HAL open science

Chercher midi à midi et quart !

Etienne Ghys

▶ **To cite this version:**

Etienne Ghys. Chercher midi à midi et quart !. Images des Mathématiques, 2008, http://images.math.cnrs.fr/Chercher-midi-a-midi-et-quart.html. hal-00583346

HAL Id: hal-00583346

https://hal.science/hal-00583346v1

Submitted on 5 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Chercher midi à midi et quart !

de l'utilité du bureau des longitudes

Le 15 avril 2008, par **Étienne Ghys**
Directeur de recherche CNRS, École Normale Supérieure de Lyon
(**page web**)

Ma belle-sœur Aline affirme qu'en janvier, les journées rallongent moins le matin que le soir. A-t-elle raison ?

TOUT d'abord, le scientifique veut des réalités objectives… Il se rend donc au *bureau les longitudes* et trouve les données suivantes, concernant les heures de levers et couchers du soleil à Bordeaux pendant le mois de Janvier 2008.

Date UTC			Lever			Coucher		
An	M	J	h	m	s	h	m	s
2008	1	1	8	41	29	17	29	50
2008	1	2	8	41	32	17	30	44
2008	1	3	8	41	32	17	31	41
2008	1	4	8	41	30	17	32	39
2008	1	5	8	41	26	17	33	39
2008	1	6	8	41	18	17	34	41
2008	1	7	8	41	9	17	35	44
2008	1	8	8	40	56	17	36	49
2008	1	9	8	40	41	17	37	56
2008	1	10	8	40	24	17	39	4
2008	1	11	8	40	3	17	40	13
2008	1	12	8	39	41	17	41	24
2008	1	13	8	39	15	17	42	37
2008	1	14	8	38	48	17	43	50
2008	1	15	8	38	18	17	45	4
2008	1	16	8	37	45	17	46	20
2008	1	17	8	37	10	17	47	37
2008	1	18	8	36	32	17	48	54
2008	1	19	8	35	52	17	50	13
2008	1	20	8	35	10	17	51	32
2008	1	21	8	34	26	17	52	52
2008	1	22	8	33	39	17	54	13
2008	1	23	8	32	50	17	55	34
2008	1	24	8	31	59	17	56	57
2008	1	25	8	31	5	17	58	19
2008	1	26	8	30	10	17	59	42
2008	1	27	8	29	12	18	1	6
2008	1	28	8	28	13	18	2	30
2008	1	29	8	27	11	18	3	55
2008	1	30	8	26	8	18	5	20
2008	1	31	8	25	2	18	6	45

Ainsi, entre le 1er janvier et le 31 janvier 2008,

le lever du soleil est passé de 8h41 à 8h25,

soit *16 minutes de différence*.

Par contre le coucher du soleil passe de 17h29 à 18h06,

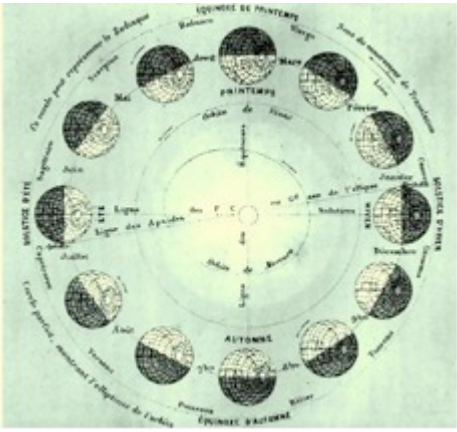
soit *37 minutes de différence*.

Aline a donc raison ! Alors pourquoi ???

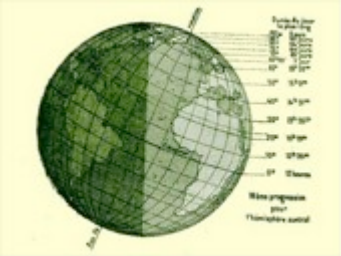
L'explication est étonnante. En fait, ce n'est pas vraiment que les journées rallongent plus le soir que le matin, c'est que *midi n'est pas exactement à midi…*

D’abord, un peu d’astronomie…

La terre tourne autour du soleil :



Mais les choses se compliquent car la terre tourne également autour d’elle-même, autour d’un axe, l’axe pôle nord/pôle sud, qui n’est pas perpendiculaire au plan de l’orbite de la terre autour du soleil (qu’on appelle *l’écliptique*). La figure ci-dessus regarde l’orbite de la terre « par le dessus ». Suivant l’époque de l’année, tantôt c’est le pôle nord qui est « penché vers le soleil », tantôt c’est le pôle sud. Lorsque c’est le pôle nord qui est penché vers le soleil, c’est l’été dans l’hémisphère nord. Regardons la figure suivante, représentant l’été de l’hémisphère nord. On voit que le pôle nord est penché vers le soleil et qu’il est éclairé par le soleil pendant toute la rotation de la terre : le jour dure donc 24 heures à cette période au pôle nord. À ce même moment, il fait nuit pendant 24 heures au pôle sud. La durée du jour va en décroissant quand on descend du pôle nord vers le pôle sud. Bien sûr, 6 mois plus tard, c’est le contraire : nuit polaire au nord et soleil de minuit au pôle sud…

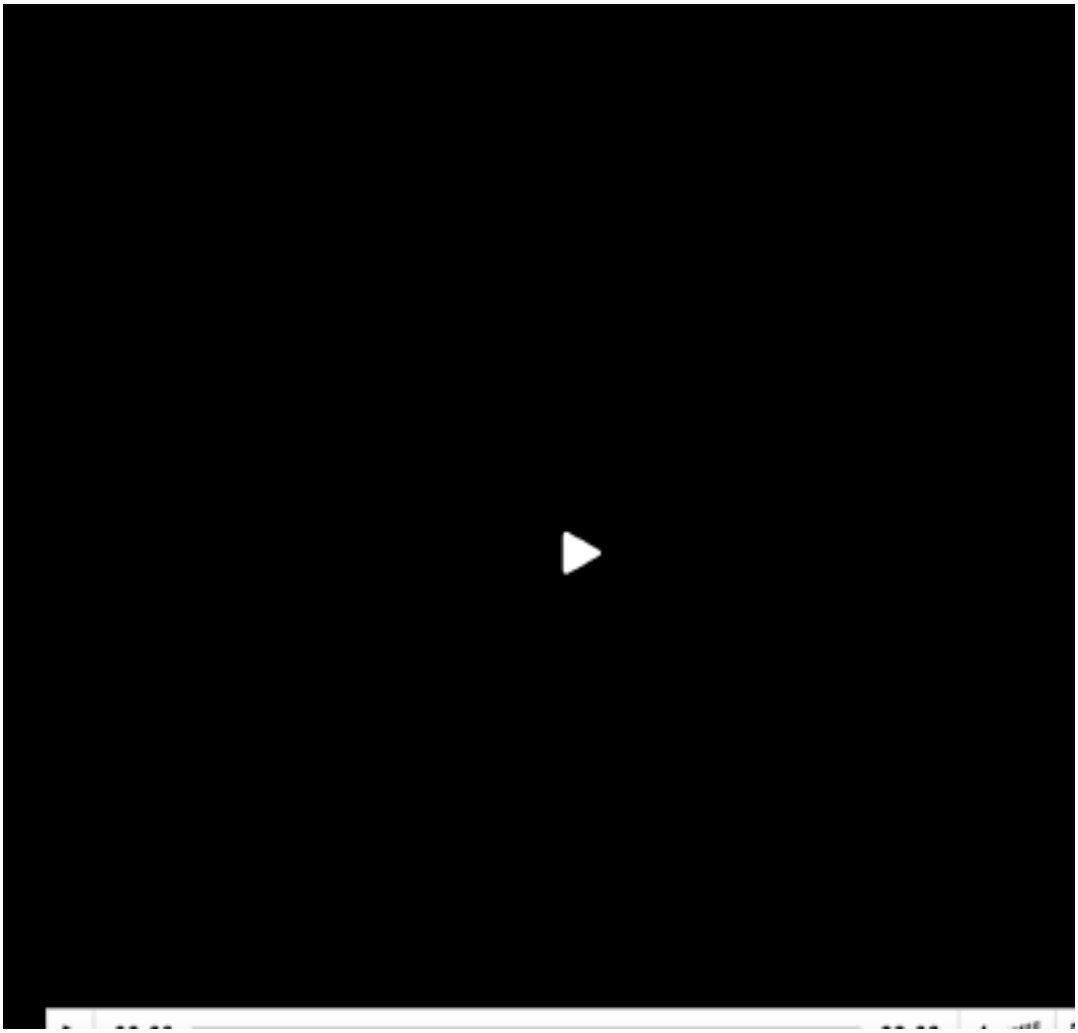


Lorsque le pôle nord est le plus penché vers le soleil, c’est le *solstice d’hiver*, le 22 décembre. Six mois plus tard, c’est le *solstice d’été* : le 22 juin. À mi-chemin entre ces dates, on trouve les deux *équinoxes*, de printemps et d’automne. Ces deux jours-là, les jours et les nuits ont exactement la même durée sur toute la planète : 12 heures/12 heures…

Qu’est-ce que midi ?

La terre fait un tour sur elle-même toutes les 24 heures… Mais combien de tours fait-elle chaque année ? On pourrait penser qu’elle fait 365 tours et des poussières puisque chacun sait qu’il y a 365 jours un quart dans une année (ne pas oublier les fameuses années bissextiles !).

Eh bien non ! La terre tourne 366 fois autour d'elle-même chaque année ! Tout simplement parce qu'en une année, la terre a également fait le tour du soleil. Chaque jour, quand elle a fait un tour sur elle-même, elle n'a plus vraiment la même position par rapport au soleil et il lui faut faire encore un peu de chemin pour se retrouver dans la même position par rapport au soleil, qui est la chose qui nous intéresse, nous pauvres terriens. Une animation pour comprendre cela (cliquer pour animer) : ici une planète tourne trois fois sur elle-même pour chaque rotation autour de son soleil mais le « petit prince » ne voit que deux levers de soleil dans son année ! (merci Michelle).



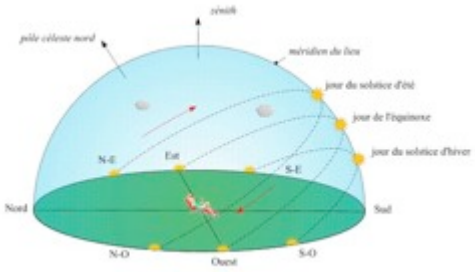
La différence entre le jour terrestre et le jour sidéral

On voit bien la différence entre le *jour sidéral* (temps nécessaire à la terre pour revenir sur sa position par rapport aux étoiles) et le *jour solaire* (qui est celui qui nous intéresse vraiment), retour par rapport au soleil. Retenons donc qu'il y a un jour sidéral de plus que de jours solaires dans une année…

Qu'est ce que midi en un lieu donné. C'est le moment où l'on se trouve exactement « face au soleil ».

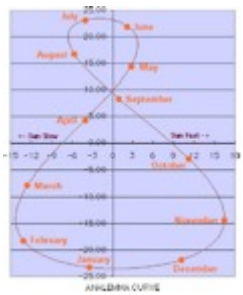
L'analemme

Imaginons l'expérience suivante. On pose un appareil photo vers le sud, on ne le bouge surtout pas, et on prend une photo tous les jours à midi de sa montre pendant une année, en superposant les photos. Que va-t-on voir au développement ? Bien sûr, l'hiver le soleil sera bas sur l'horizon et en été il sera haut (cela devrait être évident avec les figures précédentes). Mais il y a un autre phénomène étrange : un décalage également vers l 'est ou l'ouest.



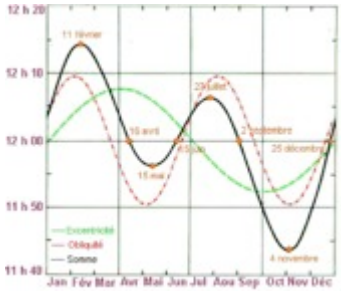
Voici le résultat :

Un détail : sur les photos, ce n'est pas tous les jours mais tous les 10 jours ; ce n'est pas à midi mais le matin (dans la première photo), toujours à la même heure. On voit donc que le soleil monte et descend suivant les saisons mais également qu'il est tantôt à l'est tantôt à l'ouest. La courbe décrite par le soleil, quand on le regarde dans le ciel tous les jours à la même heure s'appelle *l'analemme*. La voici :



Explication : le mouvement de la terre est bien sûr (à peu près) uniforme autour de son axe, mais il n'est pas uniforme vu du soleil. D'une part, l'orbite de la terre n'est pas un cercle parfait, mais une ellipse, et d'autre part, le fait que l'axe n'est pas perpendiculaire au plan de l'orbite implique qu'un observateur situé sur le soleil n'aurait pas l'impression que nous tournons à vitesse constante. Dit autrement, les midis vrais, c'est-à-dire les moments où nous sommes exactement face au soleil, ne sont pas espacés de manière exactement uniforme : ils ne se reproduisent pas toutes les 24 heures. Bien sûr, notre monde technologique a imposé une heure uniforme et notre montre tourne à vitesse constante. La conclusion, c'est que le midi de ma montre, qui revient toutes les 24 heures précises, n'est pas exactement le midi du soleil qui parfois retarde et d'autres fois avance…

Cet écart n'est pas petit. On le représente par une courbe que Newton a appelé « l'équation du temps » et que voici :



En vert, la différence entre les deux midis (solaire et de ma montre) qui est due au fait que l'orbite de la terre est une ellipse ; en pointillés la différence due à l'inclinaison de l'axe ; et en noir la somme que nous constatons effectivement.

Par exemple, le 11 février, il y a une différence d'environ 15 minutes entre les deux midis ; et le 4 novembre, 15 minutes également mais dans l'autre sens… Ce n'est pas rien car cela veut dire que suivant les saisons, un cadran solaire (qui indique bien sûr le midi solaire) se trompe de plus ou moins 15 minutes par rapport à l'heure officielle.

Midi est donc parfois à midi et quart !

C'est pourquoi beaucoup de cadrans comportent un analemme pour que l'usager puisse faire la correction de lui-même…

Voici par exemple, une superbe photo que j'ai prise à Pise sur le mur de mon hôtel :

En janvier, les journées rallongent moins le matin que le soir ?

Bien sûr les jours rallongent en janvier. Ils rallongent presque de la même manière le matin et le soir, *par rapport au midi solaire*. En effet, pendant une journée, la terre n'a pas trop eu le temps de changer beaucoup de position par rapport au soleil, si bien que le midi solaire est presque à mi-chemin entre le coucher et le lever du soleil (la différence est de l'ordre de la dizaine de secondes).

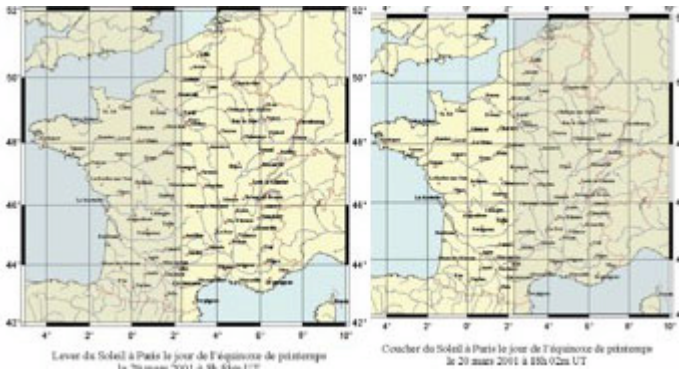
Mais *le midi solaire se décale par rapport au midi officiel de nos montres*, et c'est ce décalage qui nous fait penser que les jours rallongent moins le matin que le soir. Ce décalage est véritable mais par rapport à un midi totalement artificiel, qui n'a rien à voir avec le midi du soleil, et qui nous est imposé par la radio, la télé etc. En d'autres termes, si on faisait comme dans les temps anciens en définissant chaque jour le midi en fonction du soleil, alors les jours rallongeraient exactement de la même manière le matin et le soir.

C'est le midi du soleil qui se décale par rapport au midi de notre montre ! CQFD !

L'heure du lever du soleil

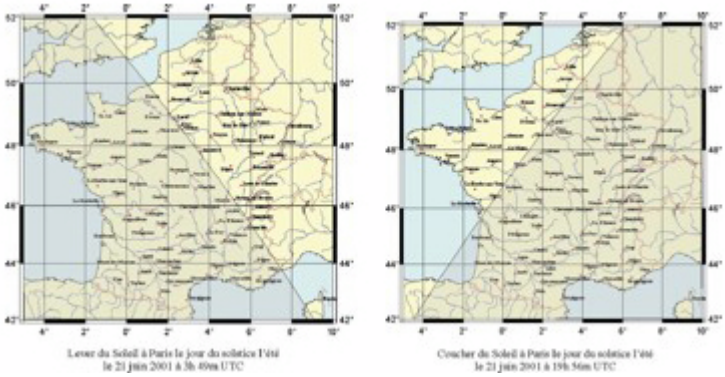
Je ne peux pas terminer sans une autre explication qui n'a rien à voir mais quand même.

Le soleil se lève-t-il plus tôt à Paris ou à Bordeaux ? Évident, direz-vous : puisque Paris est à l'est de Bordeaux, le soleil atteint Paris avant Bordeaux. Ce serait vrai si l'axe de la terre était perpendiculaire au plan de l'écliptique car alors la zone éclairée par le soleil serait limitée par un méridien. C'est vrai le jour des équinoxes…. Voyons une carte de France un jour d'équinoxe…



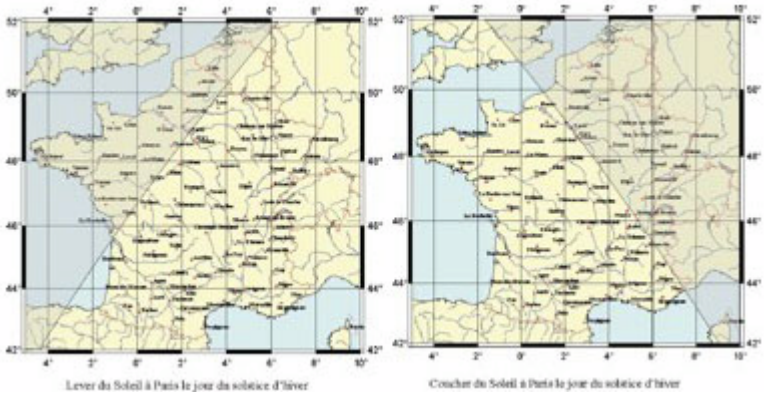
À gauche, le lever du soleil sur Paris le jour de l'équinoxe : à l'ouest du méridien de Paris, c'est encore la nuit. À droite, le coucher, le même jour : l'est du méridien de Paris est dans la nuit. Pas de surprise donc !

Mais que se passe-t-il le jour du solstice d'été ? Comme le pôle nord se penche vers le soleil, la ligne de lever de soleil est inclinée par rapport au méridien. Voyons la figure :



On voit que lorsque le soleil se lève sur Paris, il se lève en même temps sur Lyon… Lorsque le soleil se couche à Paris, il est déjà couché à Bordeaux ! Quand on y pense, c'est clair : l'été les journées sont beaucoup plus longues à Paris qu'à Bordeaux (de près de 30 minutes) ! À Bordeaux, les journées sont plus uniformes au cours de l'année, alors qu'à Paris, elles sont très longues en été et très courtes en hiver…

Voici enfin la figure de la situation au solstice d'hiver :



Un laboratoire du CNRS :
L'institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

Bien sûr, tout cela est connu depuis des lustres. En France, une institution vénérable a été longtemps chargée de calculer les éphémérides ; il s'agit du *bureau des longitudes*. Voici un extrait de l'historique de cet institut, provenant de leur **site**.

« Après audition d'un rapport lu par l'abbé Grégoire, le Bureau des longitudes a été créé par une loi de la Convention Nationale du 7 messidor an III (25 juin 1795). Il s'agissait de reprendre « la maîtrise des mers aux Anglais », grâce à l'amélioration de la détermination des longitudes en mer. Chargé de la rédaction de la Connaissance des Temps et du perfectionnement des tables astronomiques, il avait sous sa responsabilité l'Observatoire de Paris, l'Observatoire de l'École Militaire et tous les instruments d'astronomie qui appartiennent à la Nation. »

Depuis 1998, c'est l'*Institut de Mécanique céleste et de calcul des éphémérides* (IMCCE) qui élabore les éphémérides nationales. Mais l'IMCCE est surtout un laboratoire de recherche dans lequel on trouve des astronomes et des mathématiciens ; c'est une *Unité Mixte de Recherche du CNRS*, l'UMR 8028.

Le **site internet de l'IMCCE** vaut le détour : on y trouvera bien sûr une description de la recherche qui y est effectuée mais aussi une grande quantité d'informations astronomiques remarquablement expliquées.

Que peut bien faire un mathématicien qui travaille en 2008 au bureau des longitudes ?

On a toujours besoin d'un mathématicien ! Bien sûr, le texte ci-dessus décrit les travaux d'astronomes, de mathématiciens, de cartographes etc. qui se sont déroulés sur plusieurs millénaires, et tout cela avait été compris dans ses moindres détails il y a au moins trois siècles. Mais si on y songe un peu, on comprend que les choses ne sont pas si simples. La Terre décrit une ellipse autour du Soleil ? Oui, ce serait le cas s'il n'y avait que le Soleil et la Terre dans l'univers mais ce n'est pas le cas ; il y a la Lune et beaucoup d'autres objets célestes dont l'attraction perturbe le mouvement de la Terre, certes de manière faible mais au fil des siècles, les effets de ces perturbations pourraient s'accumuler et, pourquoi pas, engendrer des modifications majeures dans notre système solaire : la Terre pourrait par exemple être éjectée du système solaire ? Depuis plusieurs siècles les astronomes ont développé des méthodes pour évaluer ces perturbations, mais bien souvent elles ne reposaient pas sur des bases théoriques solides et, pire encore, ne pouvaient s'appliquer que si les perturbations sont assez faibles. Qu'en est-il si les perturbations sont importantes ?

Pour aborder ce type de questions, plusieurs approches sont possibles. On peut par exemple tenter de faire des simulations sur ordinateur, pour constater les effets. Il s'agit d'un travail aux confins de l'informatique, des mathématiques et de l'astronomie, et on trouve au bureau des longitudes l'un des plus grands experts de la question : **Jacques Laskar**. Bien sûr, ce genre d'approche ne pourra jamais affirmer que la Terre ne sera pas éjectée du système solaire car, si

loin que l'on pousse le calcul, rien ne dit que l'éjection ne commencera pas le lendemain ! Un mathématicien peut alors s'intéresser à l'étude théorique du mouvement de systèmes solaires « abstraits » qui n'ont pas grand chose à voir avec la réalité, juste pour comprendre « comment ça marche » et pour expliquer par exemple les mécanismes possibles d'éjection. C'est le rôle de la partie purement mathématique de la mécanique céleste, très bien représentée au bureau des longitudes. Par exemple, **Alain Chenciner** a mis en évidence certaines trajectoires périodiques de systèmes solaires abstraits, au comportement tellement étonnant qu'on dirait que les planètes dansent. Il parle de chorégraphie et de hip-hop ! Le lecteur suffisamment armé pour lire des mathématiques pourra lire **son article** dans ce site.

Crédits images

Pour citer cet article : **Étienne Ghys**, **Chercher midi à midi et quart !**. *Images des Mathématiques*, CNRS, 2008. En ligne, URL : `http://images.math.cnrs.fr/Chercher-midi-a-midi-et-quart.html`