

LES OPPOSITIONS DE MARS DU XX^{me} SIECLE

par Jean MEEUS

Le Tableau I ci-après donne la liste complète des oppositions de Mars se produisant au cours du XX^e siècle.

La première colonne donne la date de l'opposition (opposition vraie en longitude écliptique), à 1 heure près. Le temps utilisé est le Temps des Ephémérides; c'est, pratiquement, le Temps Universel, puisque ces deux temps diffèrent actuellement de moins d'une minute.

La deuxième colonne fournit l'instant du périégée, c'est-à-dire de la plus courte distance de Mars à la Terre. On remarque que cet instant ne coïncide pas avec celui de l'opposition; l'écart est dû surtout à l'excentricité des orbites (celle de l'orbite de Mars est relativement grande), ainsi qu'à l'inclinaison de l'orbite de Mars. L'écart entre les deux instants est nul vers le 16 février et vers le 20 août. (Ces dates varient d'ailleurs lentement au cours des siècles par suite des variations séculaires des éléments orbitaux). Pour une opposition tombant entre le 16 février et le 20 août, le périégée a lieu plus tard; au contraire, le périégée précède l'opposition si celle-ci a lieu entre le 20 août et le 16 février. L'écart entre les deux instants (opposition et périégée) atteint au maximum 8 jours 13 heures.

La troisième colonne du Tableau I fait connaître la valeur de la plus courte distance de Mars à la Terre. Nous l'avons exprimée en unités astronomiques et en millions de kilomètres (1 U.A. = 149,6 millions de km).

La colonne suivante donne le diamètre apparent de la planète au périégée. On obtient cette valeur en divisant $9",36$ par la distance exprimée en U.A.

La dernière colonne fournit la déclinaison de Mars à l'instant de l'opposition.

Toutes ces données ont été extraites de l'*American Ephemeris and Nautical Almanac* pour les oppositions de 1900 à 1960. Pour le calcul des oppositions futures, nous avons procédé de la manière suivante.

Les coordonnées rectangulaires équatoriales géocentriques X, Y, Z du Soleil, rapportées à l'équateur moyen et à l'écliptique de 1950,0, ont été extraites de l'ouvrage de Paul Herget [1]. Les coordonnées rectan-

TABLEAU I. — *Oppositions de Mars, 1900-2000*

Date de l'opposition			Date du périégée		Distance périégée en millions U.A. de km		Diam. app.	Décl.
1901	fév.	22 6 ^h	fév.	23 3 ^h	0,6774	101,3	13,8	+ 15°
1903	mars	29 8	avril	2 24	0,6380	95,4	14,7	— 0
1905	mai	8 20	mai	16 19	0,5366	80,3	17,4	— 17
1907	juill.	6 15	juill.	13 5	0,4076	61,0	23,0	— 28
1909	sept.	24 10	sept.	18 19	0,3895	58,3	24,0	— 4
1911	nov.	25 5	nov.	17 11	0,5112	76,5	18,3	+ 22
1914	janv.	5 18	janv.	1 6	0,6224	93,1	15,0	+ 27
1916	fév.	10 2	fév.	9 11	0,6748	101,0	13,9	+ 19
1918	mars	15 7	mars	18 12	0,6613	98,9	14,2	+ 6
1920	avril	21 9	avril	28 5	0,5831	87,2	16,0	— 10
1922	juin	10 14	juin	18 23	0,4559	68,2	20,5	— 26
1924	août	23 17	août	23 0	0,3728	55,8	25,1	— 18
1926	nov.	4 9	oct.	27 5	0,4588	68,6	20,4	+ 14
1928	déc.	21 14	déc.	15 15	0,5850	87,5	16,0	+ 27
1931	janv.	27 19	janv.	25 14	0,6621	99,1	14,1	+ 23
1933	mars	1 20	mars	3 13	0,6746	100,9	13,9	+ 11
1935	avril	6 18	avril	12 5	0,6210	92,9	15,1	— 4
1937	mai	19 19	mai	28 4	0,5085	76,1	18,4	— 21
1939	juill.	23 8	juill.	27 21	0,3879	58,0	24,1	— 26
1941	oct.	10 13	oct.	3 7	0,4105	61,4	22,8	+ 3
1943	déc.	5 18	nov.	28 13	0,5395	80,7	17,3	+ 24
1946	janv.	14 1	janv.	10 8	0,6394	95,7	14,6	+ 26
1948	fév.	17 15	fév.	17 20	0,6776	101,4	13,8	+ 16
1950	mars	23 6	mars	27 6	0,6497	97,2	14,4	+ 2
1952	mai	1 1	mai	8 14	0,5582	83,5	16,8	— 14
1954	juin	24 17	juill.	2 8	0,4278	64,0	21,9	— 28
1956	sept.	10 22	sept.	7 5	0,3781	56,6	24,8	— 10
1958	nov.	16 14	nov.	8 13	0,4877	73,0	19,2	+ 19
1960	déc.	30 10	déc.	25 6	0,6068	90,8	15,4	+ 27
1963	fév.	4 12	fév.	3 3	0,6704	100,3	14,0	+ 21
1965	mars	9 12	mars	12 2	0,6685	100,0	14,0	+ 8
1967	avril	15 11	avril	21 18	0,6012	89,9	15,6	— 8
1969	mai	31 16	juin	9 5	0,4795	71,7	19,5	— 24
1971	août	10 7	août	12 2	0,3757	56,2	24,9	— 22
1973	oct.	25 3	oct.	17 3	0,4360	65,2	21,5	+ 10
1975	déc.	15 14	déc.	8 24	0,5655	84,6	16,6	+ 26
1978	janv.	22 0	janv.	19 3	0,6532	97,7	14,3	+ 24
1980	fév.	25 6	fév.	26 6	0,6773	101,3	13,8	+ 14
1982	mars	31 10	avril	5 7	0,6351	95,0	14,7	— 1
1984	mai	11 9	mai	19 11	0,5315	79,5	17,6	— 18
1986	juill.	10 5	juill.	16 12	0,4036	60,4	23,2	— 28
1988	sept.	28 3	sept.	22 3	0,3931	58,8	23,8	— 2
1990	nov.	27 20	nov.	20 3	0,5169	77,3	18,1	+ 23
1993	janv.	7 23	janv.	3 14	0,6261	93,7	14,9	+ 27
1995	fév.	12 2	fév.	11 14	0,6757	101,1	13,9	+ 18
1997	mars	17 8	mars	20 17	0,6594	98,6	14,2	+ 5
1999	avril	24 18	mai	1 18	0,5785	86,5	16,2	— 11

1962C&T...78...39M

gulaires équatoriales héliocentriques x, y, z de Mars, rapportées au même équinoxe de 1950,0 ont été extraites d'une publication récente de l'Observatoire de Washington [2]. Dans ces deux publications, les coordonnées sont données à 0,000 0001 U.A. près.

A un instant quelconque, la longitude héliocentrique de Mars, rapportée à l'équinoxe de 1950,0, est donnée par la formule

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{y \cos \varepsilon + z \sin \varepsilon}{x}$$

où ε est l'obliquité moyenne de l'écliptique pour l'époque 1950,0; on a $\sin \varepsilon = 0,397\ 8812$, $\cos \varepsilon = 0,917\ 4369$. Une formule analogue permet de calculer la longitude du Soleil. La comparaison de ces deux longitudes permet donc de déterminer l'instant de l'opposition.

La distance Δ de Mars à la Terre, à un instant quelconque, est donnée par la formule

$$\Delta^2 = (X + x)^2 + (Y + y)^2 + (Z + z)^2.$$

Enfin, la déclinaison géocentrique de la planète peut se calculer à l'aide de la relation

$$\sin \delta = (Z + z)/\Delta, \quad \text{où } \Delta > 0.$$

L'examen du Tableau I appelle les commentaires suivants.

Les oppositions dites *périhéliques*, qui sont les plus favorables à l'observation physique de la planète, se présentent à 15 ou 17 ans d'intervalle :

1909 - 1924 - 1939 - 1956 - 1971 - etc.

Il existe des périodes plus exactes de 32 et de 47 ans, mais la combinaison de ces deux périodes (32 + 47) fournit une période bien plus exacte de 79 années. Exemples :

32 ans		47 ans		79 ans	
1907	juillet 6	1862	octobre 6	1766	août 13
1939	juillet 23	1909	septembre 24	1845	août 18
1971	août 10	1956	septembre 10	1924	août 23
2003	août 29	2003	août 29	2003	août 29

Des quarante-sept oppositions de Mars qui se produisent au cours du XX^e siècle, la plus favorable a été celle du 23 août 1924, la plus défavorable celle du 17 février 1948. Toutefois, l'opposition de 1971, avec un diamètre apparent de 24'',9, sera presque aussi favorable que celle de 1924.

La longitude du périhélie de Mars étant de $335^{\circ}21'$ (en 1961), une opposition qui tomberait le 29 août serait périhélique, tandis qu'une opposition tombant le 24 février serait aphélique. En fait, par suite de l'excentricité de l'orbite terrestre, la plus courte distance de Mars à la Terre a lieu lors d'une opposition tombant le 23 août, tandis que c'est le 19 février que tomberait l'opposition la plus défavorable. — Toutes ces dates varient lentement au cours des siècles, par suite des variations séculaires des éléments des orbites.

Lorsque Mars est en opposition, sa distance à la Terre est comprise entre 55,7 et 101,4 millions de kilomètres, son diamètre apparent entre $13'',8$ et $25'',1$. On voit que, lors de l'opposition périhélique la plus favorable, la planète est encore 145 fois plus éloignée que la Lune.

Soit dit en passant : la distance Terre-Mars est maximum lors d'une *conjonction aphélique*. Une telle conjonction se produit entre deux oppositions périhéliques consécutives, par exemple en 1940 et en 1955. En août 1940, Mars était éloigné à 2,6756 U.A. de la Terre; la date de sa conjonction avec le Soleil (30 août) coïncidait presque exactement avec celle de son passage à l'aphélie (26 août). Le 23 août 1987, Mars sera distant de la Terre de 2,6762 U.A., soit de 400,4 millions de km; ce sera la plus grande distance entre la Terre et Mars pendant le XX^e siècle. — Au cours du présent siècle, les distances minimum et maximum entre la Terre et Mars sont donc les suivantes :

minimum	55,8 millions de km	le 23 août 1924
maximum	400,4 millions de km	le 23 août 1987.

Ces deux distances sont entre elles comme $7,2/1$.

Les planètes plus éloignées que Mars parcourent, entre deux oppositions consécutives, une faible partie du Zodiaque. Voici, d'après Danjon [3], l'arc moyen compris entre deux oppositions successives :

Jupiter	$33^{\circ},1$
Saturne	$12^{\circ},7$
Uranus	$4^{\circ},3$
Neptune	$2^{\circ},2$.

Par contre, la planète Mars accomplit plus d'une révolution autour du Soleil pendant une révolution synodique. Entre deux oppositions consécutives, la longitude de cette planète augmente d'une circonférence *plus* $48^{\circ},7$ en moyenne.

Le Tableau II donne les longitudes de neuf oppositions consécutives. On remarque que l'intervalle de temps qui sépare deux oppositions consécutives est plus court pour deux oppositions proches de l'aphélie

(1963-1965) que pour deux oppositons voisines du périhélie (1954-1956). La différence des longitudes des oppositions est également plus faible dans le premier cas que dans le second.

Ainsi, l'opposition aphélique de 1965 se produira 764,0 jours après celle de 1963 avec un changement de longitude de 34° (plus une circonférence), alors que l'opposition périhélique de 1956 a suivi celle de 1954 à 809,2 jours d'intervalle avec un changement de longitude de 75° (plus une circonférence). L'intervalle minimum est de 764,0 jours, l'intervalle maximum de 810,9 jours ; les différences de longitude correspondantes sont respectivement de $33^\circ,7$ et de $77^\circ,6$. Rappelons que la révolution synodique de Mars vaut en moyenne 779,9 jours (soit, grosso modo, deux ans et cinquante jours).

TABLEAU II. — Mars, longitude à l'opposition

Date	Distance à la Terre	Long. et Différences	
1948 févr. 17	0,68	148°	
1950 mars 23	0,65	182°	34°
1952 mai 1	0,56	221°	39°
1954 juin 24	0,43	273°	52°
1956 sept. 10	0,38	348°	75°
1958 nov. 16	0,49	54°	66°
1960 déc. 30	0,61	99°	45°
1963 févr. 4	0,67	135°	36°
1965 mars 9	0,67	169°	34°

Signalons encore qu'à l'opposition la magnitude stellaire de Mars est comprise entre $-2,7$ (à l'opposition périhélique) et $-1,0$ (à l'opposition aphélique). Dans le premier cas, Mars est donc plus faible que Sirius ($-1,6$) ; dans le second cas, la planète est un peu plus brillante que Jupiter à son éclat maximum ($-2,5$).

La dernière colonne du Tableau I nous montre que, malheureusement pour nos latitudes boréales, les oppositions périhéliques si favorables correspondent à des déclinaisons australes, donc à des hauteurs très faibles de la planète au-dessus de l'horizon. C'est ainsi que, lors de l'opposition très favorable du 10 août 1971, la déclinaison de Mars sera de -22° ; la planète ne s'élèvera que 17° au-dessus de l'horizon de Bruxelles.

Ce sont donc les observatoires de l'hémisphère austral qui sont les plus favorisés pour les observations physiques de Mars, lorsque la planète se trouve à sa plus petite distance de la Terre. Toutefois, les oppositions aphéliques, avec les petits diamètres du disque, sont les meilleures pour l'observation des détails de l'hémisphère boréal de la planète.

* * *

L'ouvrage de Duncombe et Clemence [2], déjà mentionné ci-dessus, permet également de calculer la distance de Mars au Soleil à l'aide de la relation très simple $r^2 = x^2 + y^2 + z^2$, et donc également de calculer le passage de la planète à ses apsides (périhélie, aphélie). Nous avons calculé ces phénomènes pour la période 1960-1980 ; les résultats sont fournis par le Tableau III.

On constate que les distances périhéliques ne sont pas toutes égales, rigoureusement parlant; la différence entre les valeurs extrêmes 1,38 156 et 1,38 123 correspond à 49 000 km. Ces différences sont dues aux perturbations planétaires subies par Mars — surtout à celles de la Terre et de Jupiter. De même, les distances aphéliques ne sont pas toutes égales entre elles.

La moyenne des distances périhéliques est de 1,38 142, celle des distances aphéliques de 1,66 596. Ces valeurs varient lentement au cours des siècles, par suite de la lente variation de l'excentricité de l'orbite de Mars (0,093 313 en 1900, 0,093 369 en 1961).

TABLEAU III. — *Périhélies et aphélies de Mars, 1960-1980*

Date du passage au périhélie	Distance périhélie	Date du passage à l'aphélie	Distance aphélie
1960 mai 26	1,38 156	1961 mai 5	1,66 586
1962 avril 13	1,38 138	1963 mars 23	1,66 586
1964 févr. 29	1,38 151	1965 févr. 6	1,66 594
1966 janv. 16	1,38 149	1966 déc. 26	1,66 600
1967 déc. 4	1,38 123	1968 nov. 12	1,66 601
1969 oct. 21	1,38 135	1970 sept. 30	1,66 603
1971 sept. 8	1,38 152	1972 août 17	1,66 598
1973 juill. 26	1,38 139	1974 juill. 5	1,66 589
1975 juin 13	1,38 141	1976 mai 21	1,66 591
1977 avril 30	1,38 154	1978 avril 9	1,66 603
1979 mars 18	1,38 125	1980 févr. 25	1,66 605

Remarquons encore que les passages aux apsides se reproduisent, avec changement de nom, après 16 ans *moins* 4 ou 5 jours. Par exemple :

périhélie 1930 avril 22
 aphélie 1946 avril 18
 périhélie 1962 avril 13
 aphélie 1978 avril 9
 etc...

* * *

Pour terminer, signalons un phénomène curieux qui aura lieu le 11 mai 1984. Il s'agit du passage, devant le Soleil, de... la Terre et de la Lune pour un observateur situé sur Mars. Voici les instants aréo-centriques des contacts (c'est-à-dire pour un observateur situé au centre du globe martien) :

	<i>T.E.</i>	<i>Angle de pos.</i>	
Entrée	4 ^h 32 ^m	63°,2	contact extérieur de la Terre
	4 ^h 50 ^m	61°,5	contact intérieur de la Terre
	10 ^h 41 ^m	50°,9	contact extérieur de la Lune
	10 ^h 47 ^m	50°,2	contact intérieur de la Lune
Sortie	12 ^h 50 ^m	302°,6	contact intérieur de la Terre
	13 ^h 08 ^m	300°,9	contact extérieur de la Terre
	17 ^h 33 ^m	313°,4	contact intérieur de la Lune
	17 ^h 38 ^m	312°,7	contact extérieur de la Lune

Demi-diamètre apparent du Soleil : 620'',1
 de la Terre : 16'',4
 de la Lune : 4'',5.

Plus courte distance du centre de la Terre au centre du disque solaire : 307'' (soit 0,495, le rayon du disque solaire étant *un*) à 8^h50^m.

Plus courte distance du centre de la Lune au centre du disque solaire : 409'' (soit 0,659, le rayon du disque solaire étant *un*) à 14^h10^m.
 Terre et Lune passeront au nord du centre du disque solaire.

Les instants mentionnés ci-dessus sont exprimés en Temps des Ephémérides; pour passer au Temps Universel, il y a lieu de soustraire 1 minute approximativement. Quant aux angles de position, ils sont comptés le long du limbe solaire dans le sens N-E-S-W à partir de la direction du pôle *écliptique* boréal de la Terre.

Les données ci-dessus ont été calculées à l'aide des deux ouvrages américains [1] et [2]. Il a été tenu compte du phénomène dit d'*aber-*

ration planétaire, en combinant la position de Mars à l'instant t avec celle de la Terre à l'instant $t - dt$, dt étant le temps mis par la lumière pour venir de la Terre vers Mars.

Grâce aux progrès de l'astronautique, il nous sera peut-être possible d'aller observer sur Mars, ou sur l'un de ses satellites, ce passage de notre mère-planète devant l'astre du jour...

Enfin, donnons à titre de curiosité la liste des derniers et des prochains passages de la Terre visibles de Mars :

1800	novembre 9	2084	novembre 10
1879	novembre 12	2163	novembre 15
1905	mai 8	2189	mai 10
1984	mai 11	2268	mai 13

On retrouve ici la fameuse période de 79 ans, mais chaque « série » ne compte généralement que deux passages.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Paul HERGET, *Solar Coordinates 1800-2000*, *Astron. Papers Amer. Ephemeris and Naut. Almanac*, XIV (Washington, 1953).
- [2] R.L. DUNCOMBE, G.M. CLEMENCE, *Provisional Ephemeris of Mars 1950-2000*, *U.S. Naval Observatory Circular N° 90* (Washington, décembre 1960).
- [3] A. DANJON, *Astronomie Générale*, 2^e édition. (Paris, 1959).