

112

RE THE TIDES RAISED ON THE SUN BY THE PLANETS  
AND THE FORECASTING OF SOLAR ACTIVITY

by

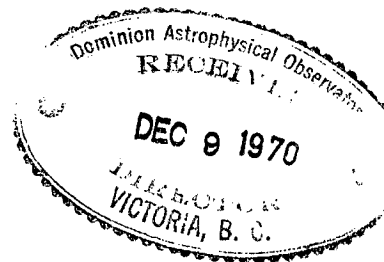
Alexandre Dauvillier  
*Correspondent of the Academy*

*Translated from*

*C.R. Acad. Sc. Paris, Series B, 270, (27 April 1970), 1119-1121*

by

E.R. Hope



Defence Scientific Information Service  
DRB Canada  
November 1970

T 7 F

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

## RE THE TIDES RAISED ON THE SUN BY THE PLANETS AND THE FORECASTING OF SOLAR ACTIVITY

Alexandre Dauvillier\*

*Correspondent of the Academy*

The author shows that the solar activity cycle, between 1910 and 1968, is proportionate to the separation between the center of the sun and the center of gravity of the solar system.

For more than a century attempts have been made to find the cause of solar activity in different planetary electrical or gravitational phenomena. The similarity of the 11-year solar cycle (11.13 years) and the orbital period of Jupiter (11.86 years) was long ago noted by R.C. Carrington (1863), G. Spörer (1867), Warren de la Rue, Balfour Stewart, B. Loewy (1872) and R. Wolf (1877). In 1900 E.W. Brown [1] showed that every 9.93 years Jupiter and Saturn came into conjunction or opposition, and from this attempted to account for the 11-year cycle. But discrepancies appeared, and these attempts, together with others that followed, were dropped.

The author, instead of attributing the solar activity to a direct gravitational action of the planets, has suggested an indirect mechanism in which this solar activity is due to differential rotation maintained by resonant coupling between an oscillation of the photosphere and the solar rotation period, through the action of the tides raised on the Sun by the planets. The activity itself, in this theory, originates by way of a magnetohydrodynamic mechanism from concentration of the solar toroidal field by the axial rotation and from eddies due to the Coriolis force, the field being maintained by the disruptive discharges that constitute the solar granulation.

As a matter of fact, the tides on the sun due to the planets are of different and individual character, with the giant planets and the terrestrial planets playing very different roles. Tides, as we know, are due to the differences between the forces of gravitational attraction and the centrifugal forces resulting from the rotations of the celestial bodies around their common center of gravity. Only the giant planets have sufficient mass to remove the common center of gravity of the solar system to a distance of nearly two solar radii from the center of the sun. In the Earth-Moon system, where the tides are strong, the common center of gravity is distant 0.73 earth-radii from the Earth's center, but here of course the ratio of the masses is 1/81, whereas it is only 1/743 in the case of the solar system.

On the other hand, in the solar system the tidal effects (proportional to  $m/a^3$ ) are primarily due to the terrestrial planets, which are not of great mass but are very close to the Sun; this is shown by the following table (in C.G.S. units  $\times 10^{-12}$ ).

Mercury	1.96	Jupiter	4.04
Venus	3.76	Saturn	0.19
Earth	1.78	Uranus	0.03
Mars	0.05	Neptune	negligible

The effect of the first three terrestrial planets is thus 1.77 times greater than that of Jupiter and Saturn combined. For comparison, the Sun's action on the Earth, expressed in the same units, amounts to  $0.58 \cdot 10^{-6}$ .

\* Session of the Academy April 20, 1970.

If only the giant planets or only the terrestrial planets existed, their tidal action on the sun would be insignificant. But the effect of the *terrestrial* planets predominates in this way only by reason of the fact that the center of gravity of the system is displaced by the *giant* planets. We here have short-period actions, causing the surface of the photosphere to oscillate in resonance with the solar rotational period of 33.7 days and producing a differential rotation in latitude and in altitude. These gravitational actions are amplified by the approximate commensurability that exists between the orbital periods of Mercury and Venus, and of Jupiter and Saturn.

The position of the solar system's center of gravity has been continuously computed since 1910, and we have updated it with the curve for 1950-1969 given by C.H. Cleminshaw [13]. If the solar activity for each year in terms of the Wolf number is plotted against the distance of the said center of gravity from the center of the Sun, the result is a saw-tooth curve which reflects the eleven-year cycle. But the activity maxima are found to lie on a straight line passing through the origin and exhibiting a remarkable proportionality. The following table gives the figures.

Serial number of cycle	Time of maximum	Wolf number	Distance $d$ ( $10^5$ km)
15	1917	104	9.8
16	1928	78	5.4
17	1937	114	7.7
18	1947	150	10.5
19	1957	189	12.1
20	1968	106	6.2

In these six maxima there is only one that is exceptional: that of 1917 has a maximum Wolf number of 104, whereas according to the linear relationship it should reach a value of 147. But we notice that the cycle in question is aberrant, because the elongation  $d$  has a greater span than in the other cycles ( $d = 3.1$  at minimum of 1912;  $d = 11.9$  at minimum of 1923). This departure may result from an exceptional configuration of the active planets.

The table also gives an interpretation of the alternate cycles rule, the odd-numbered cycles showing higher maxima than the even-numbered. A longer statistical series would perhaps enable us to see the cause of the variation in the length of the so-called "eleven-year" cycle, which in fact varies widely from 8 to 17 years. The cyclic displacement of the solar system's center of gravity confirms the double-cycle duration of 22 to 23 years which G.H. Hale derived from study of the solar magnetism.

A linear relation of this kind is particularly important for forecasting the activity of a future cycle. We can calculate in advance the position of the center of gravity, and then the eleven-year period enables us to find the probable maximum intensity of the cycle. It does not enable us to forecast the mean activity for each year, but the maximum value is more important to know.

Numerous observations have been making it clear that the cause of the solar activity must be sought in the tidal effects produced by the planets: namely, prominent antipodal bulges, a 22-year oscillation of  $\pm 0.2''$  in the solar diameter, an 11-year variation in the equatorial velocity of rotation. The above-said proportionality gives us all the more conviction.

Just as the planetary tides are what maintain the differential rotation of the Sun, so it is satellite-generated tides that cause the differential rotations of the giant planets. Thus in the case of Jupiter the tide due to the satellite Io ( $m/a^3 = 1.15 \cdot 10^{-6}$ ) is almost as strong as the lunar tide on the Earth ( $1.43 \cdot 10^{-6}$ ). The commensurability of the periods of Io, Europa and Ganymede is suggestive of the 88-day oscillation of the Red Spot, as

observed in 1965 and 1966 by E. Reese and H.G. Solberg. We shall return again to the mechanism of these phenomena.

Pic du Midi Observatory,  
65-Bagnères,  
Hautes-Pyrénées.

## REFERENCES

- (1) E.W. Brown, Month. Not., **60**, 1900, p. 599.
- (2) K. Birkeland, Congrès de Physique (Paris, 1900), **3**, Gauthier-Villars, Paris, 1900, p. 471.
- (3) Sir A. Schuster, Proc. Roy. Soc. London, **85 A**, 1910, p. 309.
- (4) F. Stratton, Month. Not., **72**, 1911, p. 9.
- (5) P. Puiseux, Rev. Sc., **51**, 1913, p. 545.
- (6) H.T. Stetson, Sunspots in Action, Ronald Pr. Co., New York, 1947.
- (7) R.M. Wood and K.D. Wood, Nature, **208**, 1965, p. 129.
- (8) P.D. Jose, Astr. J., New York, **70**, 1965, p. 193.
- (9) E.K. Bigg, Astr. J., New York, **72**, 1967, p. 463.
- (10) A. Dauvillier, Comptes rendus, **267**, série B, 1968, p. 840; Rev. gén. Electr., **78**, 1969, p. 241-250.
- (11) G.A.J. Ferris, J. Brit. Astr. Ass., **79**, 1969, p. 385.
- (12) I.K. Crain, P.I. Crain and M.G. Plaut, Nature, **223**, 1969, p. 233.
- (13) C.H. Cleminshaw, Planets positions, Griffith Observer, January 1968.

ASTRONOMIE. — *Sur les marées exercées par les planètes sur le Soleil et la prévision de l'activité solaire.* Note (\*) de M. ALEXANDRE DAUVILLIER, Correspondant de l'Académie.

L'auteur montre que l'amplitude du cycle de l'activité solaire, entre 1910 et 1968, est proportionnelle à l'écart existant entre le centre du Soleil et le centre de gravité du système solaire.

Depuis plus d'un siècle on a tenté d'attribuer l'activité solaire à des actions planétaires électriques ou gravitationnelles. Déjà, R. C. Carrington, en 1863, G. Spörer (1867), Warren de la Rue, Balfour Stewart, B. Loewy (1872), R. Wolf (1877), rapprochaient la période undécennale (11,13 ans), de celle de Jupiter (11,86 ans). E. W. Brown<sup>(1)</sup>, en 1900, montra que tous les 9,93 ans, Jupiter et Saturne entraient en conjonction ou en opposition avec le Soleil et tenta d'interpréter la période undécennale. Mais il apparut des discordances et ces tentatives, de même que les suivantes, ne furent pas retenues.

Au lieu d'attribuer l'activité solaire à une action gravitationnelle directe des planètes, nous avons proposé<sup>(10)</sup> un mécanisme indirect selon lequel cette activité était due à la rotation différentielle entretenue par l'accrochage à la résonance, d'une oscillation de la photosphère sur la période de la rotation, par l'effet des marées planétaires. L'activité elle-même, résultait, selon un mécanisme magnétohydrodynamique, de la concentration du champ toroïdal par la rotation et de tourbillons dus à la force de Coriolis, le champ étant entretenu par les décharges disruptives constituant la granulation.

Les marées planétaires exercées sur le Soleil sont, en effet, d'une nature particulière, les planètes géantes et les planètes terrestres ayant des rôles très différents. On sait que les marées sont dues aux différences existant entre les forces gravitationnelles d'attraction et la force centrifuge résultant des révolutions des corps célestes autour de leur centre de gravité commun. Seules, les planètes géantes possèdent une masse suffisante pour éloigner jusqu'à près de deux rayons solaires, le centre de gravité du système solaire du centre du Soleil. Dans le cas du système Terre-Lune, où les marées sont intenses, le centre de gravité du couple demeure à 0,73 rayon terrestre du centre du Globe mais le rapport des masses est 1/81, alors qu'il n'est que 1/743 pour le système solaire.

Au contraire, les actions de marée qui varient en  $m/a^3$ , sont surtout dues aux planètes terrestres, peu massives, mais très proches du Soleil, ainsi que le montre le tableau ci-après (unités C. G. S., facteur  $10^{-12}$ ) :

Mercure.....	1,96	Jupiter.....	4,04
Vénus.....	3,76	Saturne.....	0,19
Terre.....	1,78	Uranus.....	0,03
Mars.....	0,05	Neptune.....	négligeable

L'action des trois premières planètes terrestres est ainsi 1,77 fois plus grande que celle de Jupiter et Saturne réunis. A titre de comparaison, l'action du Soleil sur la Terre s'exprime, avec les mêmes unités, par la valeur :  $0,58 \cdot 10^{-6}$ . S'il n'existait que les planètes géantes ou que les planètes terrestres, leur action de marée sur le Soleil serait insignifiante. Mais l'effet de ces dernières est prépondérant parce que le centre de gravité du système est déplacé par la présence des planètes géantes. Ce sont ces actions à courté période qui font osciller la région superficielle de la photosphère en résonance avec la période de rotation de 33,7 jours, en provoquant une rotation différentielle en latitude et en altitude. La commensurabilité approchée existant entre les périodes de révolution de Mercure et de Vénus, de Jupiter et de Saturne, amplifie ces actions gravitationnelles.

Le lieu du centre de gravité du système solaire a été calculé depuis 1910. Nous y avons ajouté la courbe donnée par C. H. Cleminshaw <sup>(13)</sup> pour la période 1950-1969. Si l'on porte sur un graphique, pour chaque année, la valeur de l'activité exprimée en nombre de Wolf, en fonction de la distance  $d$  de ce centre de gravité au centre du Soleil, on obtient une courbe en dents de scie reflétant la période undécennale. Mais on constate que les maximums d'activité se placent sur une droite passant par l'origine, ce qui traduit une remarquable proportionnalité. Ces valeurs sont réunies dans le tableau ci-après :

N° du cycle.	Époque du maximum.	Nombre de Wolf.	Distance $d$ ( $10^8$ km).
15.....	1917	104	9,8
16.....	1928	78	5,4
17.....	1937	114	7,7
18.....	1947	150	10,5
19.....	1957	189	12,1
20.....	1968	106	6,2

Sur ces six maximums on ne constate qu'une exception : le cycle de 1917 a un nombre maximal de Wolf égal à 104 alors qu'il devrait atteindre 147 d'après la relation linéaire. Mais on remarque que ce cycle est aberrant car il s'étend sur une plus grande élongation  $d$  que les autres (minimum de 1912 :  $d = 3,1$ , minimum de 1923 :  $d = 11,9$ ). Cet écart peut résulter d'une configuration exceptionnelle des planètes actives.

Le tableau donne aussi l'interprétation de la règle des cycles alternés, les cycles impairs présentant des maximums plus élevés que les cycles pairs. Une plus longue statistique permettrait peut-être de connaître la cause de la variation de durée de la période dite « undécennale », qui varie exceptionnellement, de 8 à 17 ans. Le déplacement cyclique du centre de gravité confirme la durée de 22 à 23 ans déduite par G. H. Hale de l'étude du magnétisme solaire.

Une telle relation linéaire est particulièrement importante pour la prévision de l'activité d'un prochain cycle. On peut calculer, à l'avance, la position du centre de gravité et la période undécennale permet alors de connaître l'intensité maximale probable du cycle. Elle ne permet pas de prévoir l'activité moyenne de chaque année, mais la connaissance de la valeur maximale est plus importante.

Nombre d'observations montraient déjà que la cause de l'activité solaire devait être recherchée dans des actions de marée exercées par les planètes : protubérances antipodiques remarquables, période d'oscillation de 22 ans, de  $\pm 0",2$ , du diamètre solaire, variation undécennale de la vitesse équatoriale, mais cette proportionnalité entraîne la conviction.

De même que les marées planétaires sont la cause de l'entretien de la rotation différentielle du Soleil, les marées satellitaires sont la cause de la rotation différentielle des planètes géantes. C'est ainsi que dans le cas de Jupiter, la marée produite par Io ( $m/a^3 = 1,15 \cdot 10^{-6}$ ) est presque aussi forte que celle exercée par la Lune sur la Terre ( $1,43 \cdot 10^{-6}$ ). La commensurabilité des périodes de Io, Europe et Ganymède, rend compte de l'oscillation de la Tache rouge en 88 jours, observée en 1965 et 1966 par E. Røese et H. G. Solberg. Nous reviendrons sur le mécanisme de ces phénomènes.

(\*) Séance du 20 avril 1970.

(1) E. W. BROWN, *Month. Not.*, 60, 1900, p. 599.

(2) K. BIRKELAND, *Congrès de Physique* (Paris, 1900), 3, Gauthier-Villars, Paris, 1900, p. 471.

(3) Sir A. SCHUSTER, *Proc. Roy. Soc. London*, 85 A, 1910, p. 309.

(4) F. STRATTON, *Month. Not.*, 72, 1911, p. 9.

(5) P. PUISEUX, *Rev. Sc.*, 51, 1913, p. 545.

(6) H. T. STETSON, *Sunspots in Action*, Ronald Pr. Co., New York, 1947.

(7) R. M. WOOD et K. D. WOOD, *Nature*, 208, 1965, p. 129.

(8) P. D. JOSE, *Astr. J.*, New York, 70, 1965, p. 193.

(9) E. K. BIGG, *Astr. J.*, New York, 72, 1967, p. 463.

(10) A. DAUVILLIER, *Comptes rendus*, 267, série B, 1968, p. 840; *Rev. gén. Électr.*, 78, 1969, p. 241-250.

(11) G. A. J. FERRIS, *J. Brit. Astr. Ass.*, 79, 1969, p. 385.

(12) I. K. CRAIN, P. I. CRAIN et M. G. PLAUT, *Nature*, 223, 1969, p. 233.

(13) C. H. CLEMINSHAW, *Planets positions*, Griffith Observer, janvier 1968.

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



#528160  
CA029146