. Les roches lunaires présentent de tels impacts.

Le rendement lumineux énergétique, qui est de 7 % dans le cas du Soleil pourrait excéder 10 %. Le spectre serait continu, riche en ultraviolet, avec les bandes de FeO dans le cas de la magnétite, ainsi que celles de SiO, AlO, CaO, MgO.

Le calcul montre que pour le volatiliser entièrement, la vitesse doit atteindre 4 km s^{-1}. La vitesse moyenne des météores étant 10 fois plus élevée, il volatilisera en outre, 100 fois sa masse de roche lunaire. Cette fumée météorique se produit par la pulvérisation des noyaux cométaires et constitue les queues diffuses et incurvées par la pression de la radiation solaire (1 à 2μm) des comètes. Elle se diffuse sur leurs orbites et est capturée par les planètes lorsque celles-ci les traversent. Très rare dans l'espace interplanétaire (1 grain par km^3) elle est abondante au voisinage de la Terre, de la Lune et de leurs points de Lagrange. C'est ainsi que K. Kordylewski a pu les observer et les photographier. Leur poids solaire est en effet, compensé par la pression de la radiation solaire, si bien que le plus faible champ gravitationnel suffit à les capturer. Dix fois plus petits (10^3 Å) ces grains sont expulsés du système solaire par la pression de la radiation.

Ces grains sont de la nature des météorites si bien qu'il y en a autant de pierreux (3.3 g cm^{-3}) que de métalliques (8 g cm^{-3}), la densité moyenne des météorites et des planètes terrestres étant voisine de la moyenne $(3.3 + 8)/2 = 5{,}6$. De tels grains de ferro-nickel à basse température sont ferro-magnétiques étant de l'ordre du domaine de Kittel. On sait que la vapeur de fer provenant de l'ébullition de ce métal se condense en microcristaux qui sont aimantés. Les minéraux magnétiques des météorites, sont les ferro-nickels, la magnétite Fe_3O_4 et la pyrite magnétique FeS. Quasi dénués de poids solaire, ils se polariseront magnétiquement dans les plus faibles champs et se dirigeront vers les pôles en suivant les lignes de force. C'est ainsi que la Terre possède vraisemblablement un spectre magnétique de micro météorites.

Ils enveloppent ainsi complètement la Terre et la Lune qu'ils bombardent constamment. Les sondages par fusées ont révélé un impact par seconde, vers 100 km d'altitude. Leur accumulation constitue les nuages de Ceralski observables dans les régions de haute latitude magnétique vers 80 km d'altitude.

De nombreux t ravaux statistiques ont montré que la Terre capturait, en moyenne, 300 t de météorites, 8000 t de météores observables et 2×10^5 t de micro-météorites par an, lorsqu'elle traverse la trentaine d'essaims cométaires actuellement observés. Elle capture ainsi: $(2 \times 10^5 \times 10^6 \times 10^{11})/(3 \times 10^7 \times 5 \times 10^{18}) = \frac{2}{15} \times 10^{-3}$ grain par centimètre carré et par seconde et la Lune ne sautait en capturer davantage.

Cherchones l'ordre de grandeur de la densité de poussière cosmique que doit posséder la queue géomagnétique pour assurer la brillance de la Lune éclipsée. Si nous admettons, en première approximation, que le rendement énergétique lumineux dans le cas de la pleine Lune et celui de la Lune éclipsée sont comparables, nous savons que la brillance de la Lune éclipsée est 10^4 fois moindre que celle de la pleine Lune. Sa luminosité exigerait donc une dépense d'énergie 10^4 fois plus faible que la constante solaire: 1.33×10^6 ergs cm^{-2} s^{-1} soit 133 ergs cm^{-2} s^{-1}. Un grain de 8×10^{-12} g animé d'une vitesse de 40 km s^{-1} possède une énergie cinétique de 64 ergs. Pour que l'unité de surface lunaire reçoive deux grains par seconde, à incidence normale, la densité doit être de 1 grain pour 2 mètres cubes, le volume contenant la trajectoire étant de 4 m^3. Pour un grain de $2\mu m$, elle serait 8 fois moindre, soit 1 grain pour 16 m^3. Cette concentration magnétique est attribuable au fait que la Lune possède des roches ferromagnétiques, comme les laves péridotites inondant les mers lunaires (mascons), dont le champ magnétique superficiel átteint 40γ. La queue magnétique doit être fortement concentrée dans la Lune et les grains sont attirés vers sa surface à la fois par son champ gravitationnel, et par le champ magnétique.

Cette énergie unitaire de 64 ergs correspondrait à l'émission pour un rendement de 10%, d'un nombre de photons de 2 eV soit 3×10^{-12} ergs, égal à: $64/10 \times 3 \times 10^{-12}$ soit 2×10^{12}. Un observateur lunaire observerait, durant une éclipse une scintillation du sol, brillante et fugace, rappelant à une échelle microscopique, l'aspect du spinthariscope à rayons α de Crookes.

On connait déja une corrélation entre les essaims cométaires et le diamètre de l'ombre de la Terre sur la Lune dûe à l'accumulation de la poussière cosmique dans la haute atmosphère. Ce bombardement a aussi pour effet de ralentir la vitesse de refroidissement du sol lunaire durant les éclipses. Il pourrait rougir par absorption, la lumierè lunaire.

La règle des équinoxes serait alors dûe au fait que le développement de la queue géomagnétique dépend de l'intensité du vent solaire et que celui-ci est plus intense à la latitude des foyers de l'activité solaire.

2. La discontinuité de Danjon

Les satellites ont montré que la queue géomagnétique pouvait largement dépasser l'orbite de la Lune, mais ses variations en fonction de l'activité solaire sont mal connues. L'étude comparée des queues cométaires et de la queue géomagnétique montre des analogies. Etant observées depuis fort longtemps celles-ci jettent quelque lumière sur les propriétés de la queue géomagnétique. Toutes deux renferment des gaz ionisés (10^4 à $10^5/cm^3$), des poussières et les queues cométaires pourraient posséder le champ magnétique postulé par H. Alfven. L'étendue des queues

cométaires varie avec l'activité solaire et il est probable qu'il en est de même pour la queue géomagnétique.

La Figure 1 représente, à l'échelle du rayon terrestre, la queue géomagnétique selon N. F. Ness (1975) d'après les données de la NASA. Nous y avons schématisé l'étendue variable qu'elle pourrait posséder en périodes de minimum et de maximum d'activité. Si la queue n'atteint plus la Lune à l'époque du minimum, on obtient d'emblée une interprétation simple de la discontinuité de Danjon.

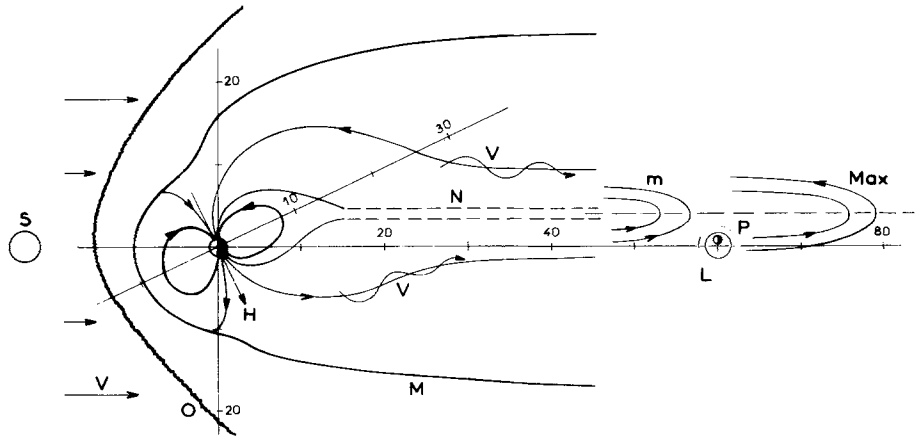

Fig. 1.

L'hypothèse proposée implique des mesures de l'extension de la queue géomagnétique par satellite en fonction du cycle undécennal ainsi que la mesure des micrométéorites par un satellite lunaire durant une éclipse de Lune.

L'auteur exprime ses remerciements à ses collègues F. Link et J. Dubois, qui ont bien voulu le conseiller, le critiquer et le guider au cours de ce travail.

Bibliographie

Dubois, J. et Link F.: 1971, *The Moon* **2**, 354.
Link, F.: 1947, *Bull. Math. Phys. Czechosl.* **72**, 85.
Link, F.: 1972, *The Moon* **5**, 265–285.
Vassy, E.: 1956, *La Météorologie* **8**, 1.