

MUSÉE DU TEMPS

DOSSIER

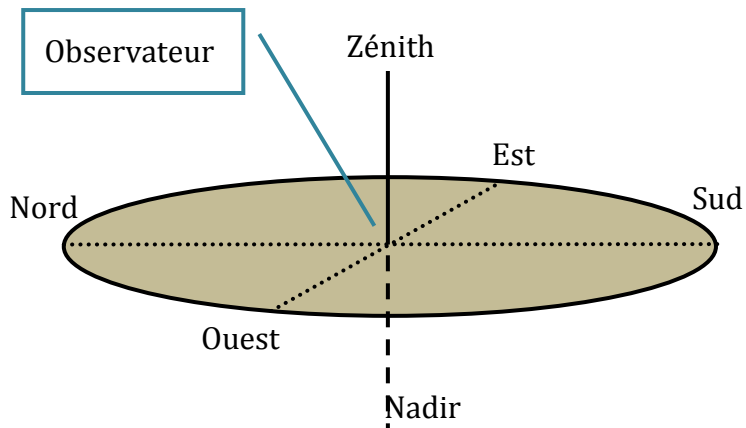
LE TEMPS SOLAIRE



Dossier réalisé par Jean-Pierre MOURAT, enseignant de sciences physiques,
enseignant chargé de mission au musée du Temps, 2015.

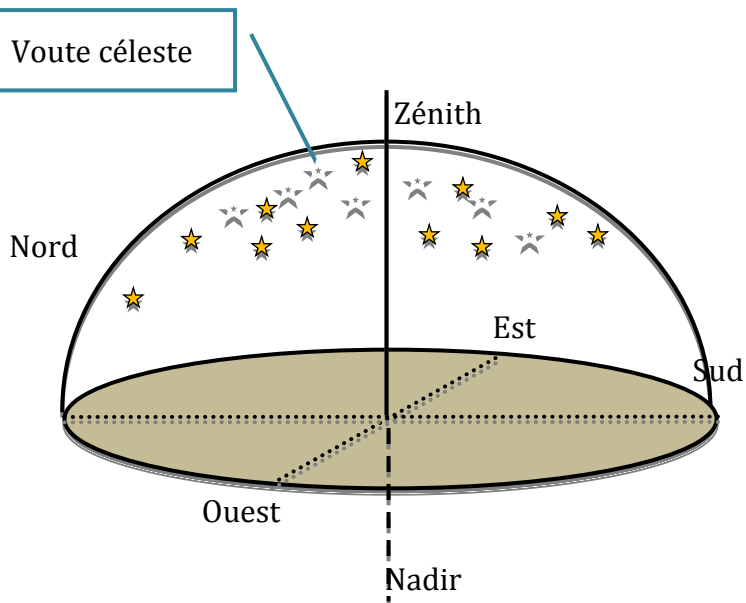
« Le temps solaire »

Midi au soleil ?



Pour plus de clarté et de conformité avec l'observation, la Terre est considérée au centre du monde. Nous nous placerons donc dans un référentiel local.

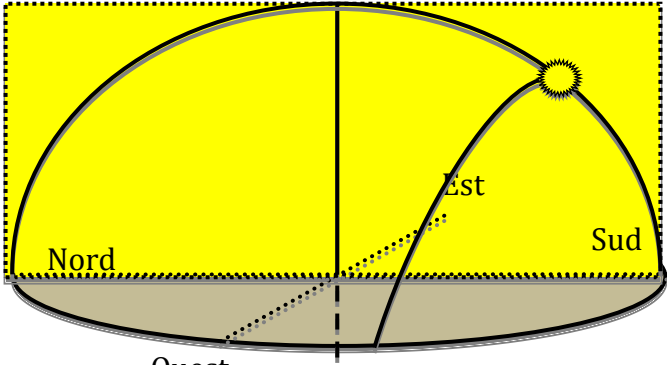
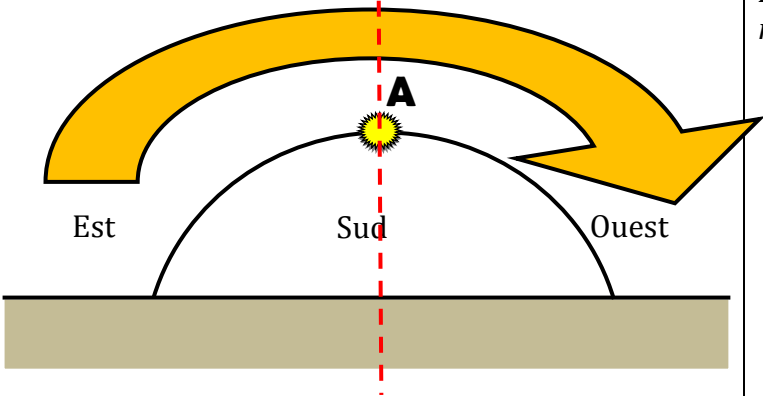
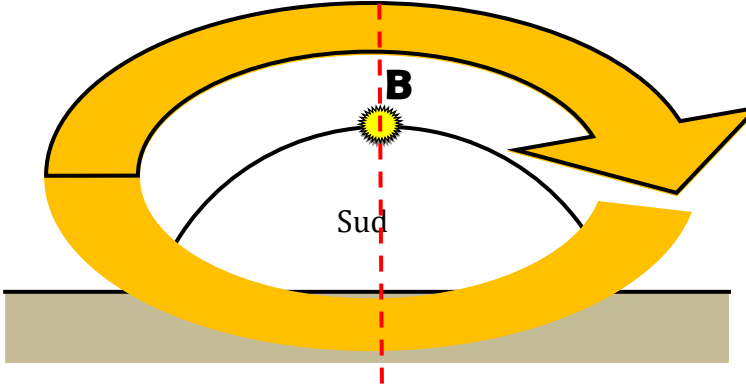
Cela ne pose pas de problème particulier encore faut-il s'en souvenir ! L'observateur voit donc un cercle horizon autour de lui, il est toujours supposé au centre de chacun de ces dessins.



Orientons l'espace par les points cardinaux et un axe haut-bas local. Nos remarques concerneront globalement la France comme lieu d'étude ou plus particulièrement Besançon, le musée du Temps.

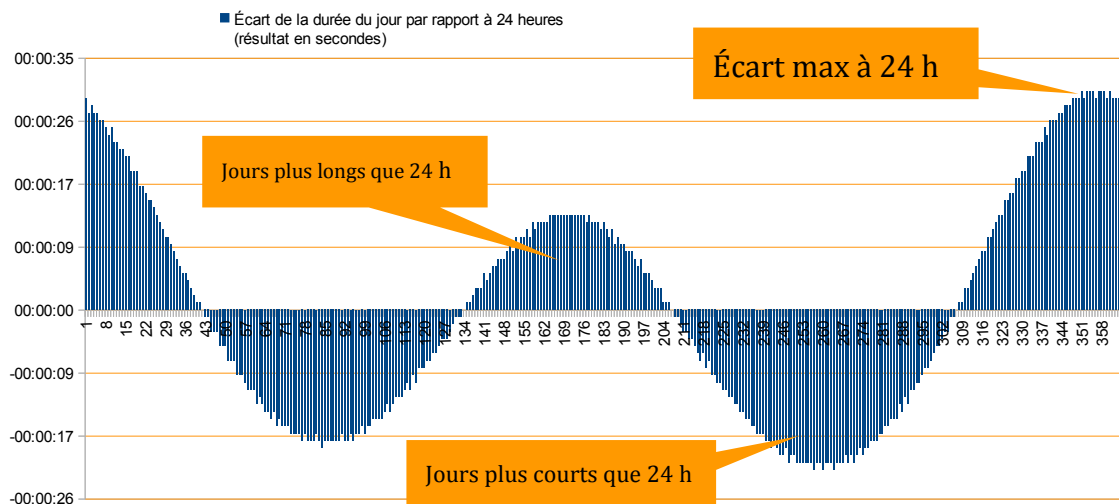
Figurons la voûte céleste... Dans toutes les descriptions qui suivront, les étoiles, les planètes et le Soleil seront placés, comme semble le suggérer l'observation nocturne du ciel, à la même distance de l'observateur, donc du centre de la figure.

Véritable retour en arrière historique au temps du géocentrisme, mais situation tellement plus pratique pour l'observation !

	Observons la course du soleil. <i>Chaque jour le soleil s'éloigne de l'horizon Est, culmine au dessus de l'horizon coté Sud, puis se rapproche de l'horizon Ouest. Il passe par le plan méridien Nord Sud.</i> <i>Il se déplace en apparence de 15 ° par heure (environ).</i>
	<i>Passage du Soleil dans le plan méridien</i>
	Nous définissons le "jour solaire vrai" comme étant la durée qui sépare deux passages consécutifs du soleil dans ce plan méridien (deux culminations A et B). <i>Entre le passage du Soleil A et le passage du soleil B il s'écoule environ 24 h...</i>

jour n°	date	Écart à 24 h h	valeur
43	9 février 2012	nul	
87	24 mars 2012	min relatif	-19 s
137	13 mai 2012	nul	
174	19 juin	max relatif	+13 s
210	25 juillet	nul	
260	13 septembre	min absolu	-22s
310	2 novembre	nul	
357	19 décembre	max absolu	30s

...Environ, car cette durée varie de 23 h 59 min 38s au mois de septembre à 24 h 0min 30s au mois de décembre...
Le tableau de la page suivante montre que le Soleil traverse rarement le méridien à midi précis...mais tantôt en avance tantôt en retard...



D'après ce graphique on voit que, pour une précision de l'ordre de la seconde, le jour solaire vrai ne dure 24 heures que quelques jours par an !

Heures de passage au méridien : Lieu : Observatoire de Besançon
longitude 05°59'22" E / latitude 47°15'00" N Année 2012

Passage au méridien jour j	passage au méridien jour j+1	différence d'horaire (j+1)-j	24+différence d'horaire (j+1)-j	valeurs extrêmes
	11:39:21			MAX
11:39:21	11:39:50	00:00:29	24:00:29	24:00:30
11:39:50	11:40:17	00:00:27	24:00:27	MIN
11:40:17	11:40:45	00:00:28	24:00:28	23:59:38
11:40:45	11:41:12	00:00:27	24:00:27	
11:41:12	11:41:39	00:00:27	24:00:27	
11:41:39	11:42:05	00:00:26	24:00:26	
11:42:05	11:42:31	00:00:26	24:00:26	
11:42:31	11:42:56	00:00:25	24:00:25	
11:42:56	11:43:20	00:00:24	24:00:24	
11:43:20	11:43:45	00:00:25	24:00:25	
11:43:45	11:44:08	00:00:23	24:00:23	
11:44:08	11:44:31	00:00:23	24:00:23	
11:44:31	11:44:53	00:00:22	24:00:22	
11:44:53	11:45:15	00:00:22	24:00:22	
11:45:15	11:45:36	00:00:21	24:00:21	

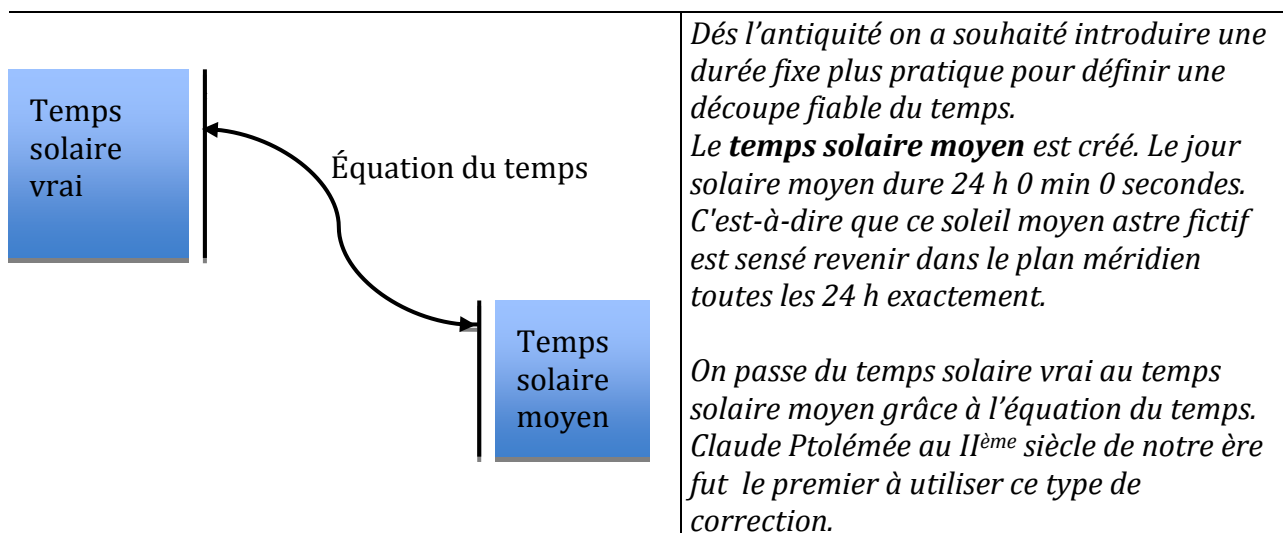
11:45:36	11:45:57	00:00:21	24:00:21
11:45:57	11:46:16	00:00:19	24:00:19
11:46:16	11:46:35	00:00:19	24:00:19
11:46:35	11:46:54	00:00:19	24:00:19
11:46:54	11:47:11	00:00:17	24:00:17
11:47:11	11:47:28	00:00:17	24:00:17
11:47:28	11:47:44	00:00:16	24:00:16
11:47:44	11:47:59	00:00:15	24:00:15

Plage de variation sur une année du jour solaire vrai.

Pour avoir accès à cette variation sur l'année et en un lieu géographique donné il faut se référer au site de l'IMCCE (l'institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides).

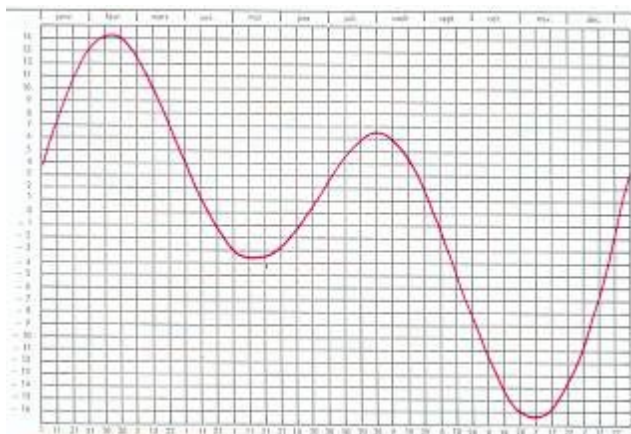
Le tableau est inachevé, mais la courbe a été tracée avec les valeurs de l'année 2012 au complet.

<http://www.imcce.fr/fr/ephemerides/phenomenes/rts/rts.php>



On peut définir l'équation du temps(EQT) comme étant la différence entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen.

$\text{temps moyen} = \text{temps vrai} + \text{EQT}$



Évolution de l'écart entre temps solaire vrai et temps solaire moyen au cours de l'année ou autrement dit allure de l'équation du temps.

Le graphique donne l'écart au soleil vrai en minutes au cours de l'année.

On remarquera qu'il varie de +14 min à -16 min environ.

Cette courbe doit être réactualisée chaque année.

Comment passer du temps lu au cadran solaire au temps lu sur sa montre ?

Lorsque l'on a décidé de construire et surtout d'utiliser un cadran solaire, on peut constater immédiatement des décalages entre le temps de ce cadran et le temps de sa propre montre. C'est alors que l'équation du temps prend toute son importance.

Premier décalage : il est dû à la position que l'on occupe sur la Terre en terme de longitude :

Si l'on se trouve à l'est du méridien de Greenwich, comme c'est le cas à Besançon au musée du Temps, l'heure lue sur le cadran solaire sera donc en avance par rapport à l'heure officielle (celle du Méridien de Greenwich) car le soleil se levant vers l'Est « passe à la verticale de Besançon » plus tôt qu'il ne « passe à la verticale de Greenwich » !

Besançon se trouvant à une longitude de 6 °1' 12 "Est. On peut trouver la correction nécessaire à savoir,

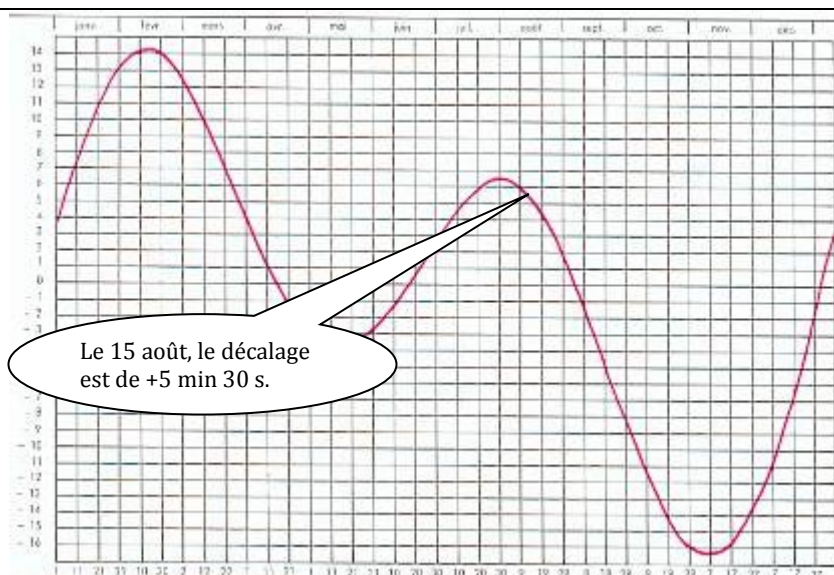
$$\frac{\text{correction}}{24h} = \frac{\text{longitude}}{360^\circ} \text{ donc}$$

$$\text{correction} = 24h \times \frac{\text{longitude}}{360} = 24h \times \frac{-(6^\circ 1' 12'')}{360^\circ} = -(24 \text{ min} + 4,8s)$$

Le cadran est donc en avance sur le temps de la montre de 24 min et 4,8 s (noté CL, correction de longitude) car bien que dans le même fuseau horaire nous sommes plus à l'est que Greenwich.

Deuxième décalage : il faut tenir compte du décalage existant entre le soleil vrai et le soleil moyen ce jour là dans l'année.

Prenons l'exemple arbitraire du 12 mars, l'équation du temps donne 5 min 30 s d'avance.



En définitive, l'heure lue sur le cadran solaire et l'heure lue sur la montre sont liées par la formule

$$H_{\text{cadran}} + C_{\text{Longitude}} + \text{EQT} + C_{\text{hiv-été}} = H_{\text{montre}}$$

- ❖ **C_{Longitude}** = correction due à la longitude du lieu où se trouve le cadran solaire, plus on se trouve à l'est du méridien de Greenwich plus le soleil est en avance (ce méridien passe à proximité du Havre, d'Alençon, de Tarbes. On peut donc se trouver, en France, relativement loin de ce méridien.
Pour Besançon il faut prendre CL = -(24min+48 s)
- ❖ **C_{hiv-été}** c'est la correction à ne pas oublier une heure en hiver et deux heures en été, c'est l'heure d'été. Dans l'exemple il faudra prendre 2 h (le 15 août c'est encore l'heure d'hiver
- ❖ **EQT** c'est l'équation du temps donc le calcul du 12 mars donnera une valeur lue sur la courbe de + dix minutes

D'où la valeur obtenue, dans notre exemple

$$H_{\text{montre}} = H_{\text{cadran}} + C_{\text{Longitude}} + \text{EQT} + C_{\text{hiv-été}} \text{ soit}$$

$$H_{\text{montre}} = 12 \text{ h} + (- (24 \text{ min} + 48 \text{ s})) + 5 \text{ min } 30 \text{ s} + 2 \text{ h} \approx 13 \text{ h } 40 \text{ min}$$

Donc **H_{cadran} = 12 h** et **H_{montre} = 13 h 40 !**

Avec cette équation du temps, nous voyons que 12 h au cadran peut par exemple correspondre avec 13h40 à la montre ? Serait-ce là l'origine de l'expression « Chercher midi à quatorze heures » ?

On pourrait facilement le croire !

Cette expression utilisée comme synonyme de «Faire compliqué là où il n'y a que simplicité » ou encore « Compliquer inutilement une chose très simple » provient non pas de l'équation du temps que nous venons d'entrevoir, mais pourrait bien avoir une origine astronomique.

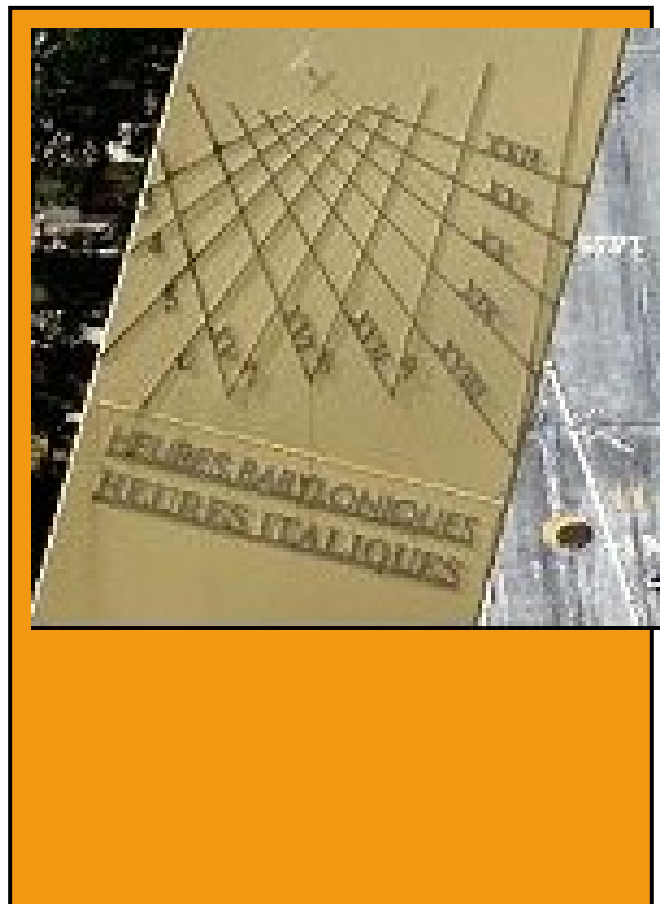
Succédant aux heures médiévales variables suivant les saisons, plus courtes en hiver qu'en été, l'introduction des heures modernes invariables fut une grande mutation. Elles ne variaient plus entre le jour et la nuit ou en fonction de la saison. Mais cette mutation ne s'est pas faite de façon uniforme, ni sans tâtonnements. On devait ainsi aboutir à des formules diverses dont l'application devait se prolonger assez tard.

*En Italie et en Bohême, on compta vingt quatre heures à partir du coucher du Soleil, ou plus exactement du début de l'obscurité. (On trouve, sur des cadrans solaires sophistiqués, comme par exemple la **méridienne du Près la Rose à Montbéliard**, des inscriptions en heures « italiques », c'est-à-dire heures écoulées depuis le précédent coucher du soleil !).*

Problème, avec ce choix d'heures, il faut sans cesse régler les horloges. En effet chaque fois que le point de départ du décompte change il faut synchroniser à nouveau cette horloge. Ce système de chronologie à référence variable, qui ne devait disparaître qu'au cours du XIXe siècle, pouvait avoir comme effet de décaler le milieu du jour bien au delà de quatorze heures, d'où l'origine de cette raillerie astronomique !

Philippe Wolff

(Source : le temps et sa mesure au moyen-âge. in annales Économies-Sociétés-Civilisations 17^e année n°6 1962 pp 1142)



Dimensions : diamètre 14 cm
date de conception : 1816

Une bien curieuse montre au Musée du Temps ?

Il s'agit en fait d'un **calculateur d'équation** réglable manuellement et non d'une montre traditionnelle. Il a été conçu par Lepaute horloger du roi et de la ville au 24 de la Rue Saint Honoré (Paris) en 1816, comme le mentionnent les gravures du revers de son revers. Notons bien qu'un horloger du nom d'Augustin Henry Lepaute est par ailleurs réputé dans le monde de l'astronomie et de l'horlogerie pour ses écrits relatifs au temps moyen, mais celui-ci n'aurait eu que seize ans à l'époque de la conception de cet objet, belle précocité ou deux horlogers distincts ?



Cet appareil donne l'équation du temps solaire pour chaque jour de l'année. Basé sur l'approche de l'équation du temps que nous venons de faire, il permet de régler une montre ou une horloge à partir d'un cadran solaire.

Les indications nécessaires aux réglages sont gravées sur des couronnes concentriques.

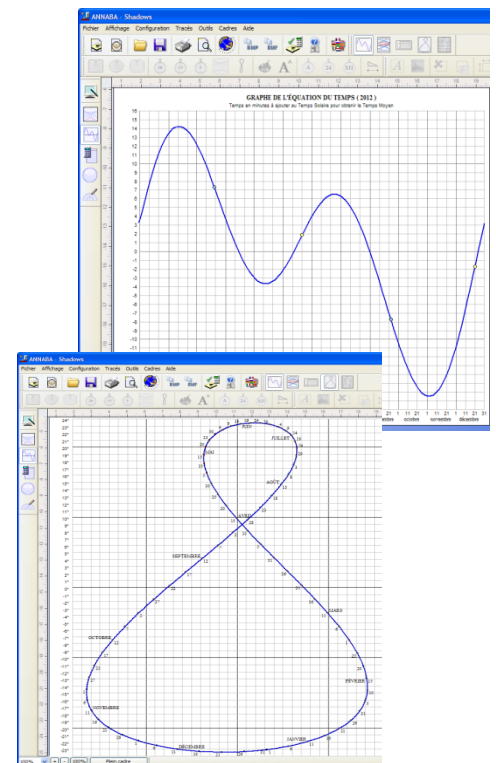
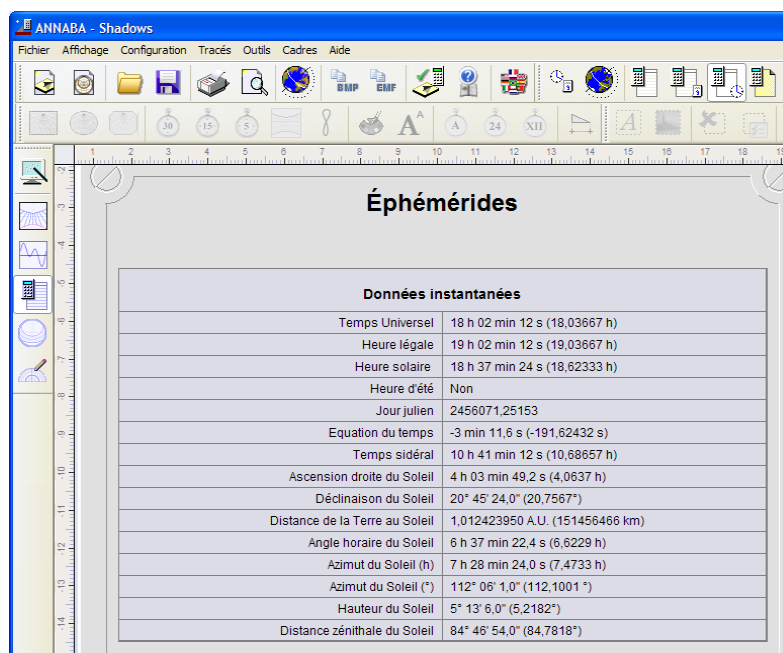
En termes de fonctionnement, les valeurs données par l'équation du temps changent lentement au cours des années. Cet appareil devait donc être annuellement actualisé, recalé.

L'équation du temps étant directement liée à deux fonctions sinusoïdales de périodes double l'une de l'autre, on ne doute pas qu'un mécanisme horloger puisse « la résoudre » par un train d'engrenages appropriés. En effet l'équation du temps est le résultat de deux causes astronomiques périodiques, ce que l'on appelle la réduction à l'équateur et l'équation du centre, corrigées toutes deux d'un facteur lié à la variation de longitude du périhélie de la Terre.

Pour les explications astronomiques et la forme mathématique exacte de ces sinusoïdes voir la référence bibliographique (4) de Jacques Gapaillard (2011).

Si l'on souhaite avoir une version moderne de ce calculateur, il faut se rendre sur le site de :

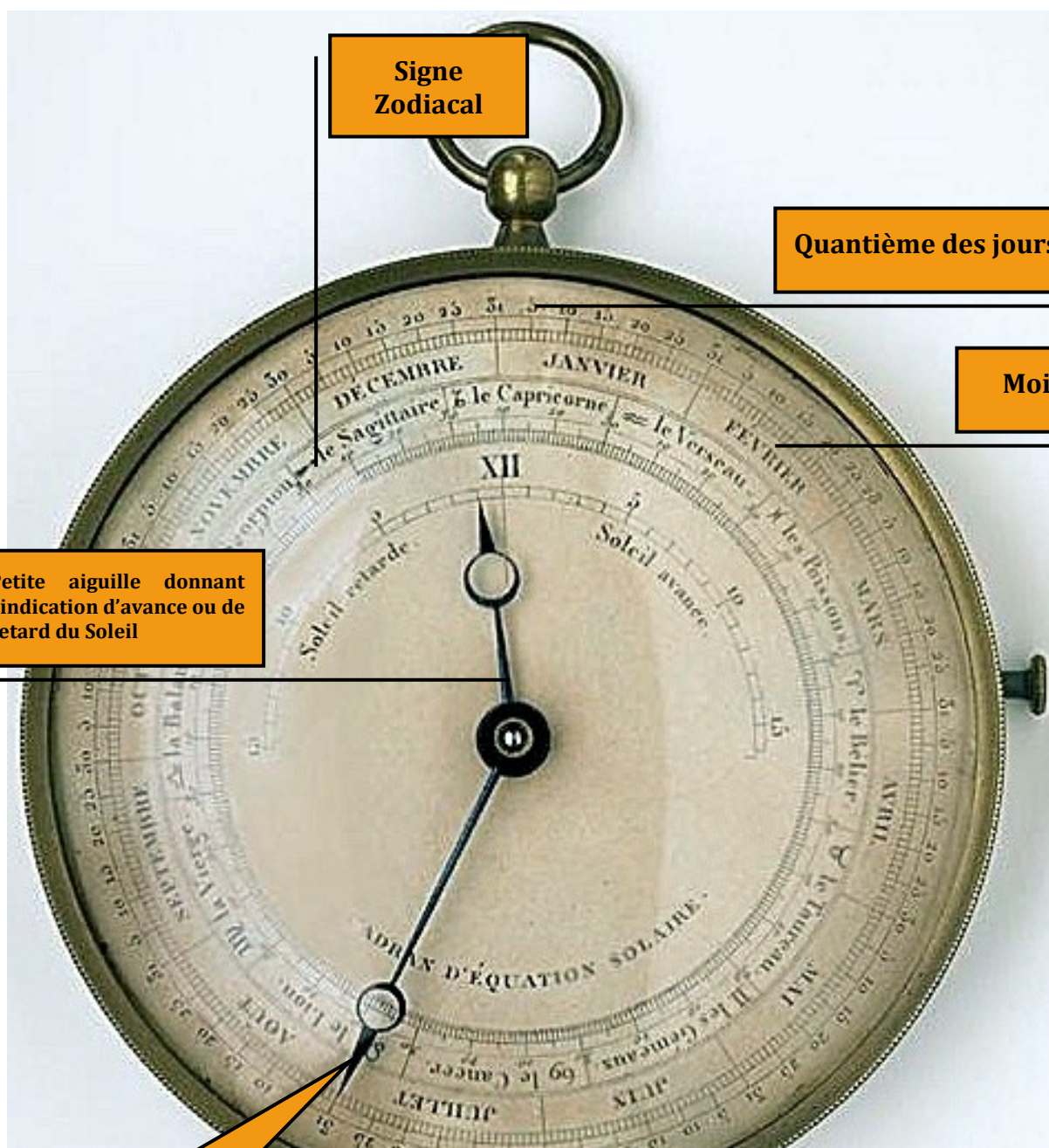
<http://www.shadowspro.com/fr/index.html> (télécharger le logiciel et l'on voit les valeurs de l'équation du temps se modifier en temps réel.



Le « calculateur d'équation du temps »



Photo Service éducatif du musée du Temps



Signe
Zodiacal

Quantième des jours

Mois

Petite aiguille donnant
l'indication d'avance ou de
retard du Soleil

Réglée au 31 juillet...

....le soleil passera
dans le plan
méridien avec 1
minute de retard

LEVERS et COUCHERS du Soleil et de la Lune à Paris en 2001		JANVIER				
		Soleil				
		Dates	L	C		
Prévisions météorologiques 2001 (les heures sont données en temps universel)						
JANVIER						
▷	PQ le 2, à 22 h 33 mn, vent, neige fondue	L 1	07 46	16 03	11 27	
☼	PL le 9, à 20 h 25 mn, neige	M 2	07 46	16 04	11 44	
€	DQ le 16, à 12 h 36 mn, glace	M 3	07 46	16 05	12 00	
●	NL le 24, à 13 h 08 mn, vent froid	J 4	07 46	16 06	12 33	
		V 5	07 46	16 07	12 55	
		S 6	07 46	16 08	13 23	
		D 7	07 45	16 09	14 00	
FÉVRIER						

Cette page est présente dans tous les calendriers de la Poste. Y figurent entre autres renseignements, les heures de lever et de coucher du Soleil pour chaque jour de l'année. On relèvera que les heures sont données

[illegible]
$$EQT = H_M - 12 = \left(\frac{H_L - H_C}{2} \right) - 12$$

Map of Europe and North Africa showing the Meridian of Greenwich. The map includes labels for countries like Norway, Sweden, Denmark, Germany, France, Spain, Portugal, Ireland, and the United Kingdom. It also shows the North Sea, Norwegian Sea, and Mediterranean Sea. A large orange arrow points from the Meridian of Greenwich towards the Atlantic Ocean.

Heure du passage du Soleil au méridien de Paris			Année 1985		
	Date	Heure du lever du Soleil= HL	Heure du coucher du Soleil= HC	heure de passage au méridien (HL+HC)/2	Écart à midi
	01/01/85	07:46:00	16:03:00	714,5	-5,5
	10/01/85	07:43:00	16:13:00	718	-2
	20/01/85	07:36:00	16:28:00	722	2
	01/02/85	07:22:00	16:47:00	724,5	4,5
	10/02/85	07:09:00	17:02:00	725,5	5,5
	20/02/85	06:52:00	17:18:00	725	5
	01/03/85	06:34:00	17:33:00	723,5	3,5
	10/03/85	06:16:00	17:47:00	721,5	1,5
Eq. Printemps	20/03/85	05:55:00	18:02:00	718,5	-1,5
	01/04/85	05:30:00	18:20:00	715	-5
	10/04/85	05:12:00	18:33:00	712,5	-7,5
	20/04/85	04:52:00	18:48:00	710	-10
	01/05/85	04:32:00	19:04:00	708	-12
	10/05/85	04:18:00	19:17:00	707,5	-12,5
	20/05/85	04:05:00	19:30:00	707,5	-12,5
	01/06/85	03:53:00	19:44:00	708,5	-11,5
	10/06/85	03:49:00	19:51:00	710	-10
	20/06/85	03:48:00	19:56:00	712	-8
Sol. Été	21/06/85	03:49:00	19:56:00	712,5	-7,5
	01/07/85	03:53:00	19:56:00	714,5	-5,5
	10/07/85	04:00:00	19:52:00	716	-4
	20/07/85	04:10:00	19:43:00	716,5	-3,5
	01/08/85	04:25:00	19:28:00	716,5	-3,5
	10/08/85	04:37:00	19:13:00	715	-5
	20/08/85	04:52:00	18:56:00	714	-6
	01/09/85	05:08:00	18:32:00	710	-10
	10/09/85	05:21:00	18:13:00	707	-13

	9/85				
	20/0	05:35:00	17:52:00	703,5	-16,5
	9/85				
Eq. Automne	23/0	05:40:00	17:45:00	702,5	-17,5
	9/85				
	01/1	05:51:00	17:29:00	700	-20
	0/85				
	10/1	06:05:00	17:10:00	697,5	-22,5
	0/85				
	20/1	06:20:00	16:50:00	695	-25
	0/85				
	01/1	06:39:00	16:29:00	694	-26
	1/85				
	10/1	06:53:00	16:16:00	694,5	-25,5
	1/85				
	20/1	07:09:00	16:03:00	696	-24
	1/85				
	01/1	07:24:00	15:55:00	699,5	-20,5
	2/85				
	10/1	07:34:00	15:52:00	703	-17
	2/85				
	20/1	07:42:00	15:54:00	708	-12
	2/85				
Sol.d'Hiver	21/1	07:43:00	15:55:00	709	-11
	2/85				
				Moyenne des écarts à midi	=-9

Le soleil ne passe donc pas au méridien Sud à 12 h en temps universel.

On constate que le soleil peut être en retard ou en avance et que cet écart va jusqu'à 26 minutes.

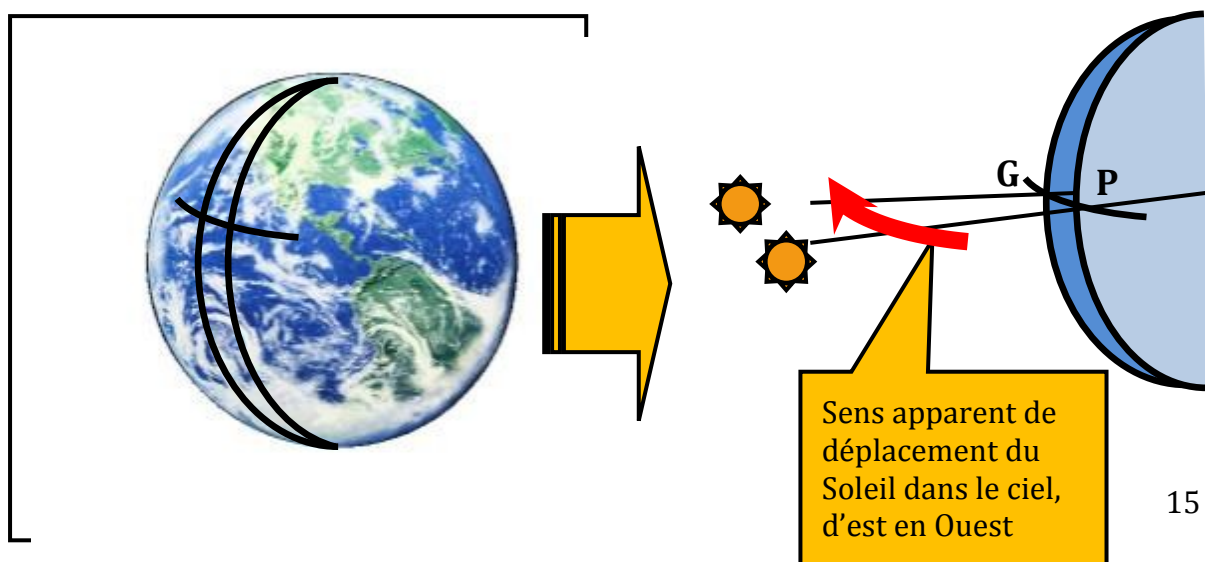
La moyenne de ces écarts à midi vaut pour cette année-là prise au hasard (1985) environ 9 minutes.

Peut-on interpréter cet écart ?

Il signifie que nous observons d'un point décalé à l'Est en temps de 9 minutes horaires. C'est à dire en valeur angulaire.

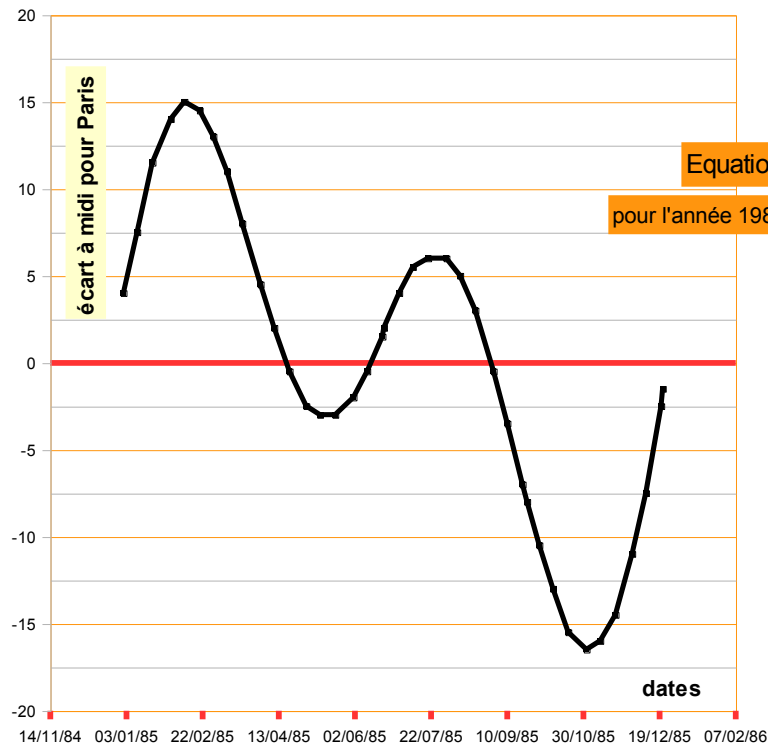
On trouve $x = 2^\circ$. C'est la longitude de Paris notée **2° Est**.

Le signe « moins » signifie que le soleil traverse le méridien de Paris avec 9 minutes d'avance.



En traçant deux plans méridiens, celui du lieu le plus à l'Est est traversé plus tôt que celui à l'Ouest. Paris se trouve bien à l'Est du Méridien de Greenwich.

Si nous soustrayons la valeur de 9 minutes à toutes les valeurs des écarts du tableau, nous retrouverons une moyenne nulle pour les écarts à midi des dates de passage du Soleil dans le méridien de Greenwich. C'est l'équation du temps pour le méridien de Greenwich.

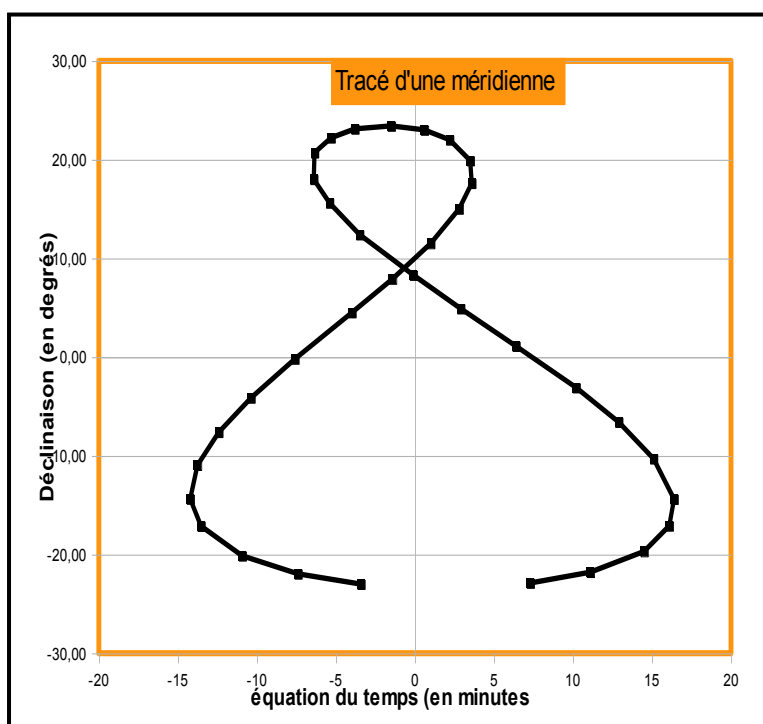


Comment alors indiquer correctement l'heure sur un cadran solaire?

Après ce que nous venons de voir, comment modifier, améliorer un cadran solaire pour qu'il se rapproche de notre montre ?

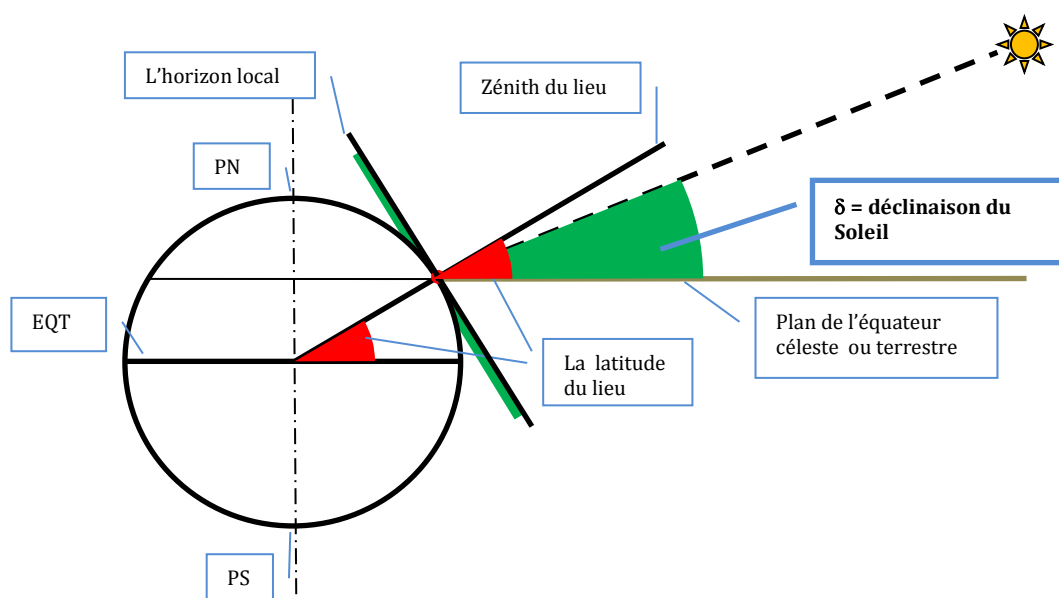
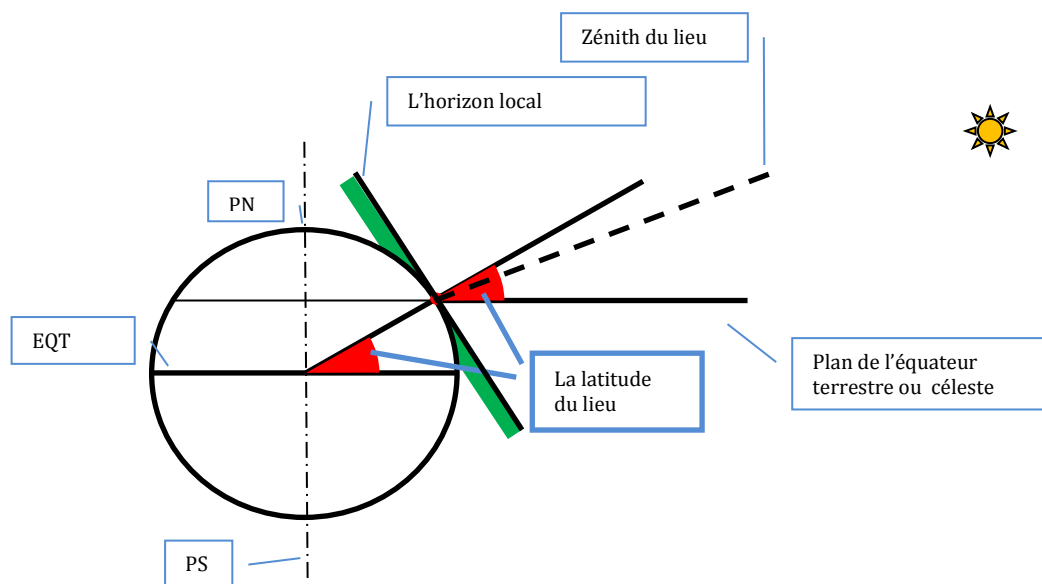
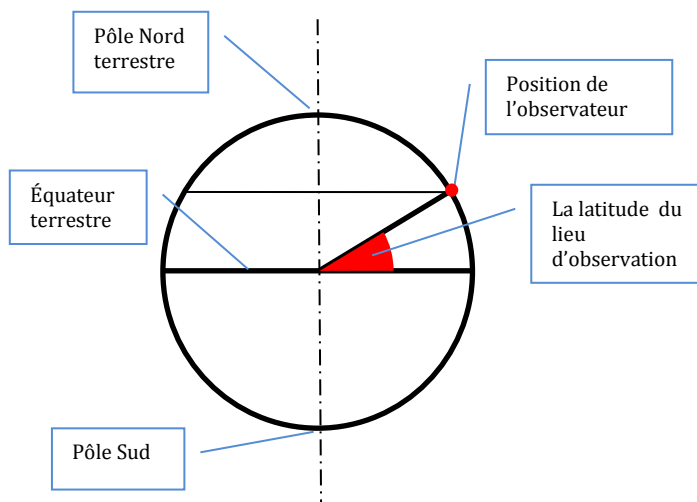
En intégrant justement l'équation du temps au niveau du tracé de ce cadran, celle ci prendra la forme d'un huit reconnaissable surtout s'il fait plusieurs mètres comme sur la méridienne du Près la Rose de Montbéliard, une des plus grandes au monde.

Son tracé nécessite de prendre l'écart de la courbe précédente en abscisse et la **déclinaison** du soleil en ordonnée.



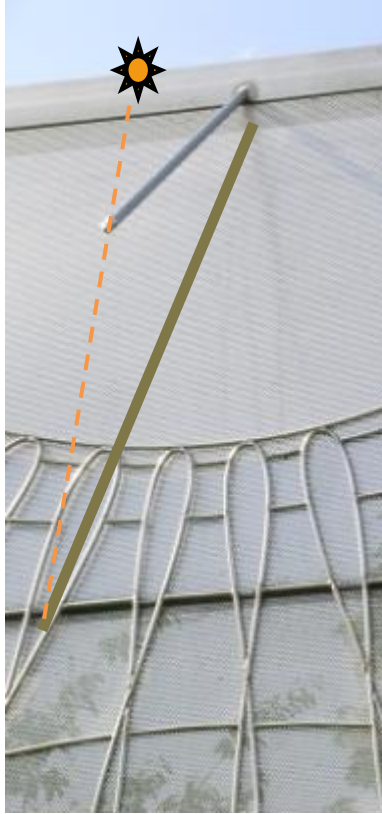
Dates	Équation du temps (Minutes)	Déclinaison du Soleil (Degrés)
01/01/11	-3,42	-23,01
10/01/11	-7,4	-21,97
20/01/11	-10,93	-20,14
01/02/11	-13,53	-17,13
10/02/11	-14,22	-14,38
20/02/11	-13,76	-10,96
01/03/11	-12,41	-7,63
10/03/11	-10,37	-4,15
20/03/11	-7,59	-0,20
01/04/11	-3,98	4,5
10/04/11	-1,42	7,9
20/04/11	1	11,5
01/05/11	2,8	15
10/05/11	3,6	17,6
20/05/11	3,5	19,9
01/06/11	2,2	22
10/06/11	0,6	23
20/06/11	-1,5	23,4
01/07/11	-3,8	23,1
10/07/11	-5,3	22,2
20/07/11	-6,35	20,7
01/08/11	-6,4	18
10/08/11	-5,4	15,6
20/08/11	-3,5	12,4
01/09/11	-0,1	8,3
10/09/11	2,9	4,9
20/09/11	6,4	1,1
01/10/11	10,2	-3,1
10/10/11	12,9	-6,6
20/10/11	15,1	-10,3
01/11/11	16,4	-14,4
10/11/11	16,1	-17,1
20/11/11	14,5	-19,7
01/12/11	11,1	-21,8
10/12/11	7,3	-22,9
20/12/11	2,6	-23,4

Qu'appelle-t-on déclinaison, donnée intervenant dans la courbe méridienne ?



Comment lire sur un cadran avec méridiennes ?

C'est la pointe de l'ombre du gnomon qui donne l'heure à sa rencontre avec le « huit ».



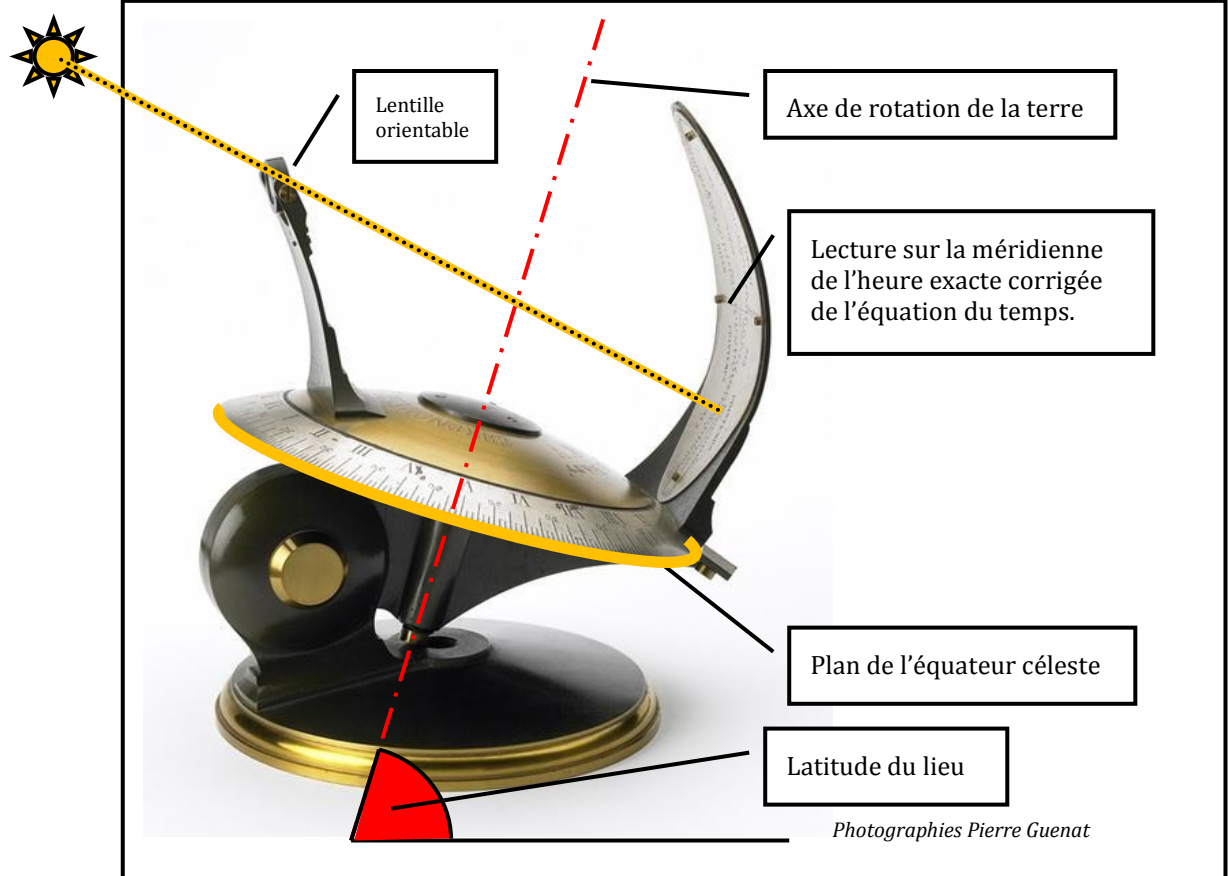
Une méridienne très précise au musée du Temps.

Ce cadran solaire de précision est particulièrement intéressant à observer, car il nous présente ce « huit » caractéristique.



Fabriqué par A. Molteni aux environs de 1860 et appelé « Méridienne de gare », ce cadran équatorial de précision était utilisé pour remettre les horloges à l'heure à midi, par observation solaire. Jusqu'à l'unification territoriale de l'heure en France (loi du 14 mars 1891 créant le temps unique sur le territoire français), on trouvait ce genre d'appareil dans les gares de chemin de fer.

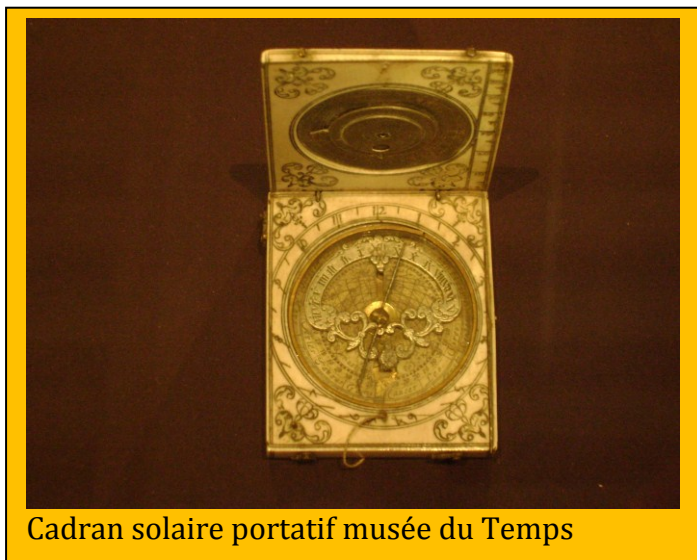
Le plan du support doit être orienté N-S. Les rayons du soleil doivent passer à travers une lentille, l'image du soleil petite et précise se forme alors sur le « huit » caractéristique de la méridienne. Grâce aux réglages fins, ce cadran donne directement l'heure en temps moyen. (Source : Pierre Mesnage, notice descriptive dans Joconde, base de données, portail des collections des musées de France)



Bibliographie :

Sur le temps solaire et l'équation du temps.

- **Les cadrans solaires de Franche Comté** par Françoise Suagher, Jean-Paul Parisot et Pierre Marchand, Editions Cêtre, Besançon
- **Les cadrans solaires** de Denis SAVOIE, Éditions Belin Pour la Science, Paris 2003
- **Les saisons et les mouvements de la Terre** de Pierre CAUSERET et Liliane SARRAZIN, Éditions Belin Pour la Science, Paris 2001
- **Cosmographie**, comprendre les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes de Denis SAVOIE, Éditions Belin Pour la Science, Paris 2006
- **Histoire de l'heure en France** de Jacques GAPAILLARD, Éditions Vuibert Adapt Snes, Paris 2011
- **Cahiers CLAIRAUT**(CLEA) Le comité de liaison enseignants astronomes (CLEA) publie de nombreux documents pédagogiques directement exploitables dans des situations de cours ou en complément d'auto formation pour des enseignants. Documents accessibles sur <http://www.ac-nice.fr/clea/>



Cadran solaire portatif musée du Temps