

Le solstice d'été le 21 juin 2010

P. ROCHER, © INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES – OBSERVATOIRE DE PARIS

Introduction

Dans le calendrier grégorien créé en 1582, le solstice d'été peut survenir le 19, 20, 21 ou 22 juin. Il est survenu un 22 juin en 1975 et tombera à nouveau à cette date en 2203, 2207, 2211 et 2215 puis en 2302 et il tombera pour la dernière fois en 2335. Le solstice d'été tombera un 19 juin en 2488 et ce sera la première fois depuis la création du calendrier grégorien.

Le solstice de 2010

Si l'on prend comme échelle de temps le Temps universel (*UT*), le solstice d'été de 2010 tombe le 21 juin à 11h 28m 26s *UT*. Le XXI^e siècle ne contient que des solstices d'été tombant le 20 juin (47) et le 21 juin (53) alors que le XX^e siècle a compté 64 solstices le 21 juin et 36 solstices le 22 juin ! Preuve du glissement actuelle de la date du solstice vers le début du mois. En fait le phénomène est complexe et l'on ne doit pas se contenter de l'étude sur deux siècles pour le comprendre.

Explication

L'explication tient à la nature de notre calendrier et sa manière d'introduire les années bissextiles.

Le calendrier grégorien est un calendrier solaire, il a pour but de garder les dates des saisons fixes dans l'année calendaire. C'est une chose qui n'est pas parfaitement réalisable car la durée de chaque saison n'est pas constante en raison de la loi des aires, du mouvement de la ligne des apsides de l'orbite terrestre (ligne joignant le périhélie et l'aphélie de l'orbite terrestre) et des variations de l'excentricité de l'orbite terrestre. Tout au plus est-on capable d'éviter une dérive de la date des saisons dans le calendrier. Pour cela on crée une année calendaire moyenne proche de l'année tropique moyenne, cette année tropique moyenne n'étant pas elle-même constante dans le temps.

L'année tropique moyenne est le temps que met le barycentre Terre-Lune pour faire une révolution autour du Soleil dans un repère tournant lié à la ligne des équinoxes, c'est donc la période liée à la différence entre la longitude moyenne du barycentre Terre-Lune et la précession des équinoxes. Cette période est indépendante de l'origine choisie. Elle est différente du temps moyen que met le barycentre Terre-Lune pour aller d'un équinoxe de printemps à l'autre. En effet la vitesse du barycentre Terre-Lune sur son orbite n'est pas uniforme, elle obéit, en première approximation, à la seconde loi de Kepler, donc le temps moyen mis pour aller d'un équinoxe de printemps à l'autre n'est pas égal au temps moyen qui sépare deux équinoxes d'automne et il en est de même pour les solstices d'hiver et d'été.

Si on exprime cette année tropique moyenne en jours solaires moyens (échelle de temps non uniforme basée sur la rotation terrestre – temps universel), ce qui indispensable si l'on compte en jours calendaires basés sur la révolution terrestre, on a :

$$T_m(u) = 365,2421789 \text{ j} - 135,63 \cdot 10^{-6} u - 0,068 \cdot 10^{-6} u^2 + 263 \cdot 10^{-9} u^3 + 3,2 \cdot 10^{-9} u^4 \quad (1)$$

u est compté en Temps universel en milliers d'années juliennes de 365250 jours (de temps universel) depuis le premier janvier 2000.

Si l'on néglige les variations de l'année tropique, le calendrier solaire doit donc approcher aux mieux la valeur de 365,2421789 jours (valeur pour l'an 2000).

Le calendrier julien, comprenant une année bissextile tous les quatre ans, a une moyenne calendaire de 365,25 jours. Cette valeur est trop forte par rapport à l'année tropique moyenne. Ce qui explique la dérive des saisons (vers le début de l'année) dans le calendrier julien.

La réforme grégorienne de 1582 supprime trois années bissextiles sur une période de 400 ans, ce qui fait 97 années bissextiles en 400 ans soit une année calendaire moyenne de 365,2425 jours. Cette valeur est encore un peu supérieure à l'année tropique moyenne. Ce qui explique que les dates des saisons vont encore dériver en moyenne faiblement (toujours vers le début de l'année) dans le calendrier grégorien. Mais il ne faut pas confondre la dérive des dates des saisons due à la mauvaise approximation de l'année tropique moyenne et les fluctuations des dates des saisons dues aux variations de la durée des différentes saisons. Si l'on néglige les effets des variations de l'excentricité de l'orbite terrestre, cette variation suit un cycle d'environ 21000 ans. Ainsi, entre la création du calendrier grégorien et l'année 2999, la durée du printemps diminue constamment et passe de 93 jours 1h 25m 34s en 1583 à 91 jours 23h 26m 25s en l'an 2999.

Durée des saisons	En 1583	En 2999	Variation de durée
Hiver	89 jours 03h 56m 55,91s.	88 jours 17h 49m 20,92s.	-10h 7m 34,99s
Printemps	93 jours 01h 25m 34,18s.	91 jours 23h 26m 24,64s.	-1 jour 1h 59m 9,54s
Été	93 jours 11h 07m 53,57s.	93 jours 22h 03m 58,50s.	10h 56m 4,93s
Automne	89 jours 13h 18m 10,06s.	90 jours 14h 35m 41,72s.	1 jour 1h 17m 31,66s

Comme on le voit sur le tableau ci-dessus, le déplacement de la ligne des apsides se traduit, sur cette période de temps, par une augmentation de la durée de l'été et de l'automne et une diminution de la durée de l'hiver et du printemps.

La dérive des saisons due à la mauvaise approximation de la valeur de l'année tropique dans le calendrier sur la même période est de l'ordre de -10h 54m 44s.

La combinaison de ces deux phénomènes (dérive de la date des saisons et variation de leurs durées) se traduit sur la période considérée par un glissement de la date du solstice d'été vers le début du mois de juin. Au début de la période considérée les dates des solstices tombent les 20, 21 et 22 juin, puis la date du 22 juin va disparaître au profit du 19 juin. On a donc bien un glissement vers le début du mois. Par contre la répartition des dates n'est pas uniforme car le

rattrapage du calendrier grégorien ne se fait pas de manière uniforme. Afin de garder l'ancienne règle de divisibilité par quatre pour trouver le millésime des années bissextiles, la réforme grégorienne corrige l'avance du calendrier en supprimant une année bissextile tous les siècles trois fois sur quatre (les années dont le millésime est multiple de 100 sans l'être de 400 ne sont plus bissextiles), il y a donc des à-coups importants tous les siècles et le cycle complet porte sur 400 ans. On passe donc du cycle de 4 ans du calendrier julien à un cycle de 400 ans !

Si l'on regarde les dates des solstices d'été tombant un 20 juin sur les différents siècles on constate que :

- au XVI^e siècle, il n'y a aucun solstice le 20 juin, l'an 1600, fin du XVI^e siècle, est bissextile.
- au XVII^e siècle, la première année du solstice tombant le 20 juin est l'an 1652, année bissextile, puis les années bissextiles suivantes. L'instant du solstice étant de plus en plus tôt, à partir de 1680 l'instant du solstice est suffisamment tôt pour que le solstice suivant l'année bissextile tombe également un 20 juin. La dernière année du siècle, 1700, n'étant pas bissextile, on rattrape brutalement l'avance du calendrier, ce qui arrête la dérive julienne en décalant tout d'un jour.
- Au XVIII^e siècle, le premier solstice au 20 juin se trouve donc bien plus tardif et n'apparaît qu'en toute fin de siècle, les sept dernières années bissextiles (de 1772 à 1796). De nouveau la dernière année du siècle, 1800, n'étant pas bissextile, on rattrape brutalement l'avance du calendrier, ce qui arrête la dérive julienne en décalant tout d'un jour.
- Au XIX^e siècle, le dernier décalage en 1800 fait qu'il faut attendre les deux dernières années bissextiles de la fin du siècle (1892 et 1896) pour que le solstice d'été tombe de nouveau un 20 juin. De nouveau la dernière année du siècle, 1900, n'est pas bissextile et on rattrape brutalement l'avance du calendrier, ce qui arrête la dérive julienne en décalant tout d'un jour.
- Au XX^e siècle, le dernier décalage de 1900 était trop fort car sur les trois siècles précédents on a compté 72 années bissextiles sur 300 ans, soit une année calendaire moyenne de 365,24 jours en dessous de l'année tropique moyenne. Cela a pour effet de décaler les dates vers l'avant du mois. Il n'y aura pas de solstice le 20 juin dans ce siècle. Par contre la dernière année, 2000, est bissextile. Ce n'est qu'au bout de quatre siècles que l'on a une année calendaire moyenne proche de l'année tropique.
- Au XXI^e siècle, la date du 20 juin apparaît très tôt, dès 2008, et l'on aura de nombreux solstices d'été (47) commençant un 20 juin. En fin de siècle on aura même quatre années consécutives (2096, 2097, 2098 et 2099) avec un solstice au 20 juin. La dernière année du siècle n'est pas bissextile.
- Au XXII^e siècle, le premier solstice un 20 juin apparaît en 2128, puis les années bissextiles suivantes. L'instant du solstice étant de plus en plus tôt, à partir de 2060 l'instant du solstice est suffisamment tôt pour que le solstice suivant tombe également un 20 juin et partir de 2188 on a même trois années consécutives (toujours à partir de l'année bissextile) avec des solstices le 20 juin.

- Au XXIII^e siècle de nouveau une apparition plus tardive (toujours due au rattrape de la dérive en fin du siècle précédent) en 2248.
- Au XXIV^e siècle, de nouveau une apparition plus tardive, en 2368. On remarquera que le décalage est bien uniforme sur les quatre derniers siècles (20 ans à chaque fois : 2008, 2128, 2248 et 2368). Ce cycle est de nouveau stoppé en fin de siècle l'an 2400 étant bissextile.
- Au XXV^e siècle on observe deux phénomènes : un solstice le 20 juin dès la première année du siècle, ce qui entraîne un grand nombre de solstices le 20 juin (78) et l'apparition du premier solstice d'été un 19 juin, les trois dernières années bissextiles du siècle (2488, 2492 et 2496).
- Au XXVI^e siècle, apparition d'un solstice le 20 juin dès la première année bissextile (2504) avec de nouveau un grand nombre de solstices le 20 juin (63) dont toutes les années à partir de 2568. Par contre le glissement n'est pas suffisamment fort pour atteindre le 19 juin.
- Au XXVII^e siècle, de nouveau apparition d'un solstice le 20 juin dès la première année bissextile, 2604 et même scénario qu'au siècle précédent (52 solstices le 20 juin).
- Au XXVIII^e siècle, une apparition plus tardive (20 ans plus tard) en 2724 et le nombre de solstices au 20 juin est plus faible (37), par contre la dernière année du siècle, 2800, est bissextile, cela va replacer le solstice au 20 juin en début du siècle suivant dès 2801.
- Au XXIX^e siècle, solstice au 20 juin dès la première année, 2801. On observe comme au XXV^e siècle un grand nombre de solstices au 20 juin (77) et la réapparition de solstice d'été le 19 juin (21 fois) et il ne reste plus que deux solstices au 21 juin.
- Sur les 99 premières années du XXX^e siècle, le solstice au 20 juin apparaît dès la première année et le nombre d'années ayant un solstice le 20 juin est très grand (80), par contre le nombre d'années ayant un solstice au 19 juin diminue (12) au profit des solstices au 21 juin qui recroît légèrement (7).

Tableau récapitulatif

Siècle	Nombre de solstices le 19 juin	Nombre de solstices le 20 juin	Nombre de solstices le 21 juin	Nombre de solstices le 22 juin
XVI (de 1583 à 1600)	0	0	11	7
XVII	0	17	79	4
XVIII	0	7	81	12
XIX	0	2	77	21
XX	0	0	64	36
XXI	0	47	53	0
XXII	0	31	69	0
XXIII	0	19	77	4
XXIV	0	10	80	10
XXV	3	78	19	0
XXVI	0	66	34	0
XXVII	0	52	48	0
XXVIII	0	37	63	0
XXIX	21	77	2	0
XXX	12	80	7	0

Répartition des solstices d'été entre 1583 et 2999.

Ce tableau récapitulatif montre à la fois le glissement de la séquence (20, 21, 22 juin) vers la séquence (19, 20, 21 juin) et les à-coups engendrés par la réforme grégorienne du calendrier. À chaque fin de siècle non bissextile, on a un rattrapage de la dérive julienne qui déplace les dates vers la fin du mois. En fin de siècle bissextile (1600, 2000, 2400 et 2800) on termine un cycle grégorien et, le siècle suivant, on constate une dérive vers le début du mois.

On aurait eu des phénomènes beaucoup plus réguliers si le Pape Grégoire XIII avait suivi un autre cycle que le cycle de 400 ans pour intercaler les années bissextiles. En fait si l'on décompose l'année tropique en fractions continues on trouve la série suivante :

$$A_m = 365, + 1/4, + 7/29, + 8/33,$$

La solution $365 + 8/33$ c'est-à-dire huit années bissextiles en 33 ans, connue et utilisée par les Perses dès 1070, est bien meilleure. D'une part parce qu'elle est plus proche de l'année tropique moyenne ($365+8/33 = 365,2424j$) que l'année calendaire moyenne grégorienne ($365,2425j$), mais surtout parce que l'introduction des années bissextiles est plus uniforme, le cycle portant sur 33 ans et non sur 400 ans.

Dernières remarques :

Toutes ces considérations dépendent de l'évolution du ralentissement de la rotation de la Terre, c'est-à-dire de l'écart entre le Temps terrestre uniforme (argument des théories planétaires) et le Temps universel coordonné lié à la rotation de la Terre. Les résultats présentés ci-dessus dépendent de l'approximation, de cet écart dans le futur. Les erreurs sur

cette approximation peuvent éventuellement décaler les dates des saisons d'un jour lorsque les instants calculés sont proches de minuit.

Une autre question se pose, on envisage actuellement de ne plus ajuster le Temps universel coordonné et de le laisser dériver (en supprimant les secondes intercalaires) dans la définition du temps légal. Si l'on adopte cette réforme cela détruit complètement la notion de calendrier solaire, l'échelle de temps définissant le jour n'étant plus reliée à la rotation terrestre les jours du calendrier ne seront plus des jours solaires. L'écart entre les deux échelles atteindra environ 4415 secondes en l'an 3000. Certes cela est relativement faible et lointain, mais le Soleil vrai sera décalé d'autant de secondes à son passage au méridien, on ne vivra donc plus en suivant le Soleil.