

conférences
éducation
la médiation scientifique
ateliers
animations
évènements
formation
exposés

cité
sciences
et industrie

Les cadrans solaires (atelier stand à l'extérieur)



Table des matières

<i>Préambule</i>	4
Genèse du projet, produit et objectifs	5
Préparation de l'animation	6
Les points clés	10
I. Le cadran solaire comme repère du temps qui passe dans une journée	11
II. Le cadran équatorial	12
III. Orienter le cadran équatorial	14
IV. Le cadran équatorial comme outil pour dessiner un cadran vertical ou horizontal	17
1. <i>Cadran horizontal</i>	17
2. <i>Cas pratique : traçage d'une table pour un cadran horizontal à partir du cadran de la Cité</i>	18
3. <i>Cadran vertical à partir du cadran équatorial</i>	19
V. L'équation du temps : constatations et explications	20
1. <i>Constatations</i>	20
2. <i>Explications</i>	24
VI. Exemples de calcul	40
1. <i>De l'heure solaire à l'heure légale en France métropolitaine</i>	40
2. <i>De l'heure légale à l'heure solaire en France métropolitaine</i>	41
VII. Adaptations selon le public	44
1. <i>Enfants jeunes, non lecteurs, ou peu avancés dans la lecture</i>	44
2. <i>Grand public</i>	44
3. <i>Public spécialisé</i>	44
Matériel	45
Budget	48
<i>Annexe 1 : angles d'un cadran solaire équatorial à la latitude L (10°N dans les schémas)</i>	49
<i>Annexe 2 : comment trouver le nord avec un gnomon</i>	51
<i>Annexe 3 : documents à imprimer</i>	53
Ressources humaines	60
Bilan des médiateurs	61

i.

Ce cahier de la médiation scientifique est à la fois **la mémoire** d'une animation qui peut disparaître puis réapparaître, et **un outil de formation** pour permettre son appropriation par de nouveaux arrivants.

Ce document retrace minutieusement le scénario et l'historique d'un produit de médiation. Il faut cependant garder à l'esprit que ce cahier est un support qui a ses limites : "**animer**", "**faire une animation**" est un savoir-faire, une expérience humaine difficile à transcrire.

Par conséquent ce cahier n'est pas une notice à suivre à la lettre mais un accompagnement à la découverte d'un produit de médiation. Pour s'approprier l'animation, il est indispensable de la suivre, de la pratiquer et de rencontrer l'équipe de conception.

Ce cahier comporte trois parties :

- I. Une présentation de l'animation, avec une scénarisation du contenu, de la progression pédagogique,
- II. Des **ressources** qui regroupent les données nécessaires à la pratique de l'animation, ainsi que des références bibliographiques,
- III. Un **bilan** établi à partir de remarques des médiateurs.

Juillet – août 2021

Cadran solaire est une animation proposée pendant l'été 2021 en extérieur, sous forme de stand. Pour cela, nous avons récupéré des modèles de cadran solaire utilisés dans une animation précédente et la médiation s'est créée peu à peu en fonction des premières réactions du public.

Accroche

Faire comprendre que le mouvement apparent du Soleil est un bon indicateur du temps qui passe. Donner des notions de géographie : latitude et longitude, axe des pôles, plan de l'équateur pour comprendre les différents types de cadrans solaires.

Objectifs

- Comprendre le mouvement apparent du Soleil
- Savoir fabriquer et utiliser un cadran solaire équatorial
- Connaître les autres types de cadrans solaires : horizontal et vertical

Déroulement

À partir de l'observation du mouvement apparent du Soleil dans une journée, on fait découvrir que le Soleil peut être un bon moyen de mesurer le temps. On présente ensuite le cadran solaire équatorial, qui est le plus simple des cadrans solaires. À partir de l'utilisation de ce cadran, on précise le mouvement apparent du Soleil et ses modulations par rapport aux heures légales : heure d'été et heure d'hiver, décalage dû à la longitude puis à l'équation du temps, hauteur du Soleil selon les saisons.

Public

Plusieurs niveaux pour cette médiation : du jeune enfant, à qui on apprend seulement à utiliser le cadran solaire, jusqu'à l'expert, qui connaît l'échelle du temps. À la fin du cahier, des déroulés selon les publics sont proposés.

Ressources

Denis Savoie : *Les cadrans solaires, tout comprendre pour les construire*, collection : *Pour la science*, Paris, 2015

Pour l'équation du temps :

https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_du_temps#Influence_de_l'obliquit%C3%A9_de_la_Terre

Pour préparer l'animation, il faut un globe, une figurine, des cadrans solaires de la Cité à monter, des disques pour lire l'heure légale (à plastifier et à découper au préalable), des piques à brochette pour les styles (bâtons dont les ombres vont indiquer l'heure). Cela peut suffire, mais il peut être prudent de se munir des feuilles plastifiées propres à l'animation.

Matériel nécessaire à la médiation,
mais qui reste sur place.



Matériel qui sera donné à chaque personne du public.

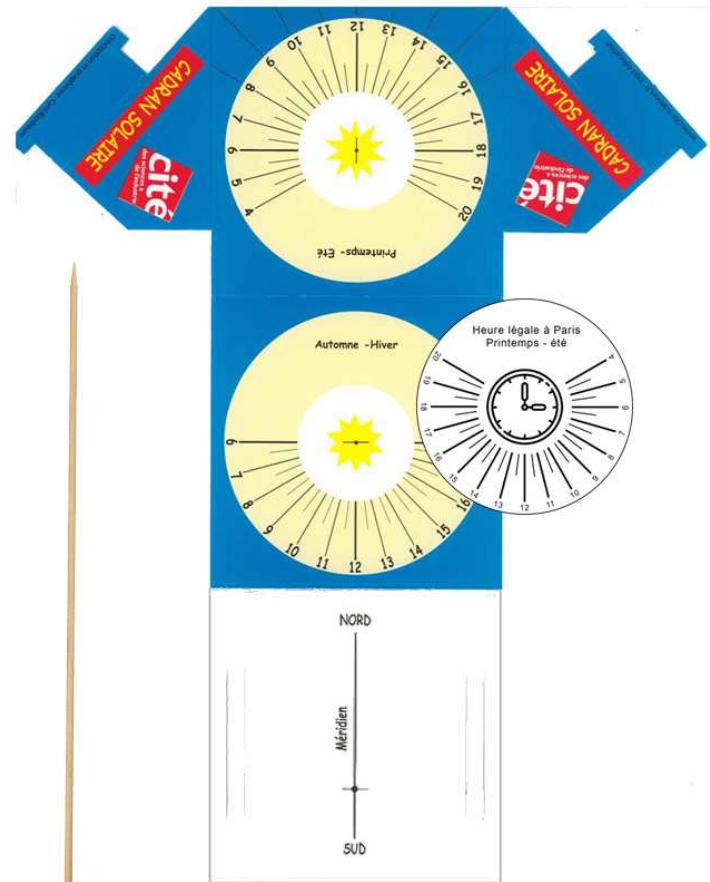


Figure 1 : Matériel de base pour la médiation : un globe, une figurine pour expliquer les mouvements du Soleil, le cadran solaire, un pic à brochette, le disque pour lire directement l'heure légale. Il peut être judicieux de faire les trous sur les cadrants avant de réaliser le pliage.

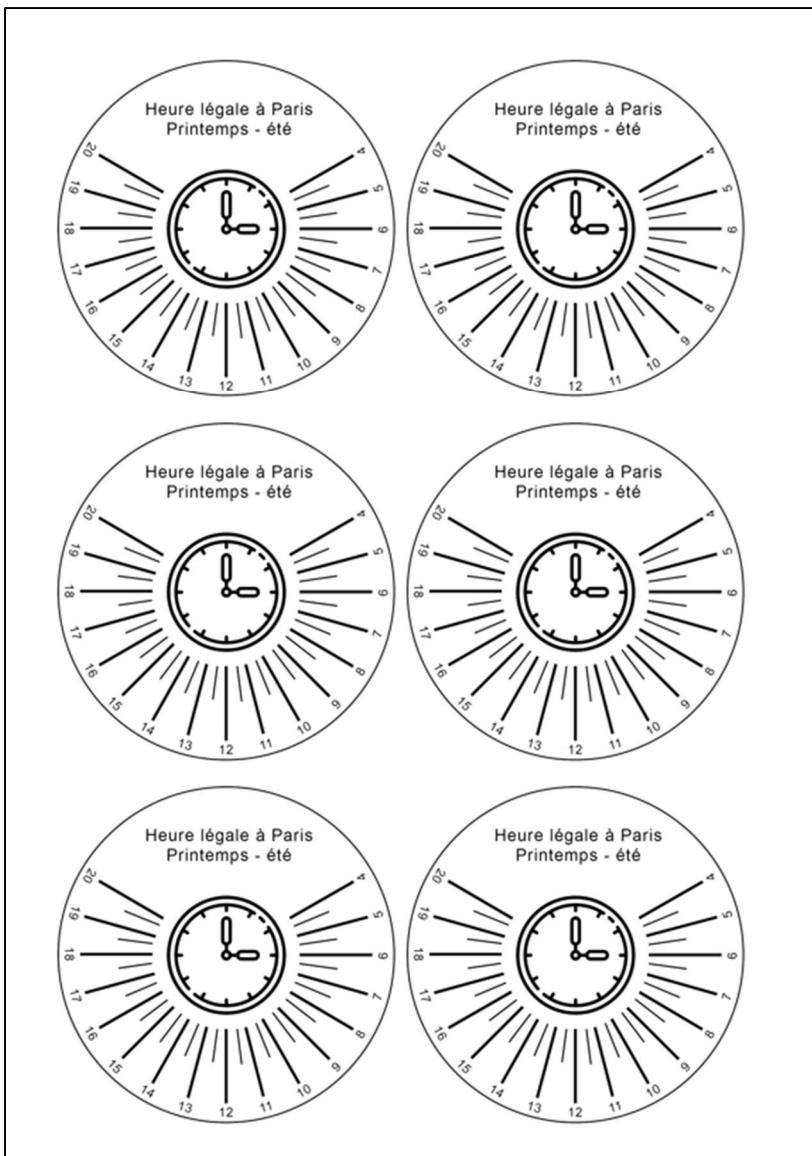
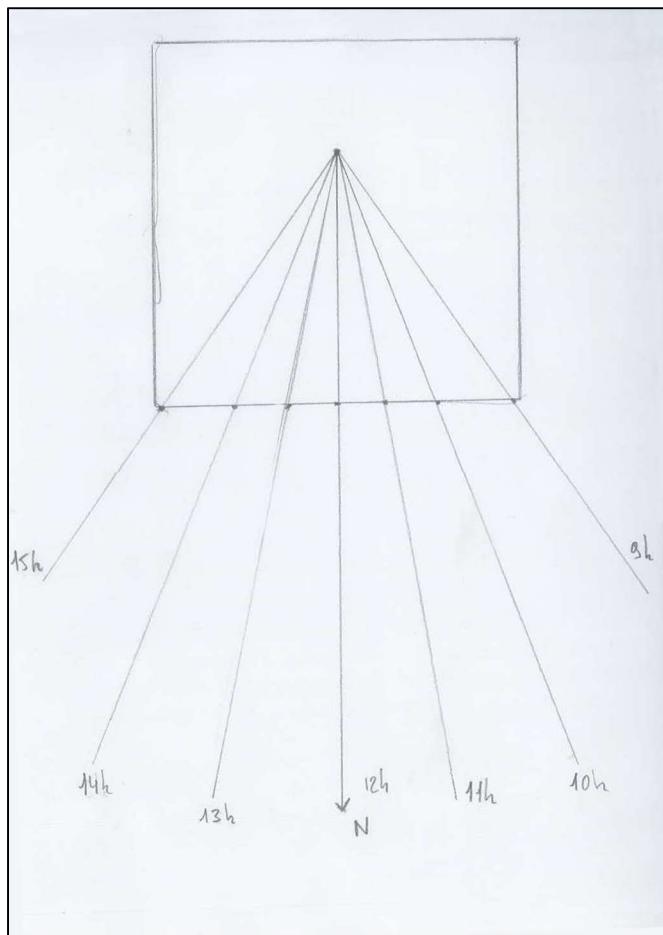


Figure 2 : feuilles de six disques. À imprimer, plastifier puis découper avant la médiation. Un disque peut être mis sur le cadran solaire pour lire directement l'heure légale.

Les feuilles plastifiées ci-dessous propres à l'animation sont utiles pour pousser l'animation plus loin (ces feuilles sont présentées plus détaillées dans la partie *Matériel*) :

- Support pour réaliser un cadran horizontal à partir du cadran équatorial de la Cité ;



- Tableau de conversion de l'heure solaire vers l'heure légale et vice-versa ;

Passer du cadran solaire à la montre

On lit une heure sur le cadran solaire, on veut connaître l'heure sur la montre.

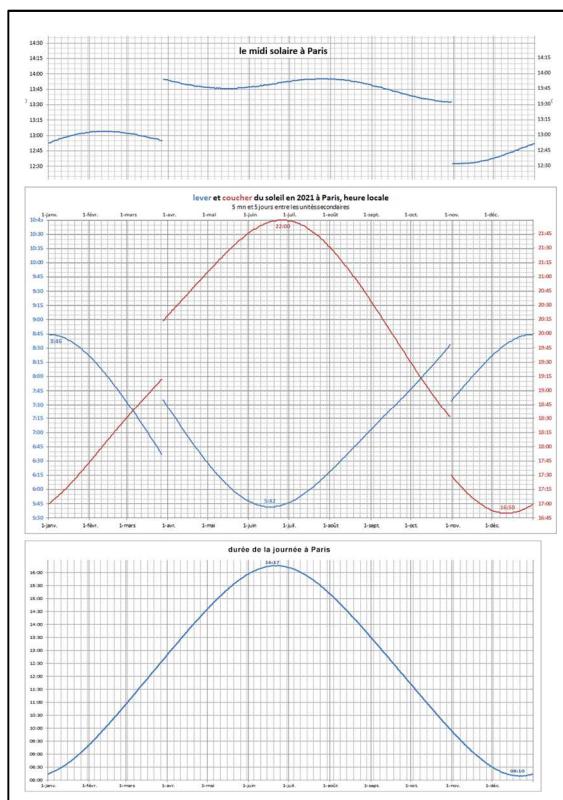
Heure d'hiver	+1
Heure d'été	+2
Longitude EST	- 4mn par degré
Longitude OUEST	+ 4 mn par degré
Équation du temps	On respecte le signe

Passer de l'heure légale au cadran solaire

On lit une heure sur la montre, on veut connaître l'heure à voir sur le cadran solaire

Heure d'hiver	-1
Heure d'été	-2
Longitude EST	+ 4mn par degré
Longitude OUEST	- 4 mn par degré
Équation du temps	On utilise le signe opposé

- Horaires du midi solaire et des levers et couchers du Soleil à Paris, ainsi que la durée de la journée tout au long de l'année ;



- L'équation du temps à Paris, jour après jour, pour les années 2021 à 2023

Équation du temps pour les années 2021 – 2022 - 2023											
	Équation	date	Équation								
date	du temps										
1/1	4,00 mn	1/2	14,50 mn	1/3	13,00 mn	1/4	4,50 mn	1/5	-2,00 mn	1/6	-1,50 mn
2/1	4,00 mn	2/2	14,50 mn	2/3	13,00 mn	2/4	4,50 mn	2/5	-2,50 mn	2/6	-1,50 mn
3/1	4,50 mn	3/2	14,50 mn	3/3	13,00 mn	3/4	4,00 mn	3/5	-2,50 mn	3/6	-1,00 mn
4/1	5,50 mn	4/2	15,00 mn	4/3	12,50 mn	4/4	4,00 mn	4/5	-2,50 mn	4/6	-1,00 mn
5/1	6,00 mn	5/2	15,00 mn	5/3	12,50 mn	5/4	3,50 mn	5/5	-2,50 mn	5/6	-1,50 mn
6/1	6,50 mn	6/2	15,00 mn	6/3	12,50 mn	6/4	3,50 mn	6/5	-3,00 mn	6/6	-1,00 mn
7/1	6,50 mn	7/2	15,00 mn	7/3	12,00 mn	7/4	3,00 mn	7/5	-2,50 mn	7/6	-1,00 mn
8/1	7,00 mn	8/2	15,00 mn	8/3	12,00 mn	8/4	3,00 mn	8/5	-3,00 mn	8/6	-0,50 mn
9/1	8,00 mn	9/2	15,00 mn	9/3	11,00 mn	9/4	2,50 mn	9/5	-2,50 mn	9/6	0,00 mn
10/1	8,00 mn	10/2	15,00 mn	10/3	11,00 mn	10/4	2,00 mn	10/5	-3,00 mn	10/6	-0,50 mn
11/1	8,50 mn	11/2	15,00 mn	11/3	11,00 mn	11/4	1,50 mn	11/5	-3,00 mn	11/6	0,00 mn
12/1	9,00 mn	12/2	15,00 mn	12/3	10,50 mn	12/4	1,50 mn	12/5	-3,00 mn	12/6	0,50 mn
13/1	9,50 mn	13/2	15,00 mn	13/3	10,50 mn	13/4	1,00 mn	13/5	-3,00 mn	13/6	0,00 mn
14/1	9,50 mn	14/2	15,00 mn	14/3	10,00 mn	14/4	1,00 mn	14/5	-3,00 mn	14/6	0,50 mn
15/1	10,00 mn	15/2	15,00 mn	15/3	10,00 mn	15/4	0,50 mn	15/5	-3,00 mn	15/6	0,50 mn
16/1	10,00 mn	16/2	15,00 mn	16/3	9,50 mn	16/4	0,50 mn	16/5	-3,00 mn	16/6	1,00 mn
17/1	11,00 mn	17/2	15,00 mn	17/3	9,50 mn	17/4	0,50 mn	17/5	-3,00 mn	17/6	1,00 mn
18/1	11,00 mn	18/2	14,50 mn	18/3	8,50 mn	18/4	0,00 mn	18/5	-3,00 mn	18/6	1,50 mn
19/1	11,00 mn	19/2	14,50 mn	19/3	8,50 mn	19/4	0,00 mn	19/5	-3,00 mn	19/6	1,50 mn
20/1	11,50 mn	20/2	14,50 mn	20/3	8,50 mn	20/4	-0,50 mn	20/5	-3,00 mn	20/6	1,50 mn
21/1	11,50 mn	21/2	14,50 mn	21/3	8,00 mn	21/4	-0,50 mn	21/5	-3,00 mn	21/6	2,00 mn
22/1	12,00 mn	22/2	14,50 mn	22/3	8,00 mn	22/4	-1,00 mn	22/5	-3,00 mn	22/6	2,50 mn
23/1	12,00 mn	23/2	14,50 mn	23/3	7,50 mn	23/4	-0,50 mn	23/5	-2,50 mn	23/6	2,50 mn
24/1	12,50 mn	24/2	14,00 mn	24/3	7,50 mn	24/4	-1,00 mn	24/5	-2,50 mn	24/6	2,50 mn
25/1	13,00 mn	25/2	14,00 mn	25/3	6,50 mn	25/4	-1,00 mn	25/5	-2,50 mn	25/6	3,00 mn
26/1	13,00 mn	26/2	14,00 mn	26/3	6,50 mn	26/4	-1,50 mn	26/5	-2,50 mn	26/6	3,00 mn
27/1	13,50 mn	27/2	13,50 mn	27/3	6,00 mn	27/4	-1,50 mn	27/5	-2,50 mn	27/6	3,50 mn
28/1	13,00 mn	28/2	13,50 mn	28/3	6,00 mn	28/4	-2,00 mn	28/5	-2,50 mn	28/6	3,50 mn
29/1	13,50 mn			29/3	5,50 mn	29/4	-2,00 mn	29/5	-2,00 mn	29/6	4,00 mn
30/1	14,00 mn			30/3	5,50 mn	30/4	-2,00 mn	30/5	-2,00 mn	30/6	3,50 mn
31/1	14,00 mn			31/3	5,50 mn			31/5	-1,50 mn		

LES POINTS CLES

- **Le Soleil est un bon outil pour mesurer le temps**, car il est reproductible, gratuit, toujours présent -> Utiliser un cadran solaire
- **Le cadran solaire équatorial** est intéressant car :
 - Peut être utilisé en **tout point du globe**
 - **Facile à réaliser** : on trace les heures tous les 15°
 - **Le plus précis** (un angle de 15° entre deux heures reste valable pour toute la journée, tous les lieux)
 - **Permet de tracer les tables des cadrans horizontaux et verticaux**
- **Le nom des cadrans solaires vient de l'orientation de la table de lecture :**
 - Cadran équatorial : table de lecture parallèle à l'équateur
 - Cadran horizontal : table de lecture horizontale, posée sur le sol
 - Cadran vertical : table de lecture est sur un mur
- **Le style est toujours parallèle à l'axe Nord-Sud géographique** (dans l'hémisphère nord, le style pointe vers l'étoile polaire) pour tous les types de cadrans solaires.

Le cadran solaire comme repère du temps qui passe dans une journée

I. LE CADRAN SOLAIRE COMME REPÈRE DU TEMPS QUI PASSE DANS UNE JOURNÉE

- **Les cadrants solaires sont parmi les premiers instruments qui ont mesuré le temps** : le Soleil est régulier et ne demande pas de main d'œuvre. Invention retrouvée chez les Babyloniens, en Chine, chez les Incas (plutôt gnomon : un bâton planté perpendiculairement au sol)
- **Ils utilisent le mouvement journalier du Soleil.**
 - o L'alternance jour-nuit peut être expliquée à cette occasion ; en montrant la rotation du globe en 24h.
 - o Mouvement apparent du Soleil ; dans quel sens tourne le Soleil par rapport à un point fixe sur la Terre ? À Paris, le Soleil se lève vers l'est, passe par le sud et se couche vers l'ouest. Ceci s'explique en faisant tourner le globe dans le sens antihoraire pour l'hémisphère nord.

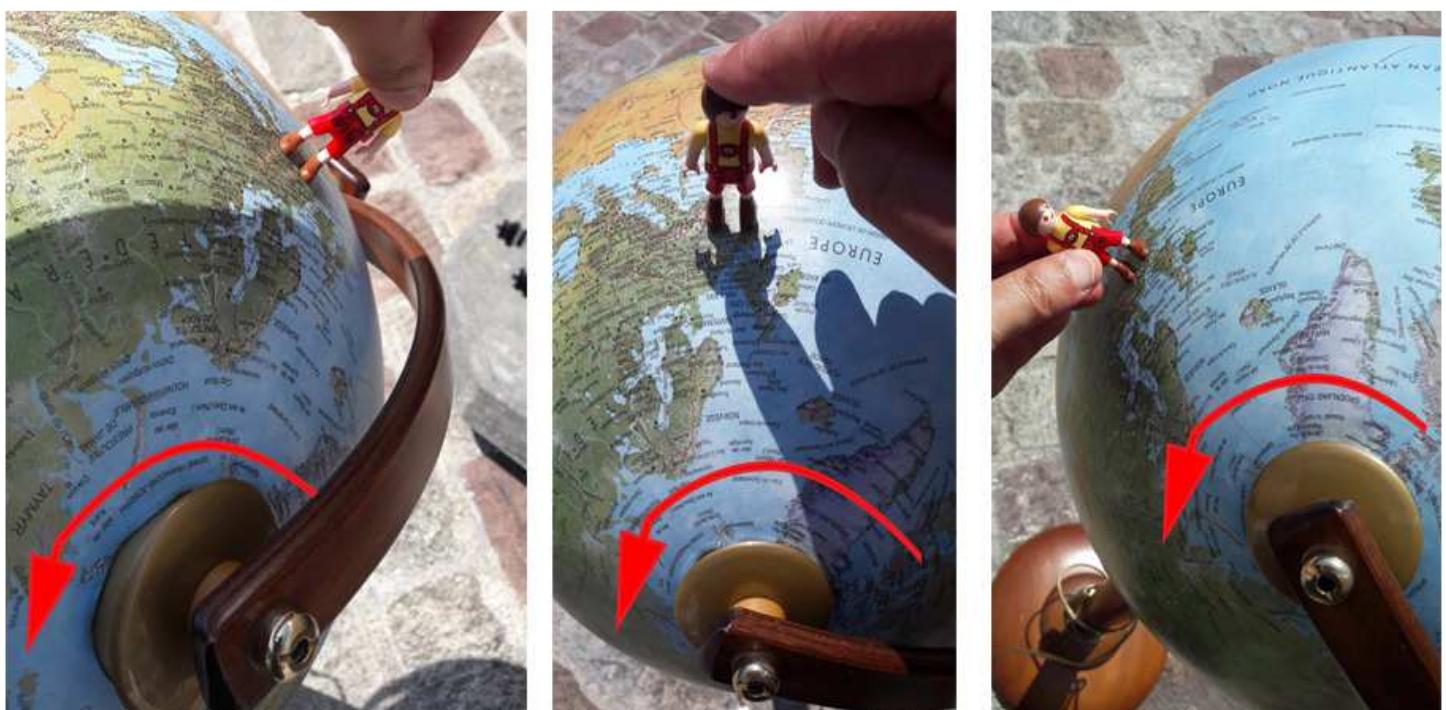


Figure 3 : avec une figurine placée sur la France, on peut montrer que le Soleil se lève à l'est (à gauche) passe par le sud (au centre) et se couche à l'ouest (à droite) ; si on fait tourner le globe dans le bon sens...

II. LE CADRAN EQUATORIAL

- Avec le globe, on montre qu'**au pôle nord, l'ombre d'un bâton planté réalise un tour régulier sur un sol horizontal** : c'est un cadran équatorial.
- **On reprend ce principe en tout point du globe :**
 - o Le bâton, appelé **style**, est toujours parallèle à l'axe nord-sud. Il fait donc un **angle avec le sol égal à la latitude du lieu** (voir annexe 1).
 - o **La table de lecture est parallèle à l'équateur** (le nom d'un cadran solaire vient toujours de sa table de lecture ;
 - Cadran équatorial : table parallèle à l'équateur
 - Cadran horizontal : lecture sur le sol (horizon)
 - Cadran vertical : lecture sur un mur, plutôt orienté plein sud.
 - o Comme notre point terrestre fait un tour de 360° en 24h, **chaque heure est représentée par un angle de 15°** ($360/24$).
- **Le cadran équatorial est simple à construire :**
 - o On trace un cercle et tous les 15° , on trace un rayon, qui indique une nouvelle heure.
 - o Le cadran peut fonctionner alors partout, à tout moment, une fois bien orienté.
 - o **Pour information, il est un bon outil pour tracer les cadrants horizontaux et verticaux.**
- **Pourquoi le style perpendiculaire au sol (gnomon) ne marche pas partout, ni toujours ?**
 - o **Le tour apparent du Soleil est de moins en moins régulier.** -> extrême à l'équateur à l'équinoxe : le Soleil fait une ligne droite au-dessus de l'horizon ; ombre du style qui diminue puis augmente le long de la journée. Si on monte peu à peu vers le nord ou vers le sud, la ligne devient une ellipse de plus en plus large (jusqu'au cercle aux pôles). Quand l'ellipse est fine, le cadran solaire n'est pas précis (voir figure 3).
 - o **Si on descend un gnomon le long d'un méridien, on peut observer que l'heure change** (le faire sur le globe).
 - o **MAIS si on descend le cadran équatorial le long d'un méridien, l'heure affichée reste la même.**
 - Cette descente le long d'un méridien peut mimer le changement des saisons, car la Terre n'est pas inclinée d'un même angle par rapport aux rayons solaires (plus grande inclinaison l'hiver). De ce fait, **un gnomon n'indique pas la même heure selon les saisons contrairement au cadran équatorial** (figure 4).

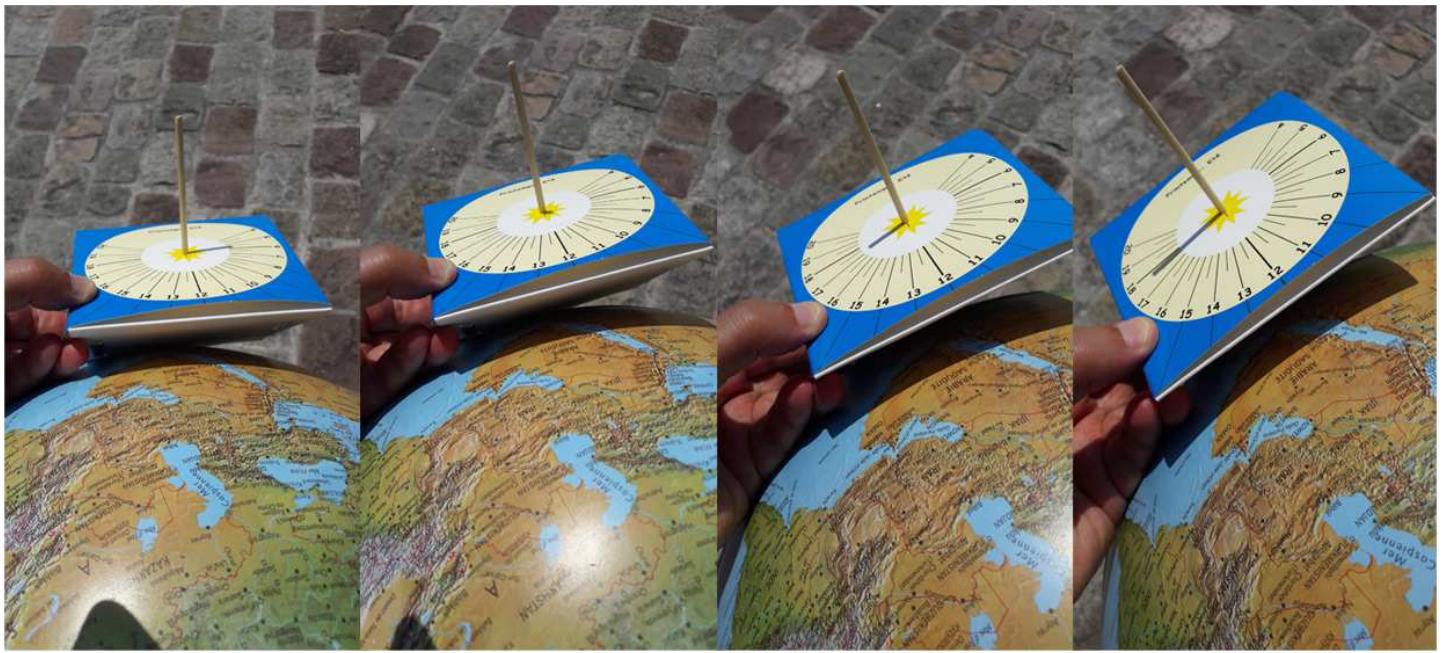


Figure 4 : si on simule un gnomon vers l'équateur (le style est face au Soleil, la table de lecture perpendiculaire au style) et que l'on fait tourner le globe, l'ombre du style s'allonge et diminue mais l'angle ne change pas.

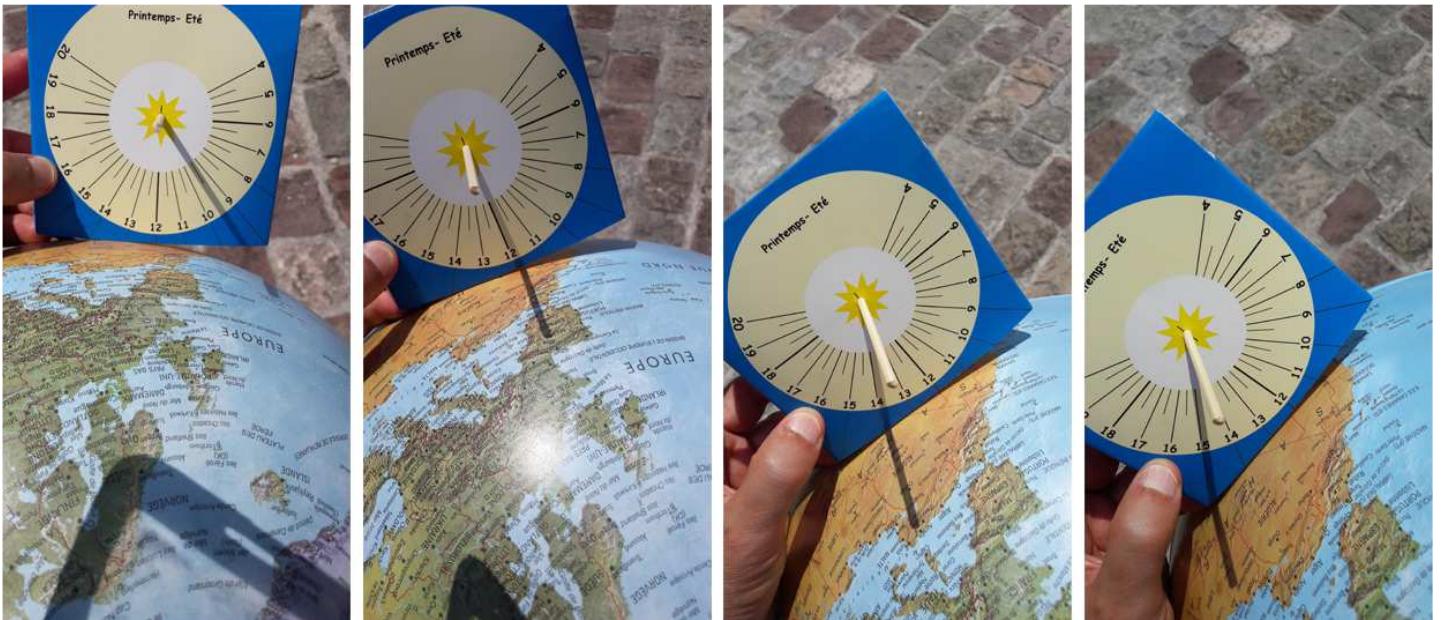


Figure 5 : en plaçant le cadran équatorial correctement (table parallèle à l'équateur, style parallèle à l'axe nord-sud), l'ombre du style tourne de 15° quand le globe tourne de 15°.

Une fois l'intérêt du cadran équatorial par rapport au gnomon démontré, on fait monter le cadran équatorial de la Cité par le public.

III. ORIENTER LE CADRAN EQUATORIAL

- Une fois plié, le cadran solaire de la Cité est approprié pour tout lieu situé à la latitude de Paris (49°N) (voir annexe 1 pour l'explication des angles)
 - Style pointe vers l'étoile polaire.
 - La table est parallèle à l'équateur.
 - Chaque heure est séparée de la précédente de 15°

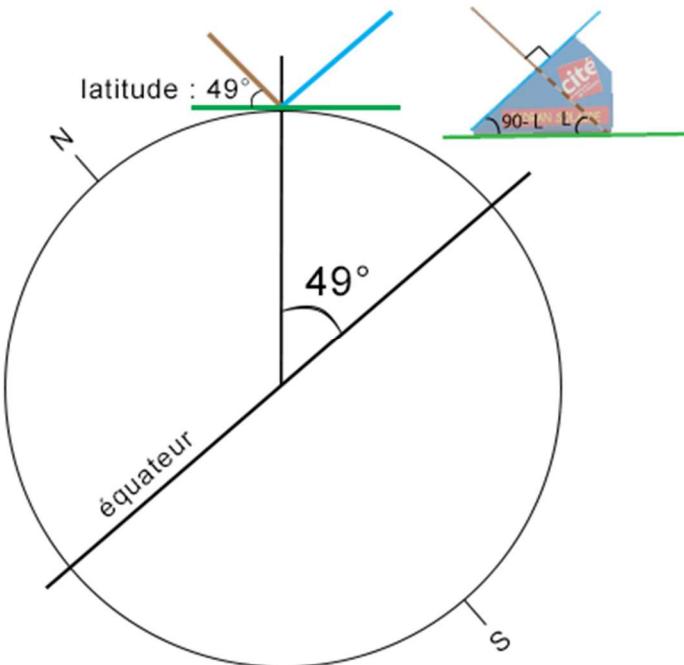


Figure 6 : une fois monté le cadran équatorial a un style dirigé vers l'étoile polaire et une table de lecture parallèle à l'équateur. Le style et la table forment un angle droit.

- Orientation du cadran solaire : trouver le sud !
 - On place le cadran de tel sorte que l'heure de la montre corresponde à ce qui est indiqué sur le cadran.
 - Mais : problème **heure d'hiver, heure d'été** -> on affine le placement du cadran solaire : l'heure solaire est décalée d'une heure en hiver, de deux heures en été.
 - **On peut s'arrêter là** : on pose le cadran au sol, on tourne le cadran jusqu'à ce que l'ombre soit placée sur la bonne heure solaire : **le style pointe vers le nord**. Quand on connaît l'heure, le cadran est une boussole.
 - On peut ajouter sur le cadran un disque avec les heures légales ; ce qui permet de lire directement les deux heures.
 - Voir en annexe comment trouver le Sud à l'aide d'un gnomon.

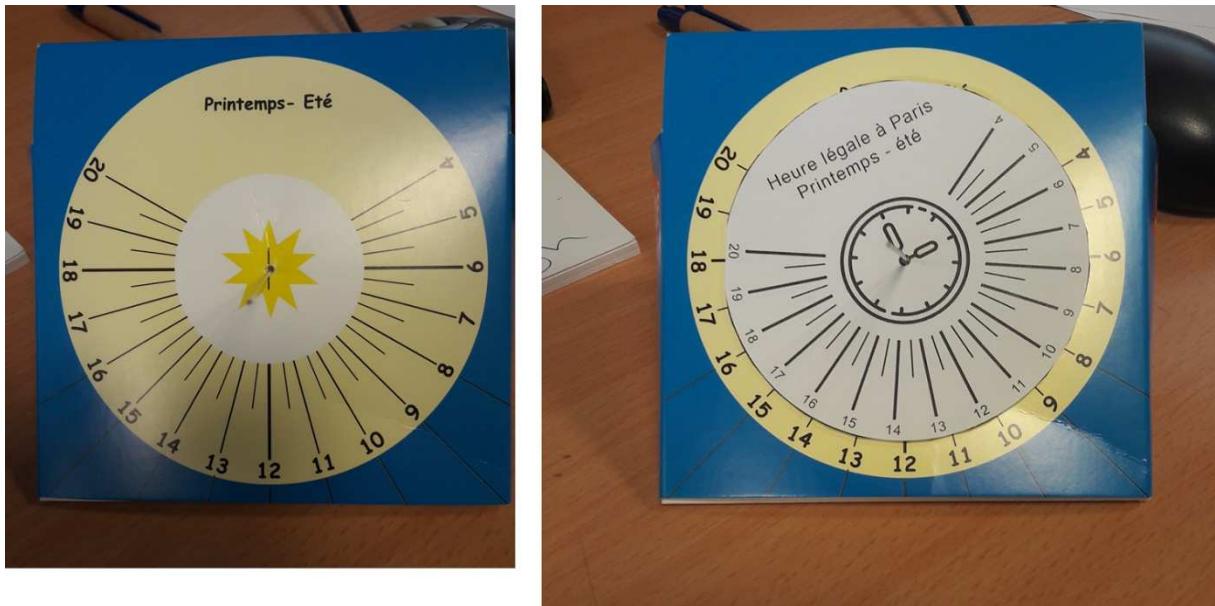


Figure 7 : à gauche cadran solaire. À droite, on a ajouté un disque pour lire directement l'heure légale sur le cadran. Ce disque est mobile.

- Pourquoi a-t-on deux faces sur le cadran : une pour le printemps et l'été, et une autre pour l'automne et l'hiver ?

Il ne faut pas démonter le cadran ! C'est juste qu'entre le 21 septembre et le 21 mars (l'automne et l'hiver) le Soleil reste bas et l'ombre sera visible sous la table de lecture.

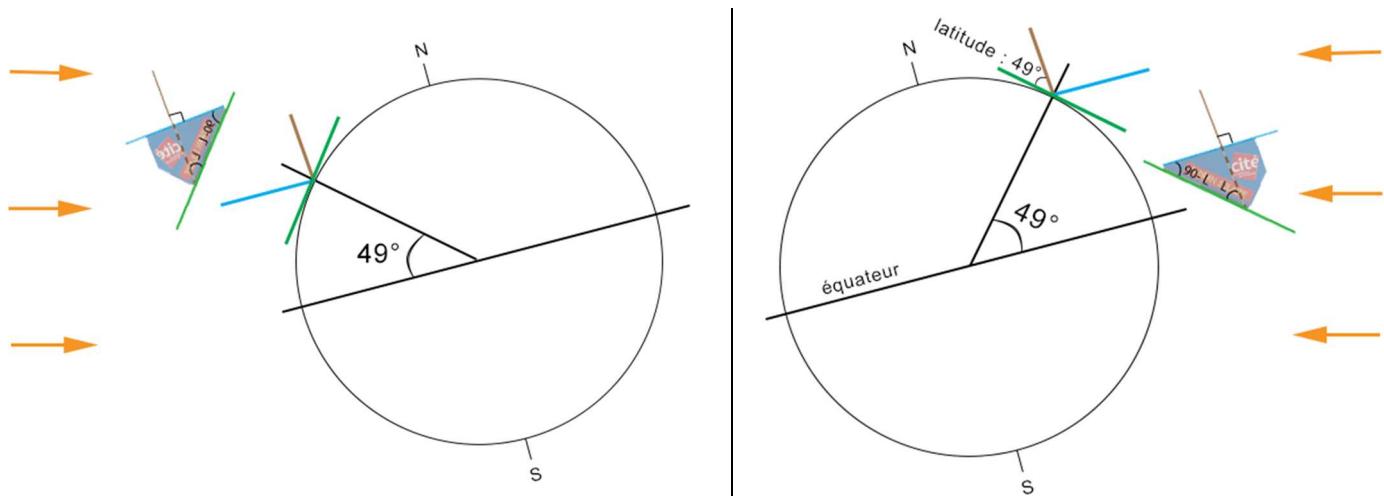
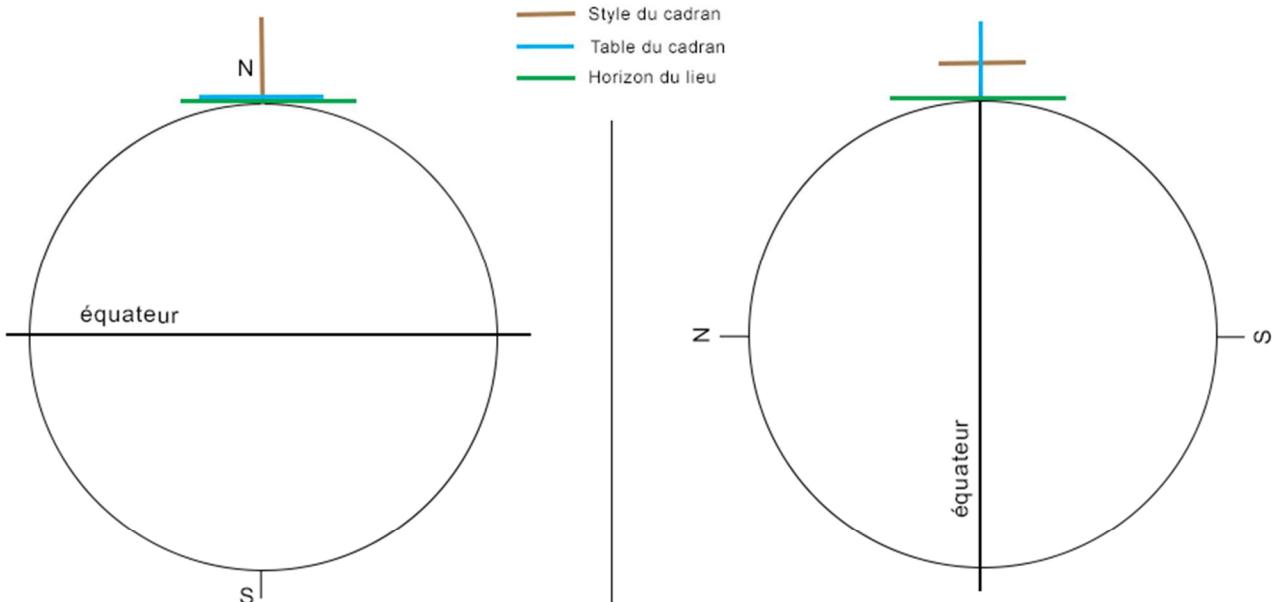


Figure 8 : à gauche, lecture de l'ombre sur la face supérieure de la table de lecture. À droite, en hiver, lecture sur la face inférieure.

- Faire deviner comment se présente un cadran équatorial à l'équateur et en différents points du globe :
 - **Pôle nord : le cadran équatorial est un gnomon :** bâton planté dans le sol et lecture sur le sol (c'est aussi un cadran horizontal)
 - **À l'équateur, le cadran équatorial est un cadran vertical :** la table de lecture est un mur, le style est parallèle au sol.



Cadran équatorial au pôle nord : simple gnomon, ou cadran horizontal.

Cadran équatorial à l'équateur : cadran vertical, la table de lecture est un mur face nord, face sud ; le style est parallèle au sol.

Figure 9 : un cadran équatorial au pôle nord et à l'équateur.

- **Pour aller plus loin :**

- **Correction due à la longitude de Paris** : Paris 2°E par rapport à Greenwich -> quand il est midi solaire à Paris, il n'est que 11h51 à Greenwich (Paris est à 2°38'61 E de longitude, donc décalage de temps : $60 \times 2.38^\circ / 15 = 9,5$ mn. On rappelle que 15° de longitude correspond à une heure de temps). D'où le fait que le midi solaire de Paris corresponde à 13h51 heure de Paris en été.
 - **En été la différence entre l'heure solaire et l'heure légale est de 1h51** (retrancher 1h51 à l'heure lue sur la montre pour avoir l'heure solaire).
 - **En hiver la différence est de 0h51** (retrancher 0h51 à l'heure lue sur la montre pour avoir l'heure solaire).
- **L'équation du temps** (voir détails en partie V): une fois les corrections d'heure légale et de longitude effectuées, il faut prendre en compte **l'équation du temps**. Les journées ne durent pratiquement jamais exactement 24h ; ce qui fait que le midi solaire se décale chaque jour de quelques secondes dans un sens puis dans l'autre. Le décalage le plus grand a lieu en novembre où il atteint 16 minutes. Voir les explications et les calculs à faire pour cette correction dans la partie V.

Le cadran équatorial comme outil pour dessiner un cadran vertical ou horizontal

IV. LE CADRAN EQUATORIAL COMME OUTIL POUR DESSINER UN CADRAN VERTICAL OU HORIZONTAL

Pour dessiner un cadran horizontal ou vertical, on part d'un cadran équatorial.

1. CADRAN HORIZONTAL

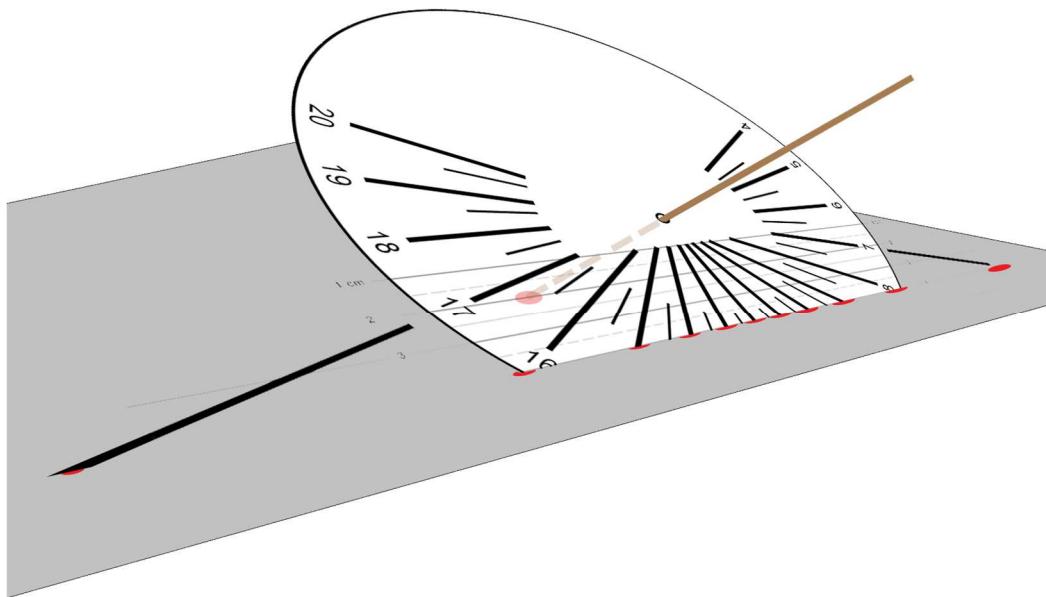


Figure 10 : construction d'un **cadran horizontal** (la table de lecture est posée sur le sol, elle est horizontale) : on part d'un cadran équatorial et on repère les intersections entre le cadran équatorial et le sol pour tracer les repères des heures.

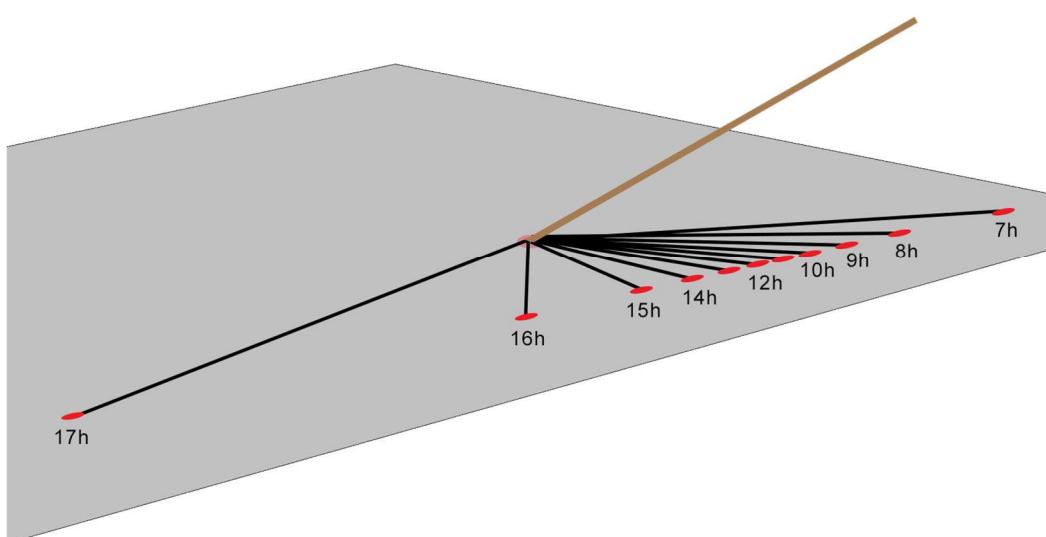
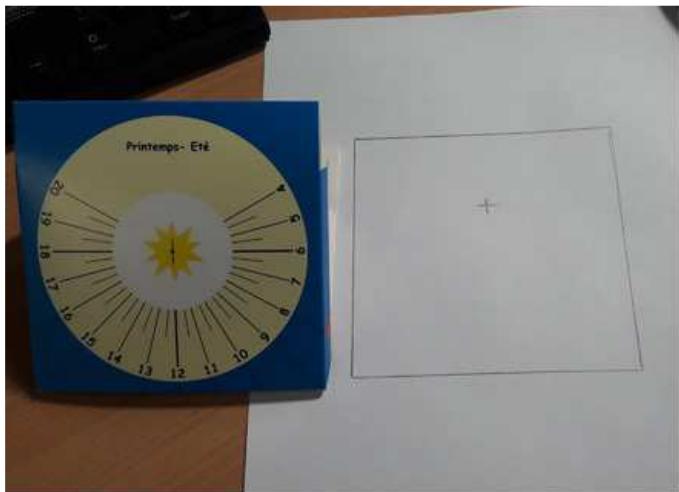
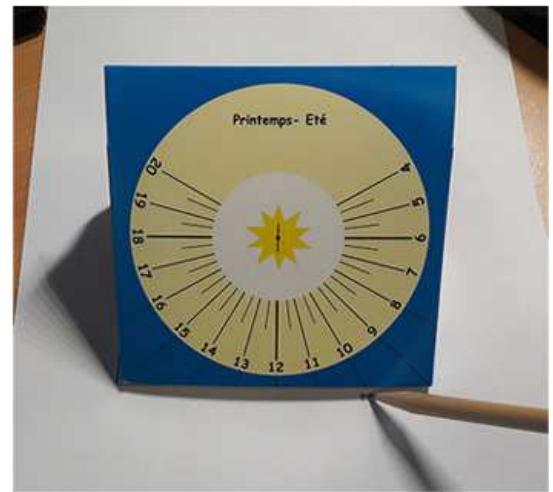


Figure 11 : on trace des droites entre le point d'implantation du style et les repères. Le style fait un angle égal à la latitude avec le sol.

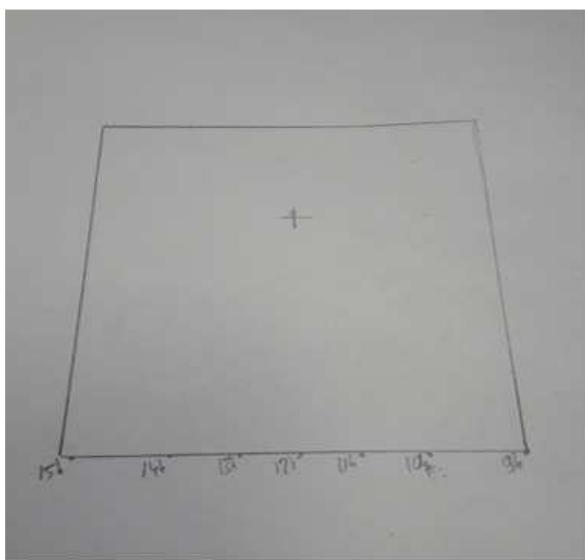
2. CAS PRATIQUE : TRAÇAGE D'UNE TABLE POUR UN CADRAN HORIZONTAL A PARTIR DU CADRAN DE LA CITE



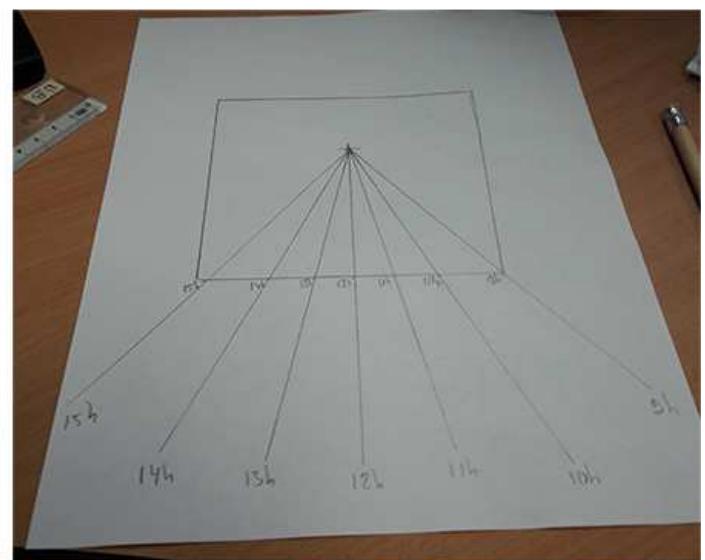
Sur une feuille blanche, on trace la base du cadran et le point de pose du style.



On pose le cadran sur le tracé, puis on met un repère sous chaque prolongement d'heure.



Les repères sont tous posés.



En joignant chaque repère au point de pose du style, on a les lignes d'heure. Plus on s'éloigne du midi solaire, plus l'angle entre les heures est grand.

Il faut ensuite ajouter le style qui doit faire un angle de 49° avec le sol. La feuille doit aussi être orientée nord-sud : la ligne de 12h pointe vers le nord.

3. CADRAN VERTICAL A PARTIR DU CADRAN EQUATORIAL

Pour le **cadran vertical**, on procède de la même façon, sauf que le style est planté dans un mur orienté plein sud. Le style fait toujours avec le sol un angle égal à la latitude. Il fait donc un angle de $90 - L$ avec le mur vertical.

88

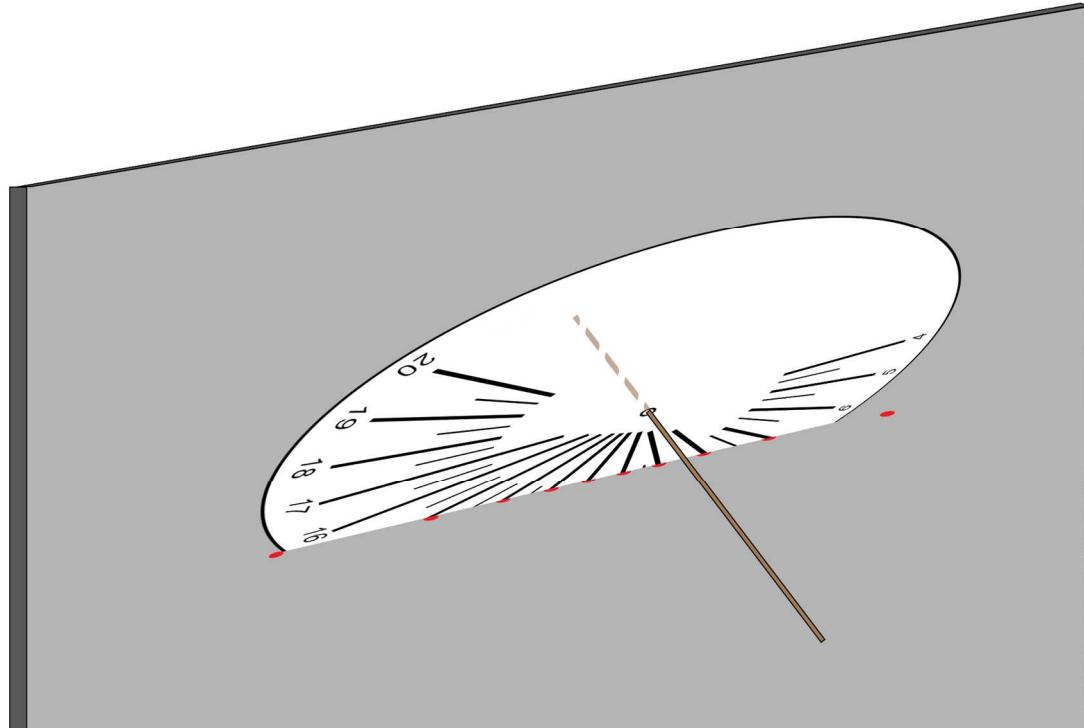


Figure 12 : construction d'un **cadran vertical** (la table de lecture est un mur orienté sud, elle est verticale) : on part d'un cadran équatorial et on repère les intersections entre le cadran équatorial et le mur pour tracer les repères des heures.

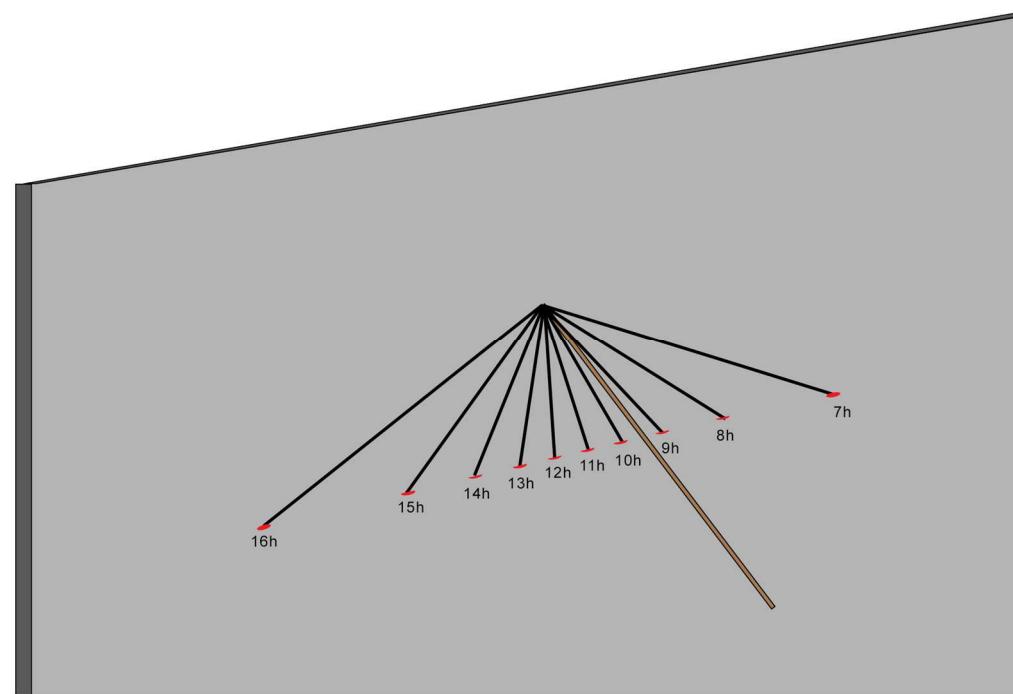


Figure 13 : on trace des droites entre le point d'implantation du style et les repères. Le style fait un angle égal à la latitude avec le sol, donc un angle de $90 - L$ avec le mur.

V. L'EQUATION DU TEMPS : CONSTATATIONS ET EXPLICATIONS

(cette partie est plutôt réservée aux experts)

1. CONSTATATIONS

Lorsque nous voulons passer de l'heure indiquée par le cadran solaire à l'heure légale, celle de la montre, nous faisons la correction due à l'heure de la saison (heure d'hiver ou heure d'été) et une légère correction due à la longitude (on retire 9,5 minutes pour passer de l'heure solaire à l'heure légale). Cependant, ce calcul n'est pas juste, car le midi solaire n'est jamais à la même heure légale, il change chaque jour, pouvant entraîner un décalage allant jusqu'à 16 minutes. Les variations de ce décalage forment l'échelle de temps.

Pour mettre en évidence et comprendre cette échelle de temps, partons de quelques constatations.

ii. OBSERVATIONS AU SOLSTICE DE DECEMBRE : « LES SOIRS RALLONGENT AVANT LES MATINS »

Autour du 21 décembre en France, nous sommes au solstice d'hiver : les jours rallongent. On pourrait penser qu'à partir de ce jour, le Soleil se lève de plus en plus tôt et se couche de plus en plus tard.

Or le Soleil commence à se coucher plus tard dès le 12 décembre, mais ne commence à se lever plus tôt qu'à partir du 2-3 janvier.

<u>9 décembre 2021</u> , jeudi	08:32	16:53
<u>10 décembre 2021</u> , vendredi	08:33	16:53
<u>11 décembre 2021</u> , samedi	08:34	16:53
<u>12 décembre 2021</u> , dimanche	08:35	16:53
<u>13 décembre 2021</u> , lundi	08:36	16:53
<u>14 décembre 2021</u> , mardi	08:37	16:53
<u>15 décembre 2021</u> , mercredi	08:38	16:53
<u>16 décembre 2021</u> , jeudi	08:38	16:53
<u>17 décembre 2021</u> , vendredi	08:39	16:53
<u>18 décembre 2021</u> , samedi	08:40	16:54
<u>19 décembre 2021</u> , dimanche	08:40	16:54
<u>20 décembre 2021</u> , lundi	08:41	16:55
<u>21 décembre 2021</u> , mardi	08:42	16:55
<u>22 décembre 2021</u> , mercredi	08:42	16:56
<u>23 décembre 2021</u> , jeudi	08:42	16:56
<u>24 décembre 2021</u> , vendredi	08:43	16:57
<u>25 décembre 2021</u> , samedi	08:43	16:57
<u>26 décembre 2021</u> , dimanche	08:43	16:58
<u>27 décembre 2021</u> , lundi	08:44	16:59
<u>28 décembre 2021</u> , mardi	08:44	17:00
<u>29 décembre 2021</u> , mercredi	08:44	17:01
<u>30 décembre 2021</u> , jeudi	08:44	17:01
<u>31 décembre 2021</u> , vendredi	08:44	17:02

Les soirs se rallongent : le Soleil se couche plus tard

Les matins continuent de se rallonger tout le mois de décembre : le Soleil se lève plus tard chaque matin (jusqu'au 2-3 janvier).

Figure 14 : Observation au solstice de décembre : les soirs rallongent avant les matins.

Mais la durée du jour respecte bien le solstice :

<u>9 décembre 2021, jeudi</u>	08:32	16:53	08:20
<u>10 décembre 2021, vendredi</u>	08:33	16:53	08:19
<u>11 décembre 2021, samedi</u>	08:34	16:53	08:18
<u>12 décembre 2021, dimanche</u>	08:35	16:53	08:17
<u>13 décembre 2021, lundi</u>	08:36	16:53	08:16
<u>14 décembre 2021, mardi</u>	08:37	16:53	08:15
<u>15 décembre 2021, mercredi</u>	08:38	16:53	08:15
<u>16 décembre 2021, jeudi</u>	08:38	16:53	08:14
<u>17 décembre 2021, vendredi</u>	08:39	16:53	08:14
<u>18 décembre 2021, samedi</u>	08:40	16:54	08:13
<u>19 décembre 2021, dimanche</u>	08:40	16:54	08:13
<u>20 décembre 2021, lundi</u>	08:41	16:55	08:13
<u>21 décembre 2021, mardi</u>	08:42	16:55	08:13
<u>22 décembre 2021, mercredi</u>	08:42	16:56	08:13
<u>23 décembre 2021, jeudi</u>	08:42	16:56	08:13
<u>24 décembre 2021, vendredi</u>	08:43	16:57	08:13
<u>25 décembre 2021, samedi</u>	08:43	16:57	08:14
<u>26 décembre 2021, dimanche</u>	08:43	16:58	08:14
<u>27 décembre 2021, lundi</u>	08:44	16:59	08:15
<u>28 décembre 2021, mardi</u>	08:44	17:00	08:15
<u>29 décembre 2021, mercredi</u>	08:44	17:01	08:16
<u>30 décembre 2021, jeudi</u>	08:44	17:01	08:17
<u>31 décembre 2021, vendredi</u>	08:44	17:02	08:18

La durée du jour
augmente bien à
partir du 21
décembre

Figure 15 : la durée du jour augmente bien à partir du 21 décembre.

Que se passe-t-il ?

Si on calcule le **milieu de la journée**, l'heure entre le lever et le coucher du Soleil, pour tout le mois de décembre, on observe qu'il se décale vers le soir :

Date	Milieu de la journée
01/12/21	12:38
02/12/21	12:38
03/12/21	12:39
04/12/21	12:39
05/12/21	12:39
06/12/21	12:40
07/12/21	12:40
08/12/21	12:41
09/12/21	12:41
10/12/21	12:42
11/12/21	12:42
12/12/21	12:43
13/12/21	12:43
14/12/21	12:44
15/12/21	12:44
16/12/21	12:44
17/12/21	12:45
18/12/21	12:46
19/12/21	12:46
20/12/21	12:47
21/12/21	12:47
22/12/21	12:48
23/12/21	12:48
24/12/21	12:49
25/12/21	12:49
26/12/21	12:50
27/12/21	12:50
28/12/21	12:51
29/12/21	12:51
30/12/21	12:51
31/12/21	12:52

Cela explique bien cette différence entre les matins et les soirs : comme la journée se décale vers le soir, il est normal que les soirs « rallongent » avant le matin.

iii. QUE SE PASSE-T-IL TOUT AU LONG DE L'ANNEE ?

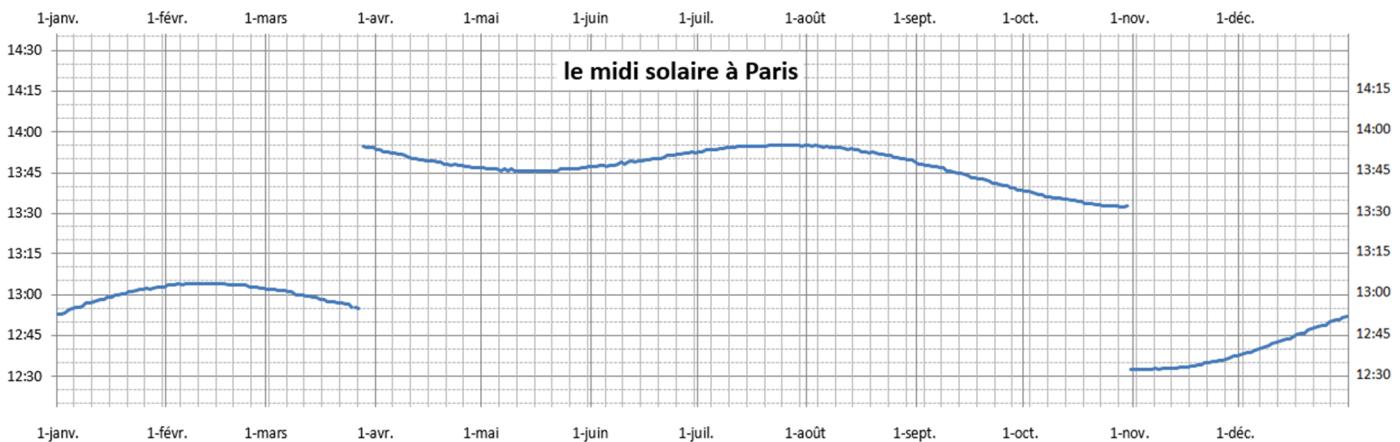


Figure 16 : heure du midi solaire à Paris en 2021, en tenant compte de l'heure d'hiver et de l'heure d'été. En fin de graphe, on retrouve bien les valeurs du tableau précédent : le 1^{er} décembre, le midi solaire est à 12h38 ; il se décale tout le long du mois pour atteindre 12h52 le 31 décembre. On remarque aussi que le midi solaire oscille autour de 12h51 pendant l'heure d'hiver et 13h51 pendant l'heure d'été, en raison de la position de Paris à 2° de longitude est (voir page 5). Document disponible sous forme plastifiée.

La figure 12 montre que le midi solaire oscille toute l'année autour de 11h51 temps universel. 11h51 en raison de la position de 2°E de longitude de Paris.

Le décalage le plus grand est autour du 1^{er} novembre où le midi solaire est à 11h32 TU, soit 12h32 heure légale (heure d'hiver).

Puis le midi solaire se décale vers le soir jusqu'au 10-12 février, pour atteindre 12h04 TU (13h04 heure légale).

Ensuite le midi solaire se décale vers le matin jusqu'à mi-mai pour atteindre 11h46 TU (13h46 heure légale ; heure d'été).

Dernière remontée vers le soir du midi solaire jusqu'à fin juillet pour atteindre 11h55 TU (13h55 heure légale).

Enfin, le midi solaire se décale vers le matin jusqu'à début novembre, pour atteindre à nouveau 11h32 TU.

La courbe du midi solaire est disponible comme outil de la médiation sous forme de page plastifiée.

Cette courbe montre aussi qu'il n'existe **pratiquement aucune journée solaire de 24 heures** pendant l'année : seulement 4, au moment où la dérivée de la courbe est égale à 0 : autour des 1^{er} novembre, 11 février, 15 mai et 30 juillet.

2. EXPLICATIONS

L'explication de l'équation du temps est assez compliquée et peut ne jamais être abordé dans l'atelier. Mais si vous êtes face à une personne enthousiaste ou très pointue sur le sujet, il vaut mieux y avoir réfléchi.

Pour comprendre, nous allons partir d'un modèle d'une planète qui connaît des journées **légales** de 24 heures et d'une année de 4 jours exacts.

i. PLANÈTE A ORBITE PARFAITEMENT CIRCULAIRE AVEC DES JOURNEES DE 24H ET UNE ANNEE DE 4 JOURS

Par commodité, on va décider que le début d'une journée et de l'année est le midi légal. On se trouve à la longitude indiquée par le marqueur rouge.

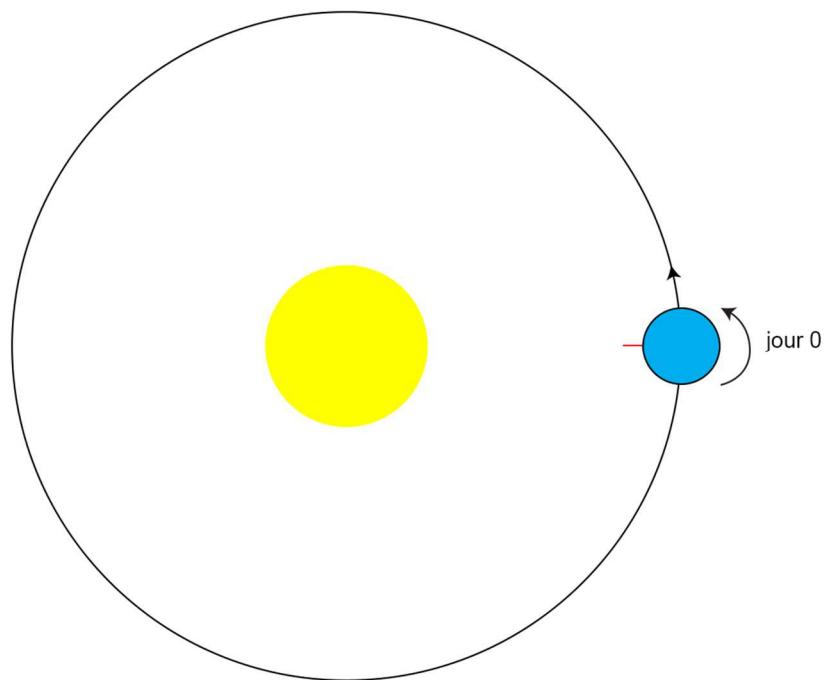


Figure 17 : orbite circulaire, sens de rotation et sens de révolution similaires : début de l'année au midi solaire et midi légal confondus pour la longitude marquée par le repère rouge..

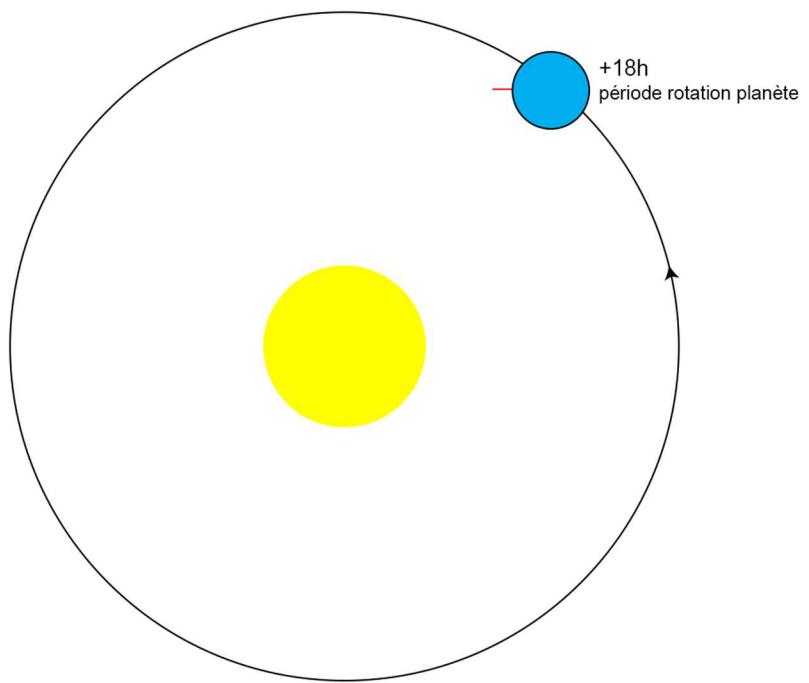


Figure 18 : pour avoir une année de 4 jours, avec des journées de 24h, la période de rotation de la planète doit être de 18h (3/4 de 24h).

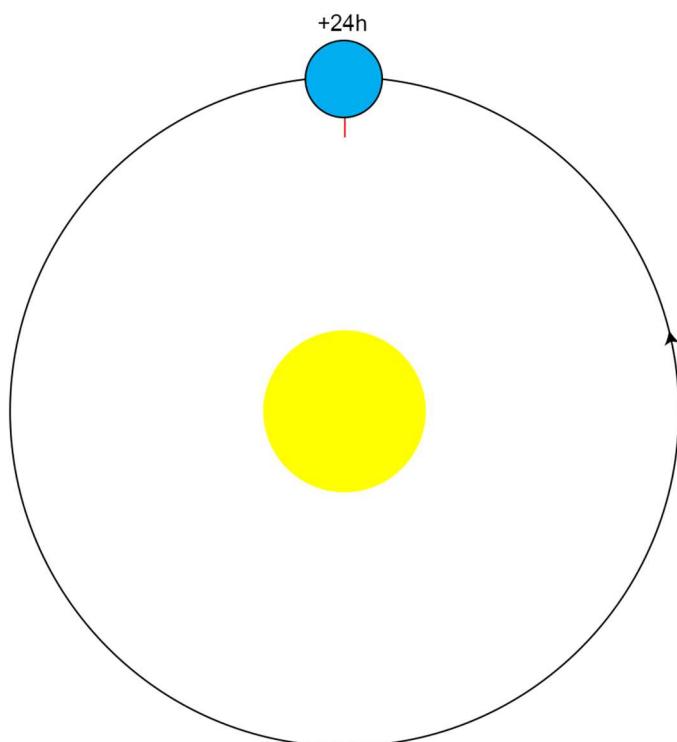


Figure 19 : après 24h, la planète a effectué une rotation plus un quart de tour : le midi solaire correspond bien au midi légal.

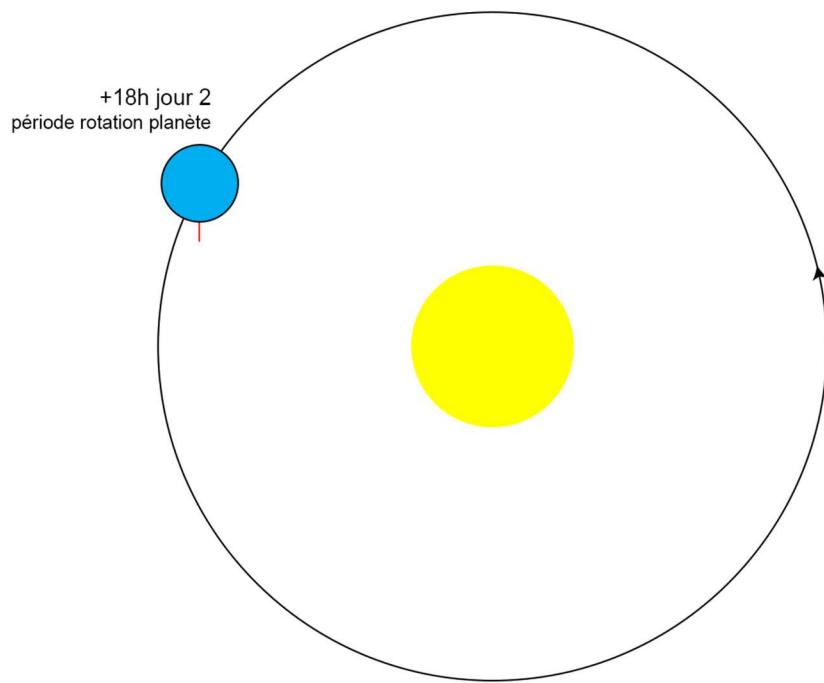


Figure 20 : 18h sont passées, la planète a effectué une nouvelle rotation.

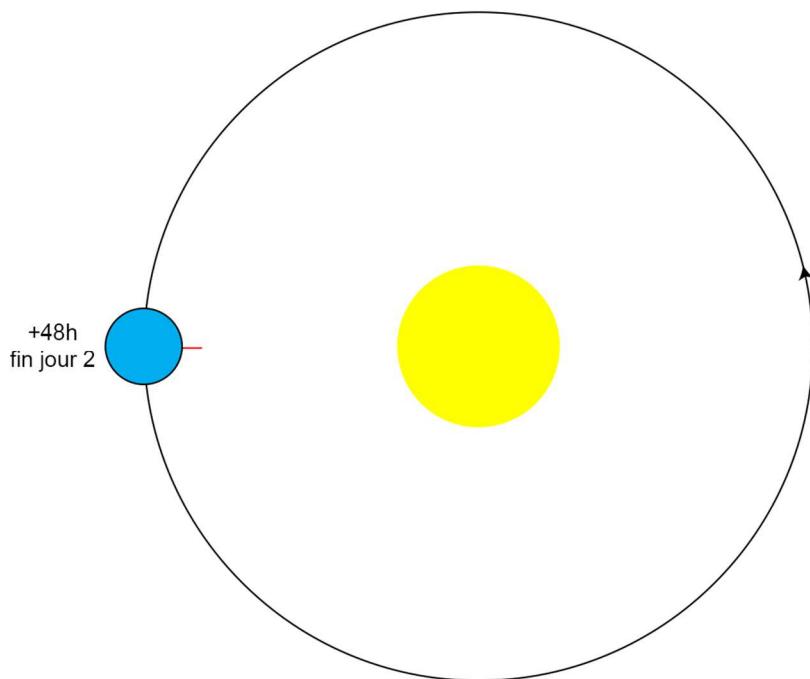


Figure 21 : 6h a passé ; la planète a effectué un quart de tour pour qu'à la fin de la deuxième journée le midi solaire et le midi légal soient en phase.

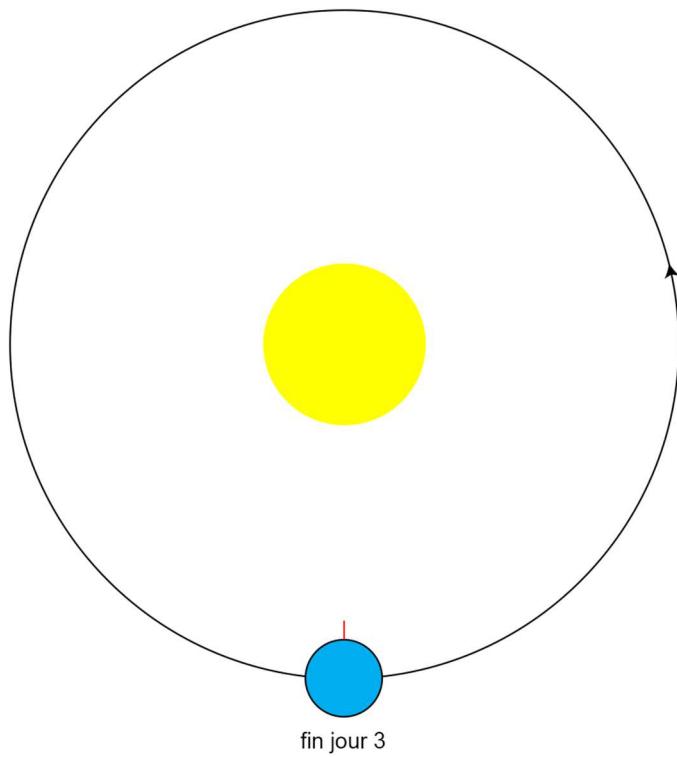


Figure 22 : 24h après, fin du troisième jour ; la planète a effectué son tour plus son quart de tour.

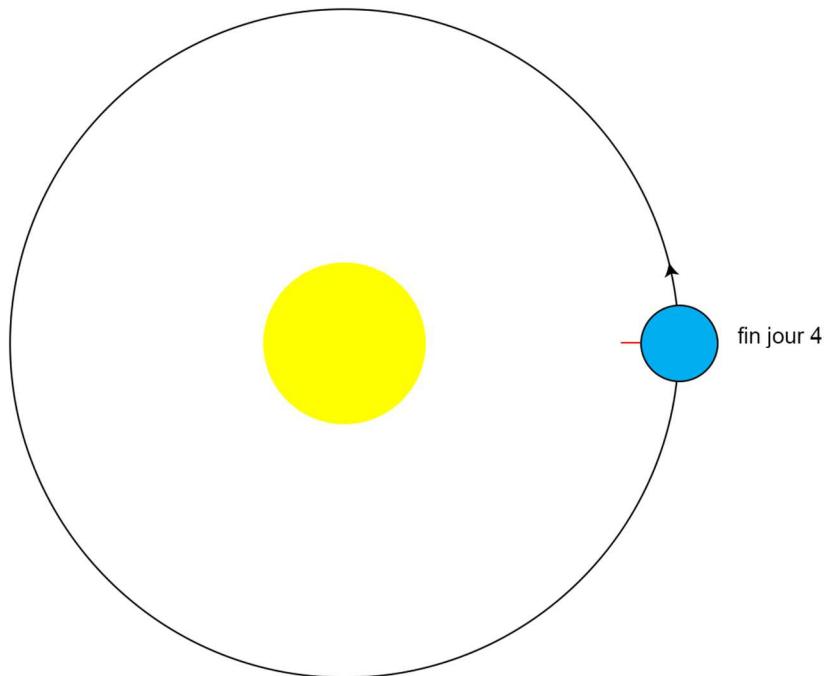


Figure 23 : c'est la fin de l'année, le quatrième jour ; le cycle peut recommencer.

Avec une orbite circulaire, les midis solaires et légaux sont confondus : toutes les journées solaires durent 24h exactement.

MAIS

Les orbites des planètes ne sont pas des cercles parfaits mais des ellipses.

ii. PLANÈTE A ORBITE ELLIPTIQUE AVEC DES JOURNEES DE 24H ET UNE ANNÉE DE 4 JOURS

Une planète qui gravite autour d'une étoile à orbite elliptique respecte la deuxième loi de Kepler : *Des aires égales sont balayées dans des temps égaux.*

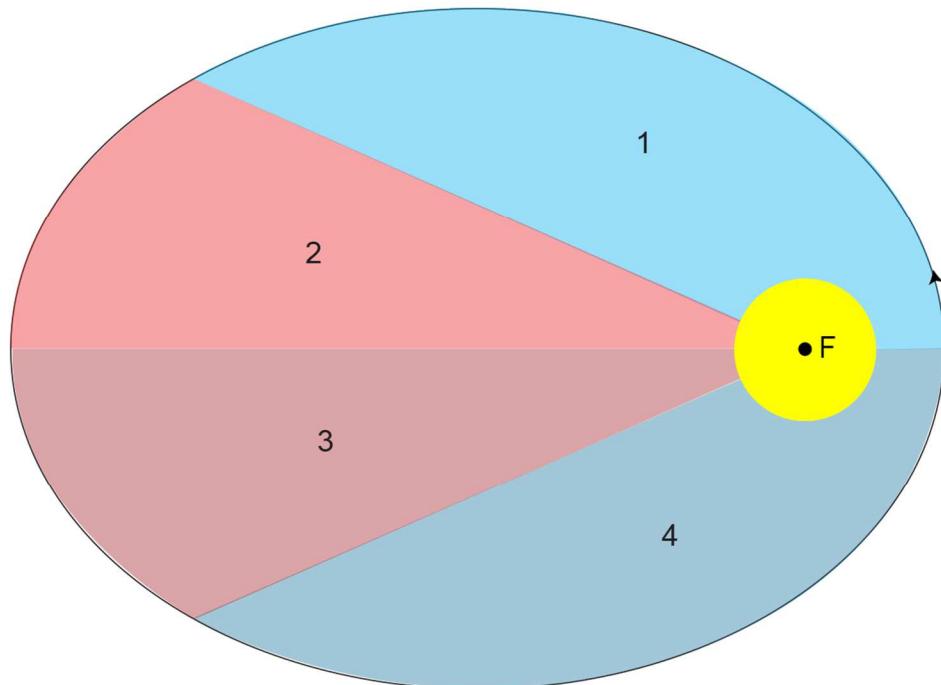


Figure 24 : orbite elliptique pour une planète autour d'une étoile placée à un foyer. La surface de l'ellipse est divisée en quatre aires de surfaces égales. Si la planète fait le tour de l'ellipse en 4 jours, elle doit se placer en fin d'une nouvelle zone à la fin de chaque jour.

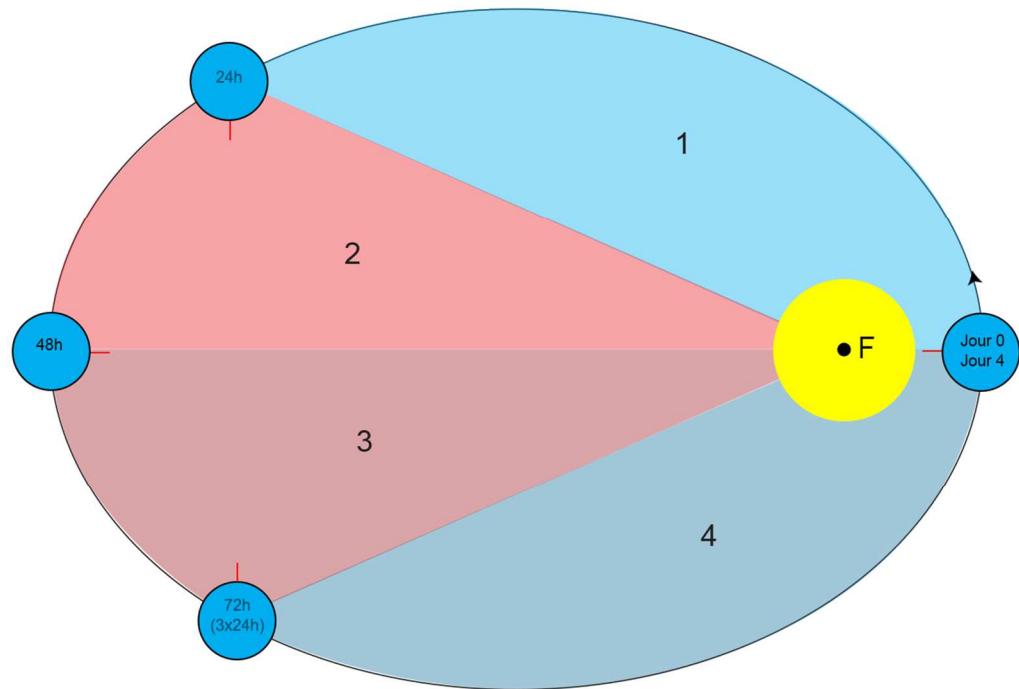


Figure 25 : placements de la planète à la fin de chaque 24h en respectant la loi des aires. Le premier et le quatrième jours, la planète va se déplacer beaucoup plus vite que les jours 2 et 3. Pour le jour 1 et le jour 3, le midi solaire ne correspond pas au midi légal.

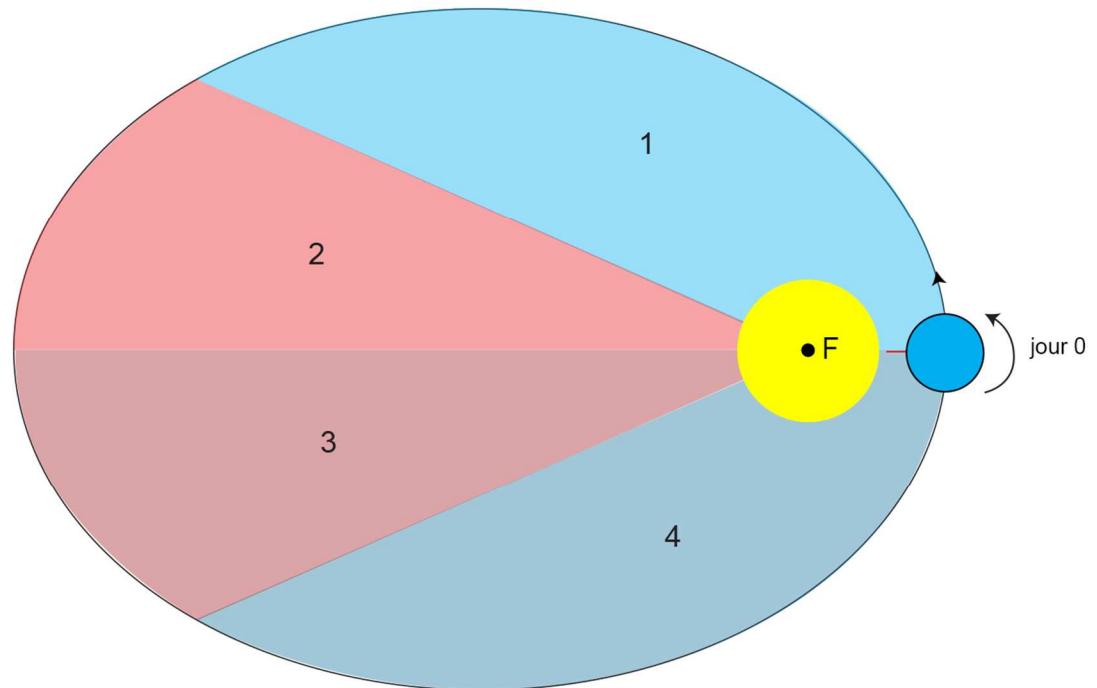


Figure 26 : départ de l'année : midi solaire et midi légal confondus au jour 0.

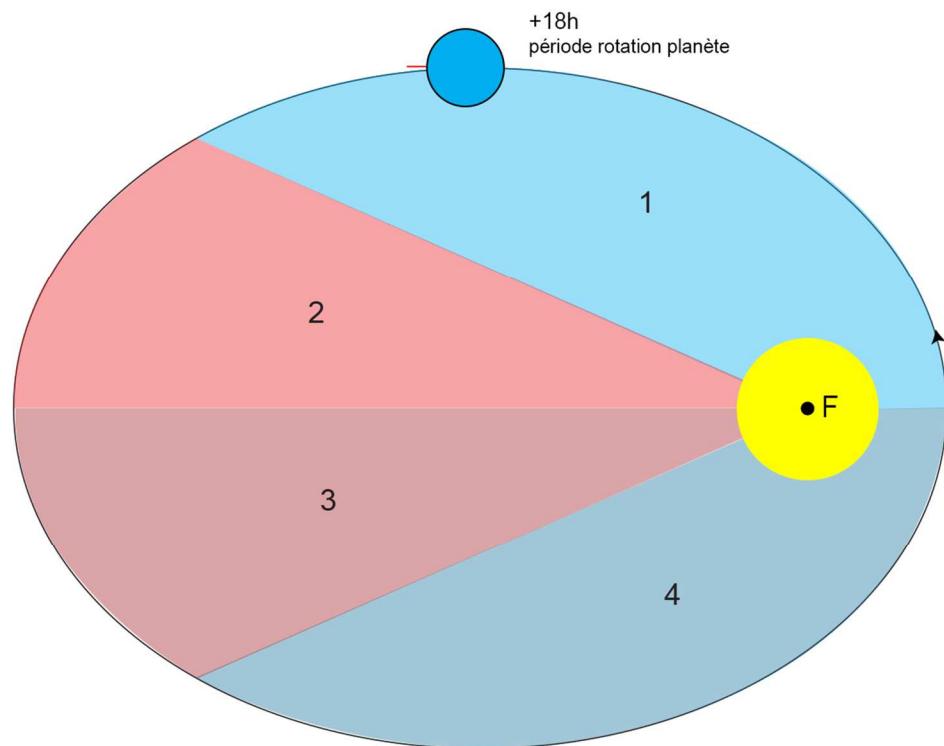


Figure 27 : après une rotation, la planète a parcouru une plus grande distance que si l'orbite était circulaire.

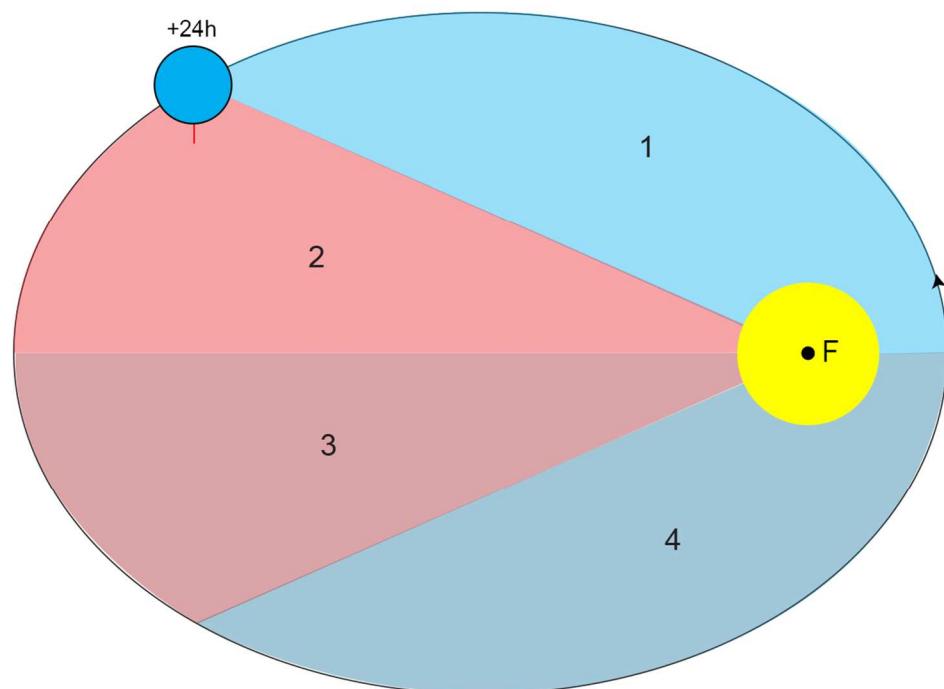


Figure 28 : après 24h, fin du jour 1 légal, pour le lieu pris en exemple, nous sommes bien avant le midi solaire.

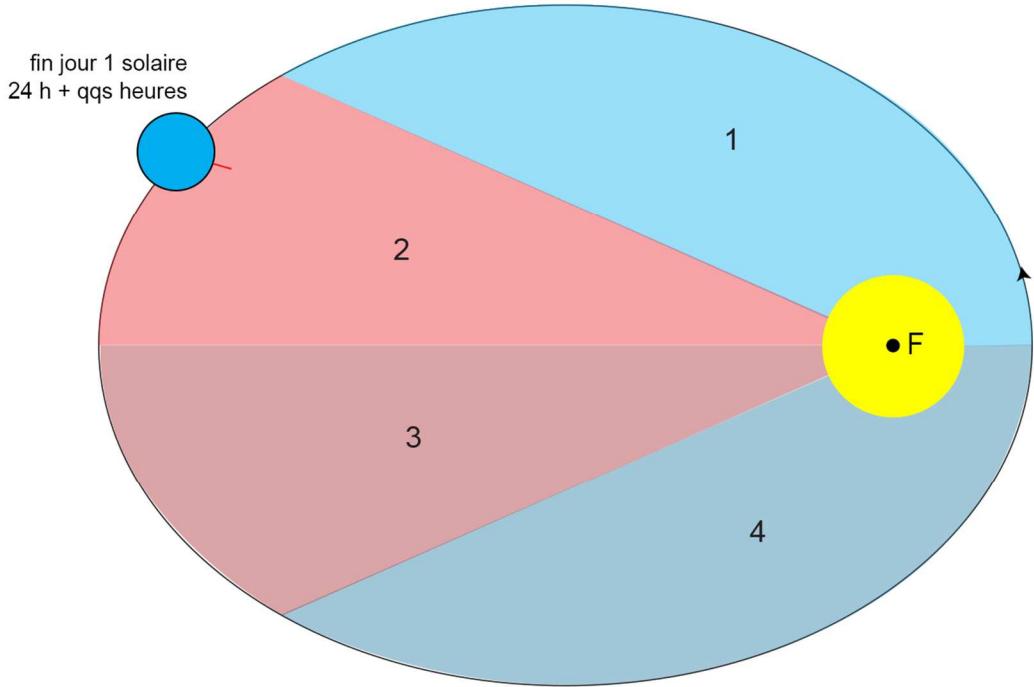


Figure 29 : midi solaire du lieu repéré ; il se produit bien après le midi légal.

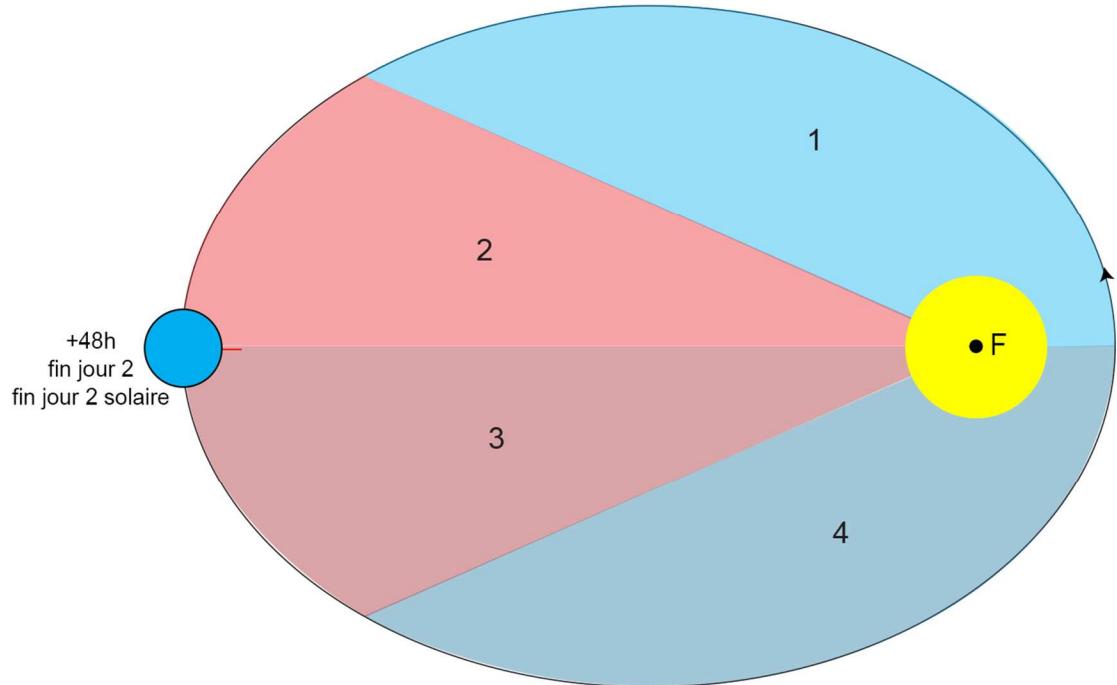


Figure 30 : comme la planète se déplace lentement sur son orbite, le retard du midi solaire se comble : après deux jours, les deux midis sont à nouveau confondus.

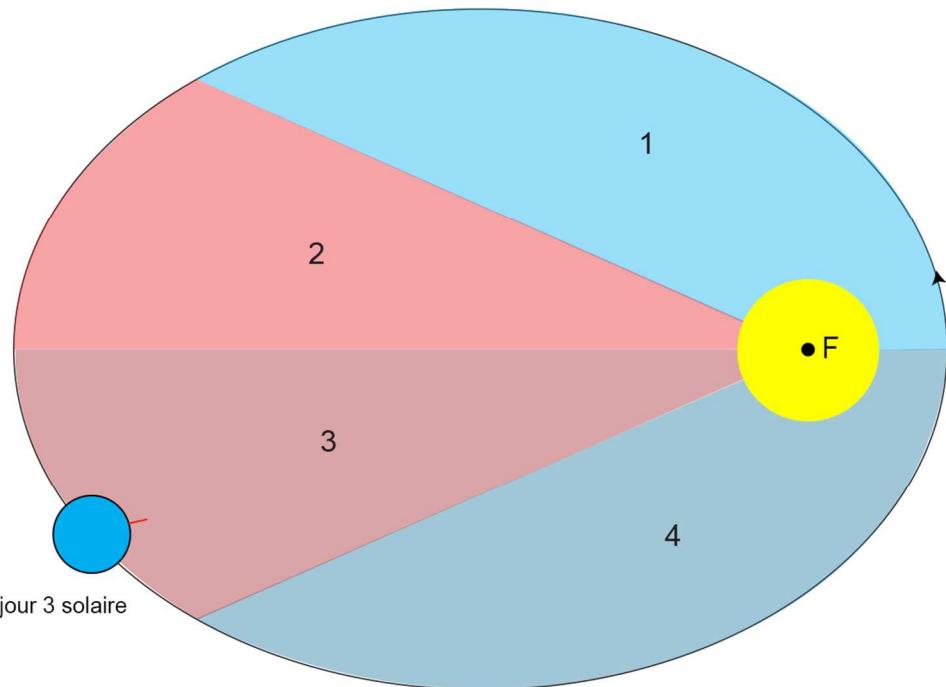


Figure 31 : lorsque la planète se déplace lentement sur son orbite, la journée solaire est plus courte que la journée légale. Le lieu se trouve à nouveau face au Soleil avant que la planète ne fasse son tour et quart. Dans l'exemple, elle a seulement effectué une rotation complète plus 1/8 de tour entre les deux midis solaires (comparer figures 26 et 27).

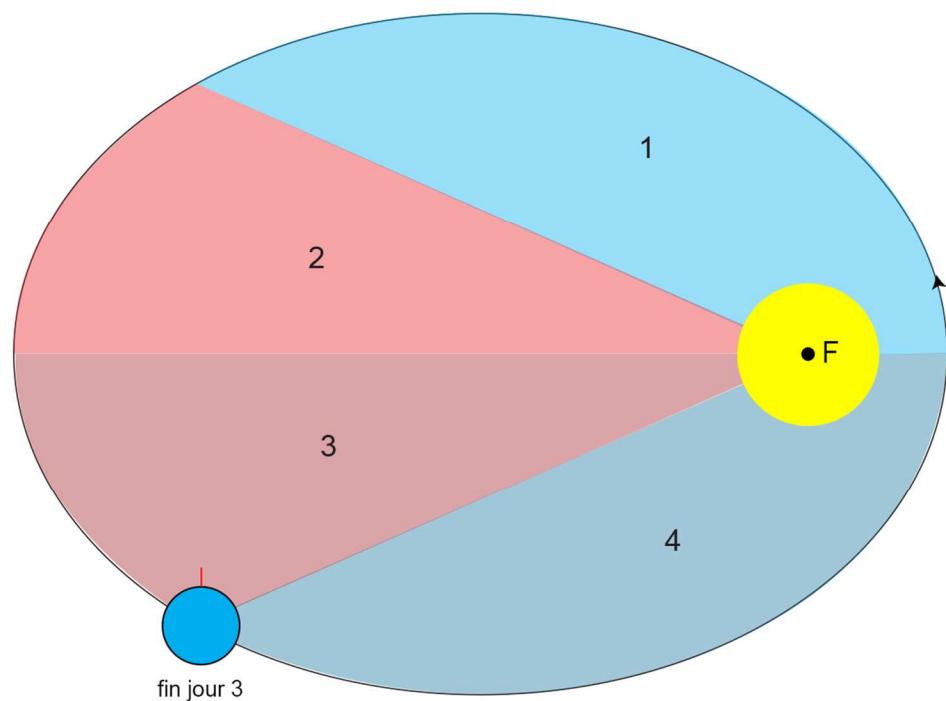


Figure 32 : fin du 3^e jour légal ; le midi solaire est déjà passé (figure précédente).

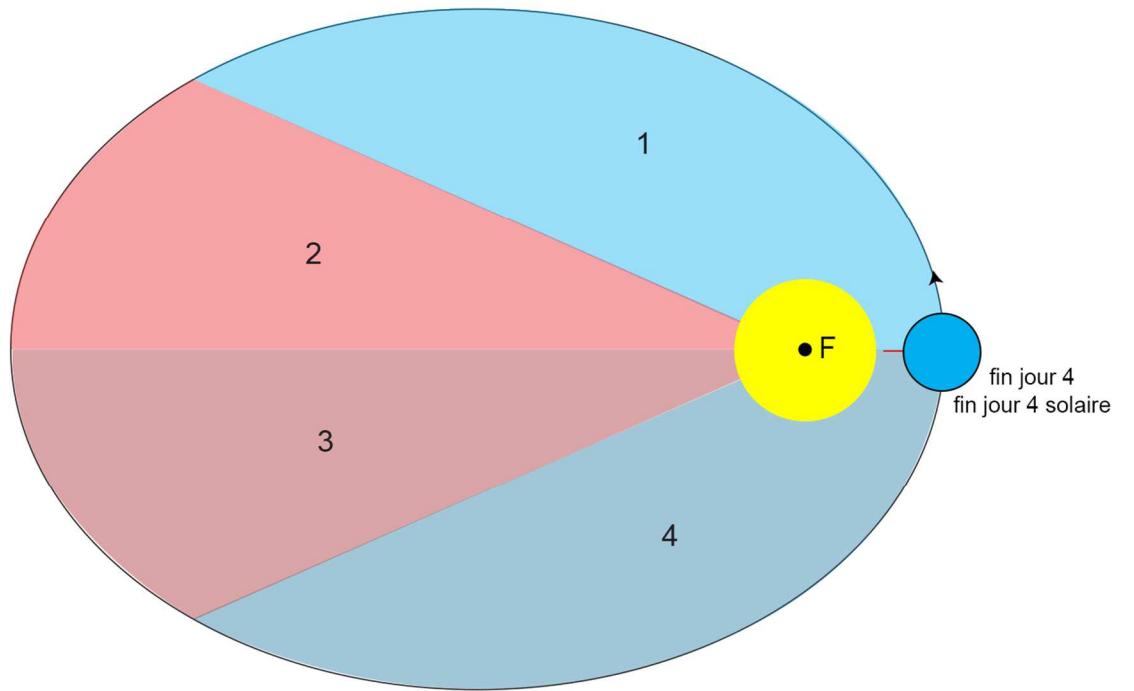


Figure 33 : fin de l'année et du 4^e jour, les midis solaire et légal sont à nouveau confondus.

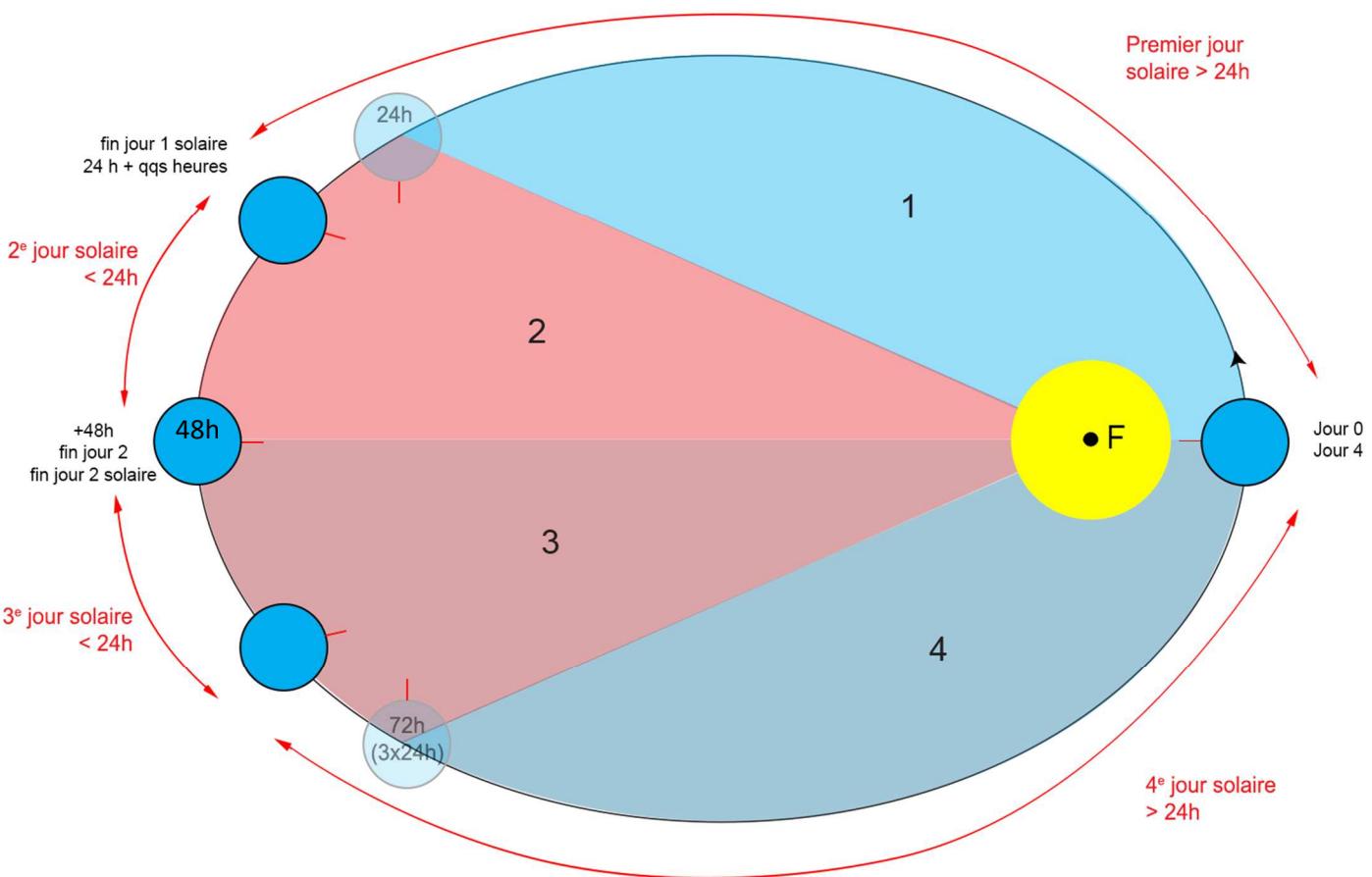


Figure 34 : récapitulation de l'année : il existe deux journées solaires longues et deux journées solaires courtes et aucune ne dure 24h. Pourtant, l'année a connu 4 journées légales de 24h.

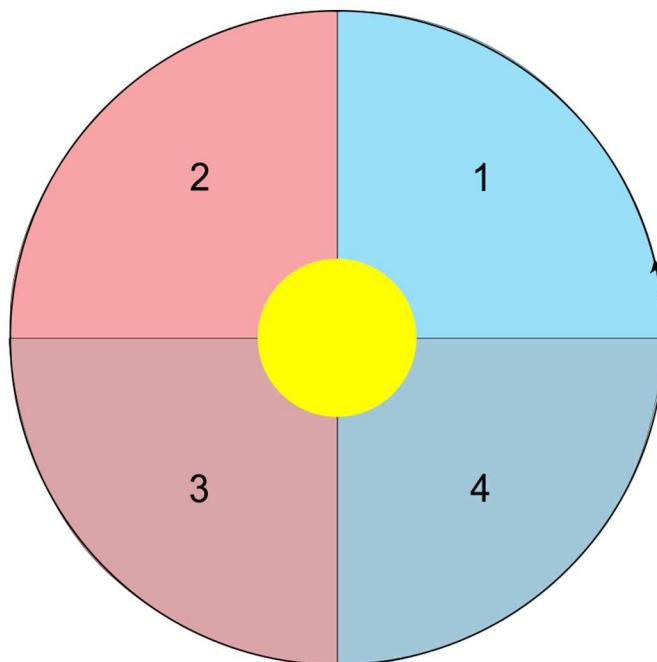


Figure 35 : une orbite circulaire est une ellipse particulière, avec des aires identiques pour des arcs de cercles identiques : la planète se déplace à la même vitesse tout au long de l'orbite.

iii. EXTRAPOLATION POUR LA TERRE

La Terre tourne autour du Soleil en 365,25 jours. Pour avoir une journée légale moyenne de 24h, sa période de rotation est donc de $24h - 1/365,25$ de 24h, soit 24h -3.94 min, soit 23h56mn4s environ.

La Terre a une orbite pratiquement circulaire ; les différences de vitesse de déplacement sont donc minimes, ce qui entraîne des temps de jours solaires peu différents, compris entre 23h59 et 24h01. Le décalage maximum entre le midi solaire et le midi légal ne dépasse pas non plus 28 minutes à Paris.

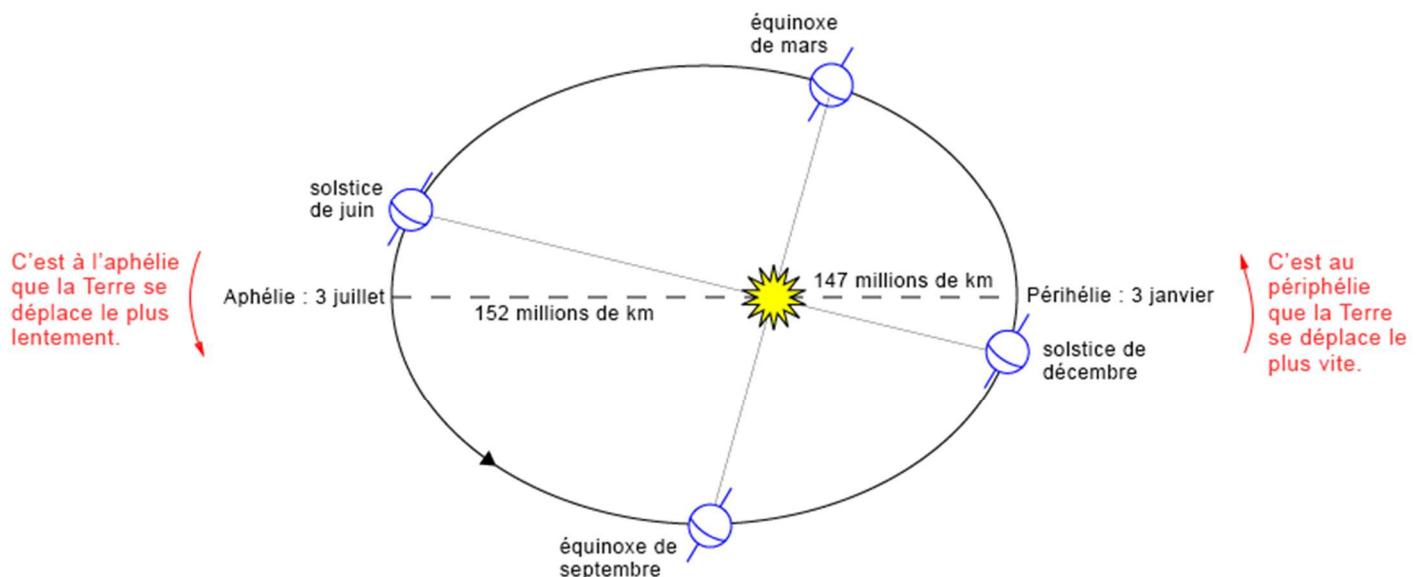


Figure 36 : orbite terrestre autour du Soleil. L'orbite est presque circulaire. La vitesse orbitale de la Terre varie entre 29,29 km/s et 30,29 km/s, soit un écart de 3%.

C'est lorsque la Terre est la plus proche du foyer de l'ellipse où se trouve le Soleil (lieu appelé périhélie) qu'elle se déplace le plus vite. Elle va ensuite ralentir jusqu'à atteindre l'aphélie (lieu le plus éloigné du foyer où se trouve le Soleil). À partir de l'aphélie, elle accélère jusqu'à atteindre le périhélie.

Quand la Terre se déplace plus vite, les jours solaires sont plus longs que les jours légaux, le midi solaire se décale donc vers le soir. Quand la Terre se déplace lentement, les jours solaires sont plus courts et le midi solaire se déplace vers le matin.

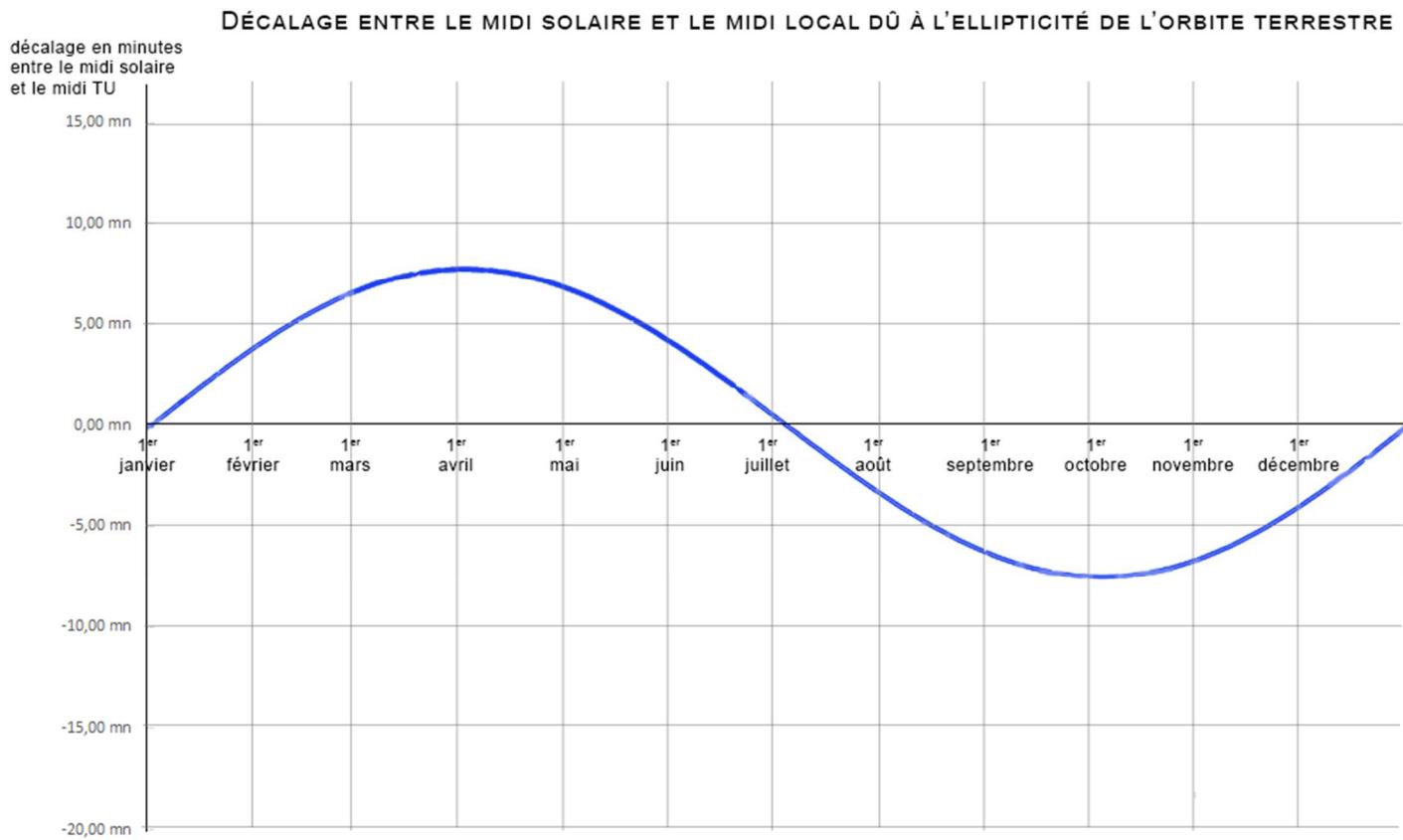


Figure 37 : décalage du midi solaire et du midi local dû à l'orbite terrestre elliptique. Les jours solaires sont plus longs que les jours légaux du 1^{er} octobre au 1^{er} avril, car la Terre est alors proche du périhélie. Les jours solaires sont plus courts que les jours légaux du 2-3 avril à début octobre car la Terre est alors vers l'aphélie.

Les variations de vitesse de la Terre sur son orbite ne suffisent pas à expliquer l'équation du temps. **Le fait que l'axe nord-sud la Terre soit inclinée de 23,6° entraîne aussi un décalage entre le jour solaire et le jour légal.** Ce décalage est une sinusoïdale régulière.

Explication : si la Terre n'était pas inclinée, le mouvement apparent du Soleil autour d'un point fixe sur la Terre serait un cercle parfait. Il n'y aurait pas de décalage entre le jour solaire et le jour légal. Comme la Terre est inclinée, le mouvement apparent du Soleil est une ellipse ; ce qui entraîne ce décalage. Ce décalage est une courbe sinusoïdale qui passe par une valeur nulle aux équinoxes et solstices.

Détails ici : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_du_temps#Influence_de_l'obliquit%C3%A9_de_la_Terre

DÉCALAGE ENTRE LE MIDI SOLAIRE ET LE MIDI LOCAL DÛ À L'OBLIQUITÉ DE LA TERRE

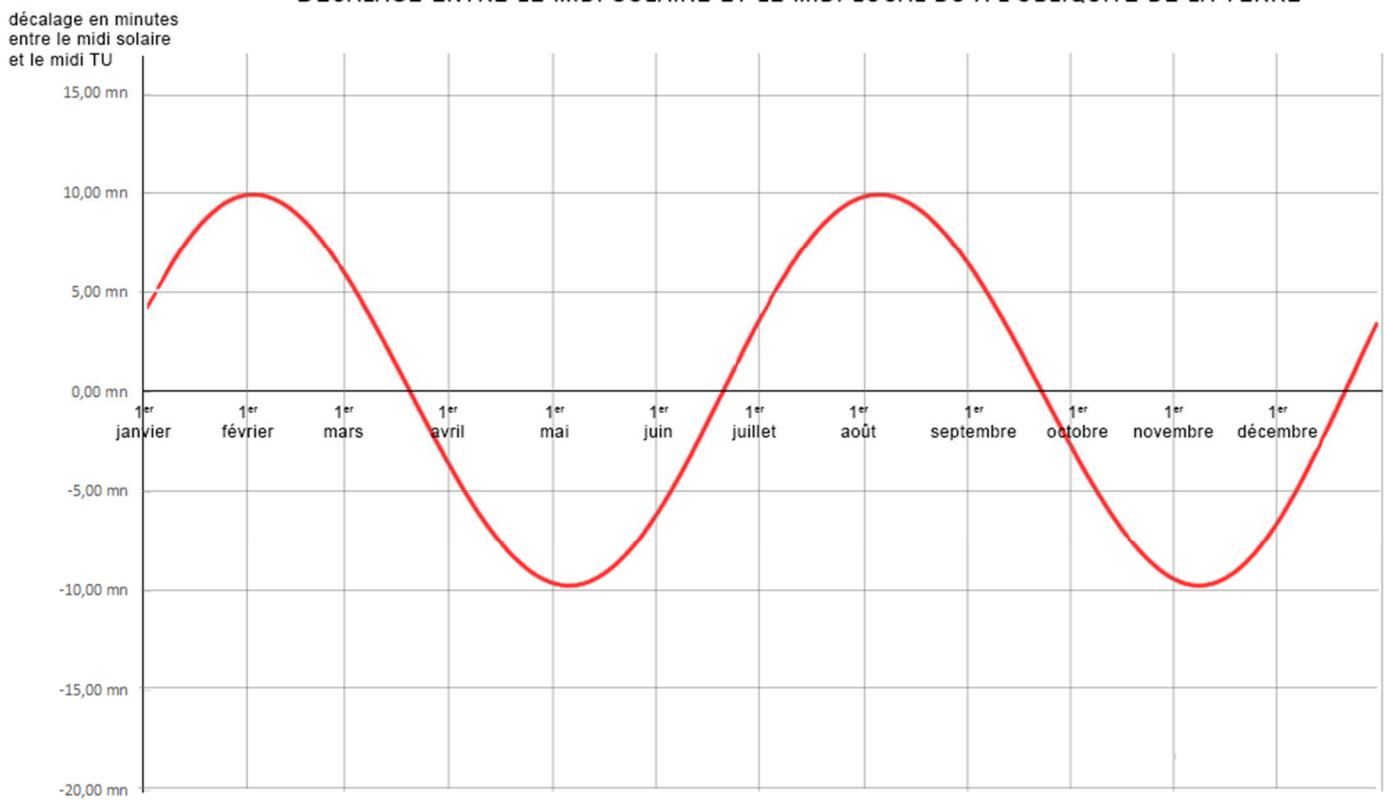


Figure 38 : décalage entre le midi solaire et le midi légal dû à l'obliquité de la Terre. C'est une sinusoïdale régulière, dont les valeurs s'annulent aux solstices et aux équinoxes.

L'équation du temps finale est la somme de ces deux décalages vus précédemment.

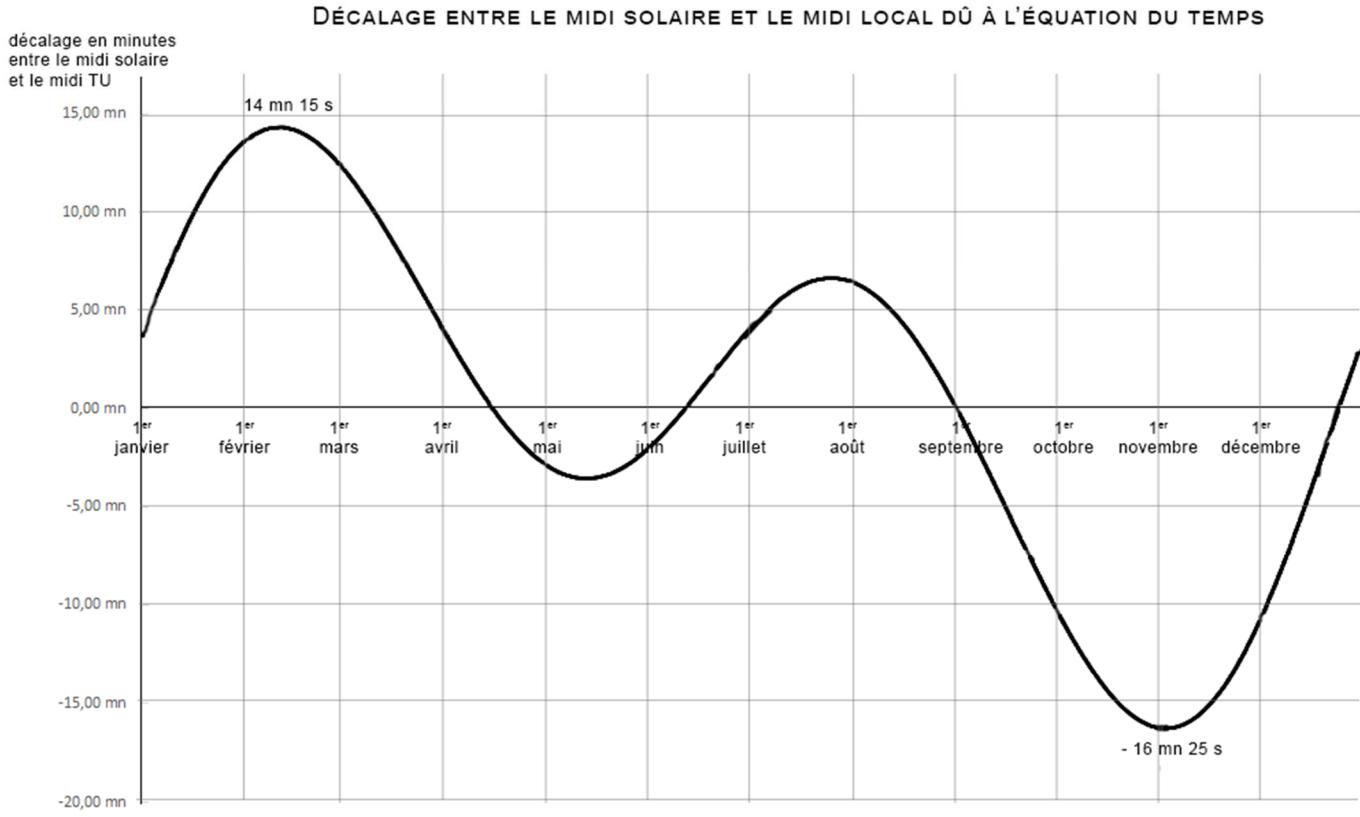


Figure 39 : équation du temps finale, qui est la combinaison des deux équations précédentes. Les deux maximums ont lieu début février, où il faut ajouter 14 mn 15 s à l'heure solaire pour obtenir l'heure légale, et début novembre, où il faut retrancher 16 mn 25 s à l'heure solaire pour obtenir l'heure légale.

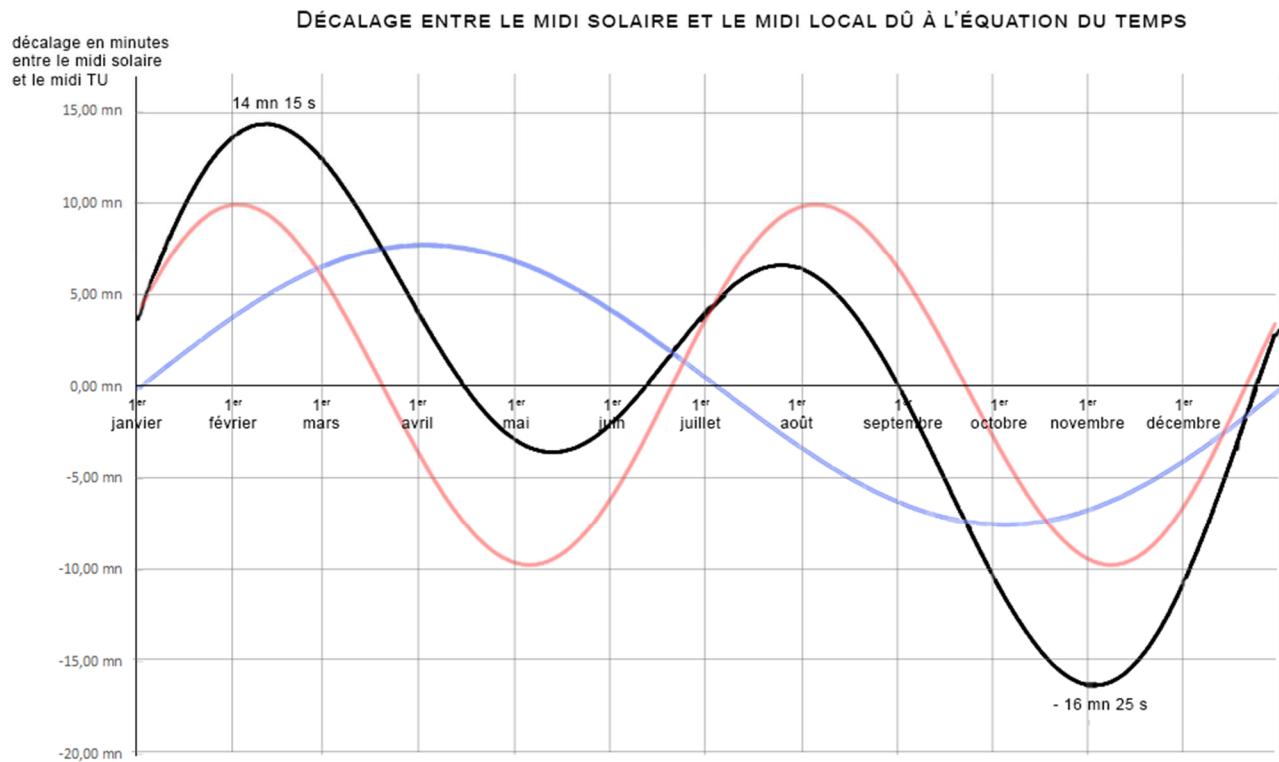


Figure 40 : équation du temps avec ses deux composantes.

VI. EXEMPLES DE CALCUL

Passer de l'heure solaire à l'heure légale, et vice versa, est source d'erreurs car il n'est pas facile de se retrouver avec les signes : que soustraire, qu'ajouter ? Il est bon d'y réfléchir avant de se retrouver face au public car on peut s'embrouiller facilement.

1. DE L'HEURE SOLAIRE A L'HEURE LEGALE EN FRANCE METROPOLITAINE

On lit une heure sur le cadran solaire : que fait-on ?

i. CORRECTION HEURE D'HIVER HEURE D'ETE

Si on est à l'heure d'hiver, on AJOUTE une heure ;

Si on est à l'heure d'été, on AJOUTE deux heures.

On peut s'arrêter là, selon le public. C'est déjà assez précis pour notre cadran.

ii. CORRECTION LONGITUDE

Si on est en longitude EST (est d'Angoulême) : on RETRANCHE 4 minutes par degré de longitude est.

Si on est en longitude OUEST (ouest d'Angoulême) ; on AJOUTE 4 minutes par degré de longitude ouest.

iii. CORRECTION EQUATION DU TEMPS

L'équation du temps est indiquée dans le sens Soleil vrai -> heure légale. En gros si la valeur de l'équation du temps est positive, on AJOUTE la valeur à l'heure solaire.

En gros, on RESPECTE LE SIGNE indiqué par l'équation du temps.

Passer du cadran solaire à la montre

On lit une heure sur le cadran solaire, on veut connaître l'heure sur la montre

Heure d'hiver	+1
Heure d'été	+2
Longitude EST	- 4mn par degré
Longitude OUEST	+ 4 mn par degré
Équation du temps	On respecte le signe

iv. EXEMPLES

- À Paris, le cadran solaire indique 14h30 le 3 août :

- o i. On est en heure d'été, on ajoute deux heures : 16h30
- o ii. Paris est à $2,38^\circ$ de longitude est : on retranche $4 \times 2.38 = 9,52$ minutes, soit 9 mn 30 s environ. On est donc à 16h20mn30s.
- o iii. Le 3 août, l'équation du temps indique une valeur de 5 mn environ (voir le graphe de V iii) : on respecte le signe, on ajoute donc 5 mn. Résultat final : 16h25mn30s
- o Conclusion : après la correction due à l'heure d'été, on obtient une heure légale de **16h30** pour une lecture sur le cadran de 14h30. Avec les **autres corrections**, on obtient une heure légale de **16h25mn30s**. La **correction due à l'heure d'été est suffisante** vue la précision de notre cadran.

- À Strasbourg, le cadran solaire indique **14h30 le 3 août** :
 - o i. On est en heure d'été, on ajoute deux heures : 16h30
 - o ii. Strasbourg est à $7,76^\circ$ de longitude est : on retranche $4 \times 7.76 = 31,04$ minutes, soit 31 mn environ. On est donc à 15h59mn.
 - o iii. Le 3 août, l'équation du temps indique une valeur de 5 mn environ (voir le graphe de V iii) : on respecte le signe, on ajoute donc 5 mn. Résultat final : 16h04mn.
 - o Conclusion : après la correction due à l'**heure d'été**, on obtient une heure légale de **16h30** pour une lecture sur le cadran de 14h30. Avec les **autres corrections**, on obtient une heure légale de **16h04mn**. Les corrections dues à l'**heure d'été et à la longitude sont intéressantes à prendre en compte pour Strasbourg**.

- À Brest, le cadran solaire indique **14h30 le 3 août** :
 - o i. On est en heure d'été, on ajoute deux heures : 16h30
 - o ii. Brest est à $4,48^\circ$ de longitude OUEST : on ajoute $4 \times 4.48 = 17,92$ minutes, soit 18 mn environ. On est donc à 16h48.
 - o iii. Le 3 août, l'équation du temps indique une valeur de 5 mn environ (voir le graphe de V iii) : on respecte le signe, on ajoute donc 5 mn. Résultat final : 16h53s
 - o Conclusion : après la correction due à l'**heure d'été**, on obtient une heure légale de **16h30** pour une lecture sur le cadran de 14h30. Avec les **autres corrections**, on obtient une heure légale de **16h53**. Comme les trois corrections s'ajoutent, on peut les prendre toutes en considération.

2. DE L'HEURE LEGALE A L'HEURE SOLAIRE EN FRANCE METROPOLITAINE

Comment passe-ton de l'heure légale à l'heure à lire sur le cadran solaire (pour l'orienter, par exemple) ?

i. CORRECTION HEURE D'HIVER HEURE D'ETE

Si on est à l'heure d'hiver, on RETRANCHE une heure ;

Si on est à l'heure d'été, on RETRANCHE deux heures.

On peut s'arrêter là, selon le public. C'est déjà assez précis pour notre cadran.

ii. CORRECTION LONGITUDE

Si on est en longitude EST (est d'Angoulême) : on AJOUTE 4 minutes par degré de longitude est.

Si on est en longitude OUEST (ouest d'Angoulême) ; on RETRANCHE 4 minutes par degré de longitude ouest.

iii. CORRECTION EQUATION DU TEMPS

L'équation du temps est indiquée dans le sens Soleil vrai -> heure légale. Il faut donc S'OPPOSER AU SIGNE pour l'équation du temps.

Passer de l'heure légale au cadran solaire

On lit une heure sur la montre, on veut connaître l'heure à lire sur le cadran solaire

Heure d'hiver	-1
Heure d'été	-2
Longitude EST	+ 4mn par degré
Longitude OUEST	- 4 mn par degré
Équation du temps	On utilise le signe opposé

iv. EXEMPLES

- **À Paris, il est 15h30 à la montre le 1^{er} novembre, quelle heure devrait indiquer le cadran solaire ?**
 - o i. On est en heure d'hiver, on retranche une heure : 14h30
 - o ii. Paris est à 2,38° de longitude est : on ajoute $4 \times 2.38 = 9,52$ minutes, soit 9 mn 30 s environ. On est donc à 14h39mn30s.
 - o iii. Le 1^{er} novembre, l'équation du temps indique une valeur de **moins 16mn 25 s** (voir le graphe de V iii) : on prend le signe opposé, on ajoute donc 16,5 mn. Résultat final : 14h56mn
 - o **Conclusion** : après la correction due à **l'heure d'hiver**, on obtient une heure solaire de **14h30** pour une lecture légale de 15h30. Avec les **autres corrections**, on obtient une heure solaire de **14h56**. En novembre, qui est un maximum de décalage dû à l'équation du temps, il est bon de prendre en compte la correction de l'équation du temps, ajoutée à celle due à la longitude.
- **À Strasbourg, il est 15h30 à la montre le 1^{er} novembre, quelle heure devrait indiquer le cadran solaire ?**
 - o i. On est en heure d'hiver, on retranche une heure : 14h30
 - o ii. Strasbourg est à 7,76° de longitude est : on ajoute $4 \times 7.76 = 31,04$ minutes, soit 31 mn environ. On est donc à 15h01.
 - o iii. Le 1^{er} novembre, l'équation du temps indique une valeur de **moins 16mn 25 s** (voir le graphe de V iii) : on prend le signe opposé, on ajoute donc 16,5 mn. Résultat final : 15h17.
 - o **Conclusion** : après la correction due à **l'heure d'hiver**, on obtient une heure solaire de **14h30** pour une lecture légale de 15h30. Avec les **autres corrections**, on obtient une heure solaire de **15h17**. En novembre, qui est un maximum de décalage dû à l'équation du temps, il est bon de prendre en compte la correction de l'équation du temps, ajoutée à celle due à la longitude.
- **À Brest, il est 15h30 à la montre le 1^{er} novembre, quelle heure devrait indiquer le cadran solaire ?**
 - o i. On est en heure d'hiver, on retranche une heure : 14h30
 - o ii. Brest est à 4,48° de longitude OUEST : on retranche $4 \times 4.48 = 17,92$ minutes, soit 18 mn environ. On est donc à 14h12.
 - o iii. Le 1^{er} novembre, l'équation du temps indique une valeur de **moins 16mn 25 s** (voir le graphe de V iii) : on prend le signe opposé, on ajoute donc 16,5 mn. Résultat final : 14h28.
 - o **Conclusion** : après la correction due à **l'heure d'hiver**, on obtient une heure solaire de **14h30** pour une lecture légale de 15h30. Avec les **autres corrections**, on obtient une heure légale de **14h28**. À Brest, en novembre, les corrections dues à l'équation du temps et à la longitude se compensent ; on peut ne pas en prendre compte.

Rappel des corrections à effectuer selon les situations

Passer du cadran solaire à la montre

On lit une heure sur le cadran solaire, on veut connaître l'heure sur la montre.

Heure d'hiver	+1
Heure d'été	+2
Longitude EST	- 4mn par degré
Longitude OUEST	+ 4 mn par degré
Équation du temps	On respecte le signe

Passer de l'heure légale au cadran solaire

On lit une heure sur la montre, on veut connaître l'heure à voir sur le cadran solaire

Heure d'hiver	-1
Heure d'été	-2
Longitude EST	+ 4mn par degré
Longitude OUEST	- 4 mn par degré
Équation du temps	On utilise le signe opposé

VII. ADAPTATIONS SELON LE PUBLIC

Exemples de scénario selon le public

1. ENFANTS JEUNES, NON LECTEURS, OU PEU AVANCES DANS LA LECTURE

- Le Soleil est un bon indicateur de temps, reproductible, fiable, gratuit.
- On utilise l'ombre du Soleil pour suivre l'évolution du temps ; c'est le principe du cadran solaire.
- L'enfant peut monter un cadran solaire équatorial en s'inspirant d'un modèle déjà monté.
- On regarde l'heure de la montre et on essaie alors de placer correctement le cadran pour qu'il fonctionne tout au long de l'année.
- On affine en prenant en compte l'heure d'hiver ou l'heure d'été.
- L'enfant repart avec son cadran

2. GRAND PUBLIC

- Le Soleil est un bon indicateur de temps, reproductible, fiable, gratuit.
- Mouvement du Soleil, avec la figurine sur le globe : lever vers l'est, passage par le sud pour l'hémisphère nord, coucher vers l'ouest : mouvement des aiguilles d'une montre. Le mouvement apparent du Soleil est de 15° par heure (360°/24h).
- Un gnomon (bâton planté sur le sol) ne va pas être précis ; un cadran équatorial si (déplacement gnomon et cadran équatorial sur le globe).
- Montage du cadran équatorial avec explication des angles : le style fait un angle avec le sol égal à la latitude ; la table de lecture est perpendiculaire au style et fait donc un angle de 90 – L avec le sol. On décrit les situations à l'équateur et au pôle pour aider à la compréhension.
- Orientation du cadran nord – sud en s'aidant de l'heure lue sur la montre, avec les corrections dues à l'heure légale (heure d'été ou d'hiver), à la longitude et à l'équation de temps (on parle d'une ou de deux ou des trois corrections selon le public, selon l'importance de chaque correction).
- On peut passer aux cadrants horizontaux et verticaux ; constitués à partir du cadran équatorial.

3. PUBLIC SPECIALISE

- Comme grand public mais on explique l'équation du temps et la correction due à la longitude. On peut montrer la fiche avec les décalages des heures de lever et de coucher du Soleil, l'équation du temps.

Matériel nécessaire à la médiation,
mais qui reste sur place.



Matériel qui sera donné à chaque personne du public.

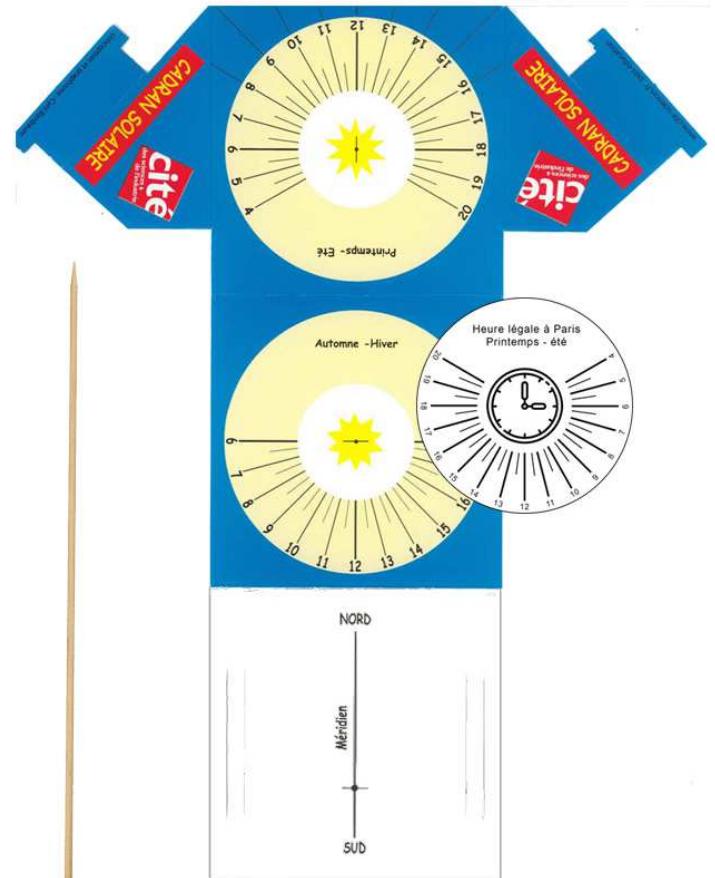


Figure 41 : Matériel de base pour la médiation : un globe, une figurine pour expliquer les mouvements du Soleil, le cadran solaire, un pic à brochette, le cadran pour lire l'heure de la montre. Il peut être judicieux de faire les trous sur les cadrants avant de réaliser les pliages.

Pour aider à la médiation, des feuilles plastifiées sont disponibles.

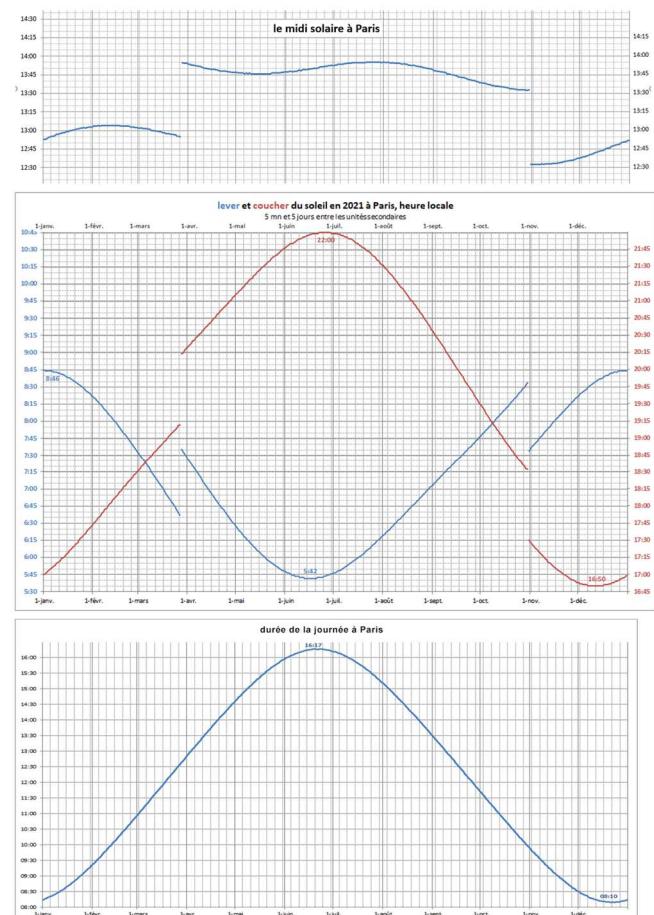
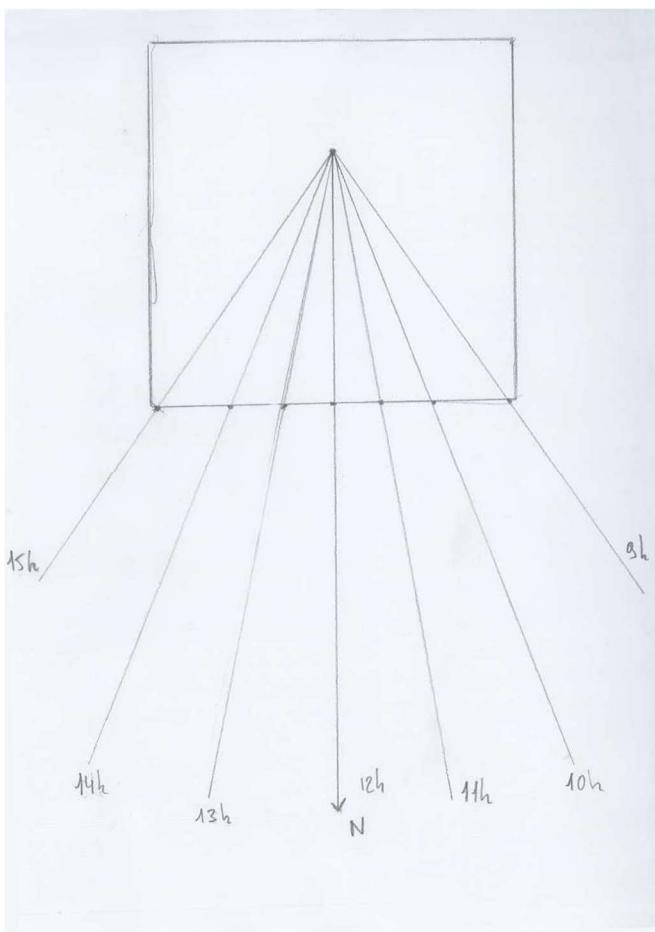


Figure 42 : feuilles plastifiées disponibles. À gauche : feuille pour un cadran horizontal tracée à partir du cadran équatorial. À droite, le midi solaire, les lever et couchers du Soleil et la durée de la journée à Paris, en heures légales.

Passer du cadran solaire à la montre

On lit une heure sur le cadran solaire, on veut connaitre l'heure sur la montre.

Heure d'hiver	+1
Heure d'été	+2
Longitude EST	- 4mn par degré
Longitude OUEST	+ 4 mn par degré
Équation du temps	On respecte le signe

Passer de l'heure légale au cadran solaire

On lit une heure sur la montre, on veut connaitre l'heure à voir sur le cadran solaire

Heure d'hiver	-1
Heure d'été	-2
Longitude EST	+ 4mn par degré
Longitude OUEST	- 4 mn par degré
Équation du temps	On utilise le signe opposé

Tableau 1 : Feuille plastifiée rappelant les calculs à faire pour passer de l'heure solaire à l'heure légale ou l'inverse.

Équation du temps pour les années 2021 – 2022 - 2023									
	Équation du temps	date	Équation du temps						
date	Équation du temps	1/2	14,50 mn	1/3	13,00 mn	1/4	4,50 mn	1/5	-2,00 mn
1/1	4,00 mn	2/2	14,50 mn	2/3	13,00 mn	2/4	4,50 mn	2/5	-2,50 mn
2/1	4,00 mn	3/2	14,50 mn	3/3	13,00 mn	3/4	4,00 mn	3/5	-2,50 mn
3/1	4,50 mn	4/2	15,00 mn	4/3	12,50 mn	4/4	4,00 mn	4/5	-2,50 mn
4/1	5,50 mn	5/2	14,50 mn	5/3	12,50 mn	5/4	3,50 mn	5/5	-2,50 mn
5/1	6,00 mn	6/2	15,00 mn	6/3	12,50 mn	6/4	3,50 mn	6/5	-3,00 mn
6/1	6,50 mn	7/2	15,00 mn	7/3	12,00 mn	7/4	3,00 mn	7/5	-2,50 mn
7/1	6,50 mn	8/2	15,00 mn	8/3	12,00 mn	8/4	3,00 mn	8/5	-3,00 mn
8/1	7,00 mn	9/2	15,00 mn	9/3	11,00 mn	9/4	2,50 mn	9/5	-2,50 mn
9/1	8,00 mn	10/2	15,00 mn	10/3	11,00 mn	10/4	2,00 mn	10/5	-3,00 mn
10/1	8,00 mn	11/2	15,00 mn	11/3	11,00 mn	11/4	1,50 mn	11/5	-3,00 mn
11/1	8,50 mn	12/2	15,00 mn	12/3	10,50 mn	12/4	1,50 mn	12/5	-3,00 mn
12/1	9,00 mn	13/2	15,00 mn	13/3	10,50 mn	13/4	1,00 mn	13/5	-3,00 mn
13/1	9,50 mn	14/2	15,00 mn	14/3	10,00 mn	14/4	1,00 mn	14/5	-3,00 mn
14/1	9,50 mn	15/2	15,00 mn	15/3	10,00 mn	15/4	0,50 mn	15/5	-3,00 mn
15/1	10,00 mn	16/2	15,00 mn	16/3	9,50 mn	16/4	0,50 mn	16/5	-3,00 mn
16/1	10,00 mn	17/2	15,00 mn	17/3	9,50 mn	17/4	0,50 mn	17/5	-3,00 mn
17/1	11,00 mn	18/2	14,50 mn	18/3	8,50 mn	18/4	0,00 mn	18/5	-3,00 mn
18/1	11,00 mn	19/2	14,50 mn	19/3	8,50 mn	19/4	0,00 mn	19/5	-3,00 mn
19/1	11,50 mn	20/2	14,50 mn	20/3	8,50 mn	20/4	-0,50 mn	20/5	-3,00 mn
20/1	11,50 mn	21/2	14,50 mn	21/3	8,00 mn	21/4	-0,50 mn	21/5	-3,00 mn
21/1	12,00 mn	22/2	14,50 mn	22/3	8,00 mn	22/4	-1,00 mn	22/5	-3,00 mn
22/1	12,00 mn	23/2	14,50 mn	23/3	7,50 mn	23/4	-0,50 mn	23/5	-2,50 mn
23/1	12,50 mn	24/2	14,00 mn	24/3	7,50 mn	24/4	-1,00 mn	24/5	-2,50 mn
24/1	13,00 mn	25/2	14,00 mn	25/3	6,50 mn	25/4	-1,00 mn	25/5	-2,50 mn
25/1	13,00 mn	26/2	14,00 mn	26/3	6,50 mn	26/4	-1,50 mn	26/5	-2,50 mn
26/1	13,50 mn	27/2	13,50 mn	27/3	6,00 mn	27/4	-1,50 mn	27/5	-2,50 mn
27/1	13,00 mn	28/2	13,50 mn	28/3	6,00 mn	28/4	-2,00 mn	28/5	-2,50 mn
28/1	13,50 mn			29/3	5,50 mn	29/4	-2,00 mn	29/5	-2,00 mn
29/1	14,00 mn			30/3	5,50 mn	30/4	-2,00 mn	30/5	-2,00 mn
30/1	14,00 mn			31/3	5,50 mn			31/5	-1,50 mn
31/1	14,00 mn								

Figure 43 : feuille plastifiée donnant l'**équation du temps**. Lorsque l'on passe de l'heure solaire à l'heure légale, on respecte le signe indiquée dans ce tableau. Par exemple, le 25 mai, on lit -2,50 minutes. Cela signifie que si on lit sur un cadran solaire 11h30 ; pour atteindre l'heure légale, il faut soustraire 2,50 minutes pour passer à l'heure légale. Ensuite, d'autres calculs sont nécessaires : heure d'été ou heure d'hiver, décalage dû à la longitude.

BUDGET

Pour l'animation de juillet – août 2021, nous avons récupéré du matériel d'anciennes médiations sans rien acheter. Mais voici quelques estimations :

- Globe terrestre : 300 euros
- Les cadrans à imprimer, en se basant sur Carte du ciel : 6 000 euros les 10 000.
- Piques à brochette : 3 euros les 100
- Toutes les fiches plastifiées ont été produites, imprimées, plastifiées et découpées en interne.

ANNEXE 1 : ANGLES D'UN CADRAN SOLAIRE EQUATORIAL A LA LATITUDE L (10°N DANS LES SCHEMAS)

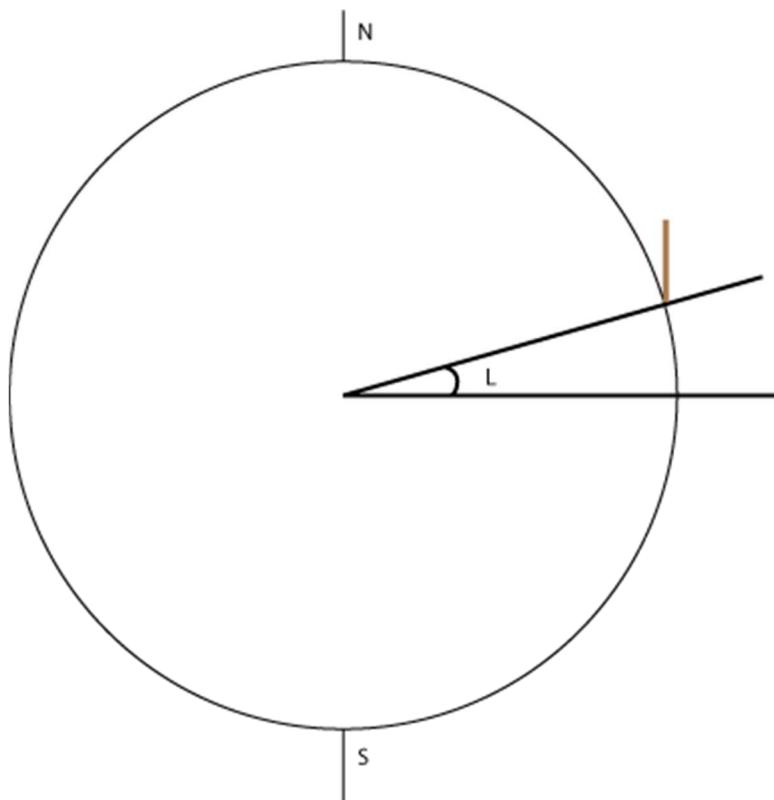


Figure 44 : But : avoir un style qui pointe vers l'étoile polaire.

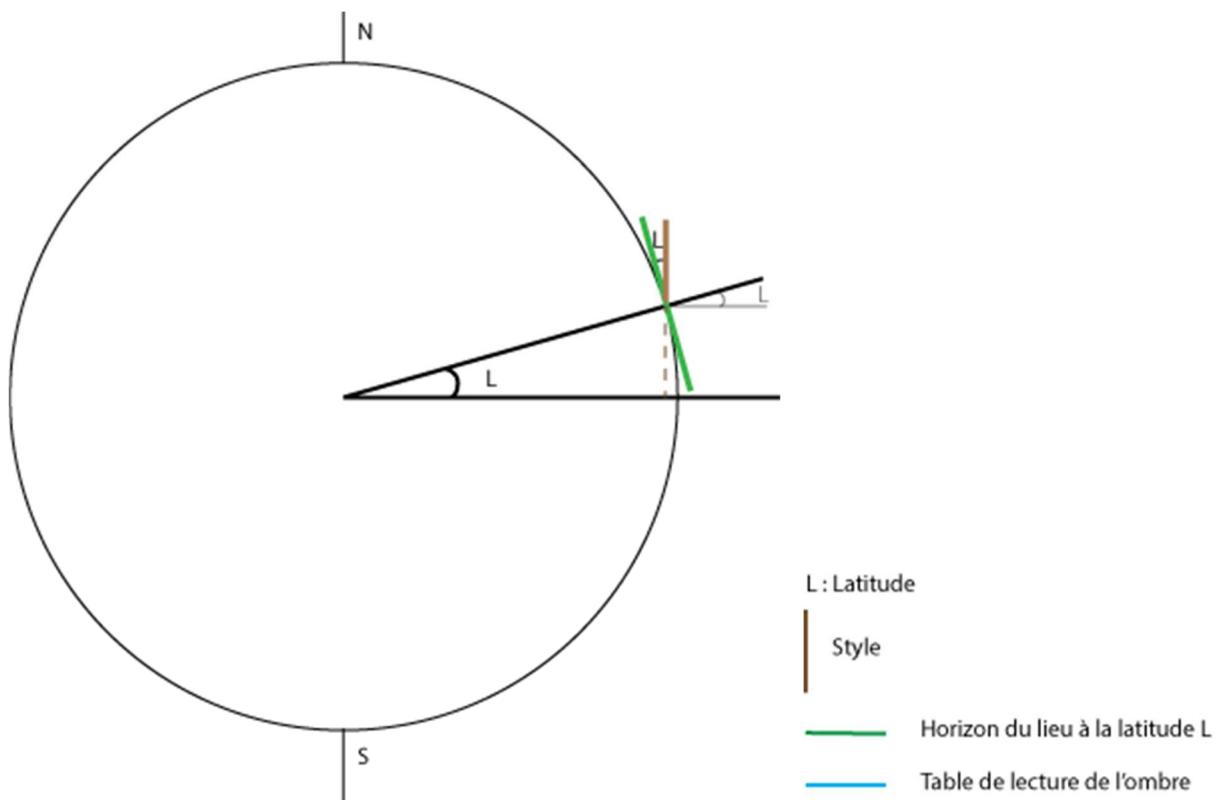


Figure 45 : Ajoutons l'horizon de l'observateur. Le style et cet horizon font un angle égal à la latitude avec le sol.

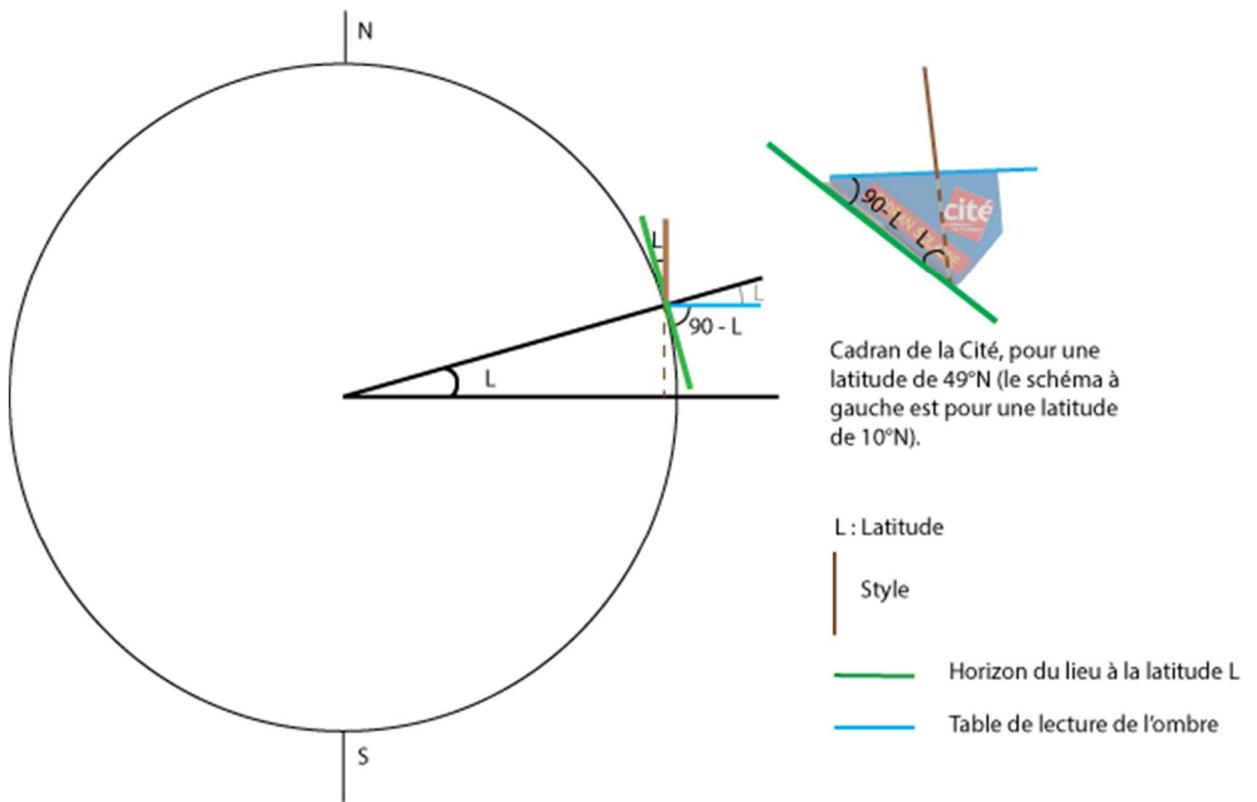


Figure 46 : pour avoir une table du déplacement de l'ombre parallèle à l'équateur, celui-ci doit faire un angle de $90 - L$ par rapport à l'horizon.

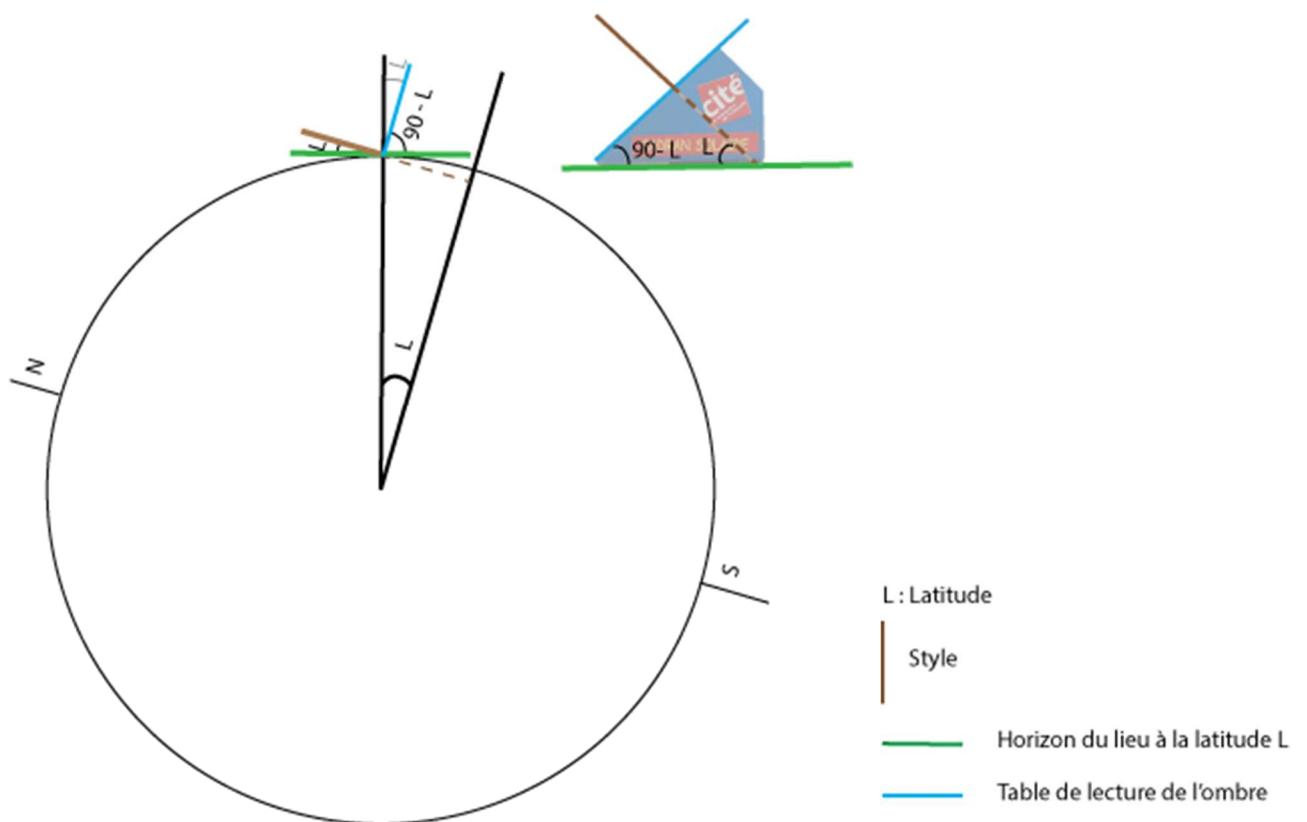
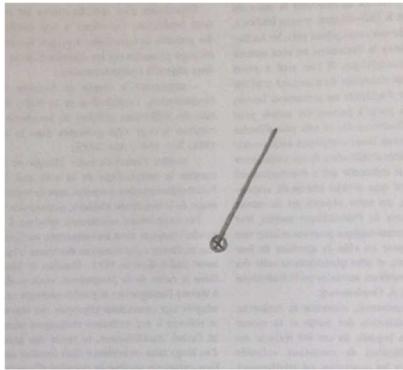


Figure 47 : Même schéma mais avec l'horizon du lieu représenté horizontalement. Le schéma montre un dispositif pour une latitude de 10°N. Le cadran de la Cité est pour une latitude de 49° N.

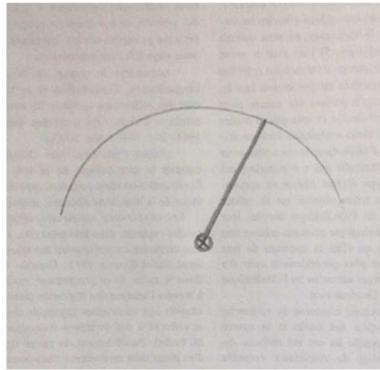
ANNEXE 2 : COMMENT TROUVER LE NORD AVEC UN GNOMON

2 méthodes, qui nécessitent d'avoir du temps :

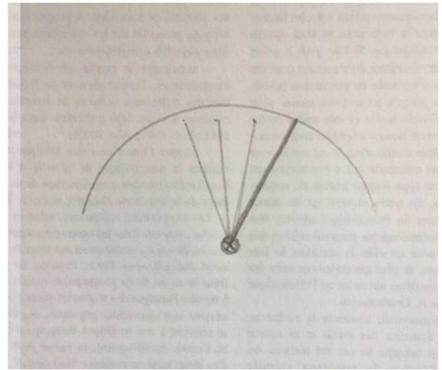
1. Planter un gnomon avant le midi solaire, faire un cercle avec comme centre le pied du gnomon et comme rayon la longueur de l'ombre. Attendre que l'ombre touche à nouveau ce cercle : le nord est la bissectrice de l'angle formé par les tracés des deux ombres.



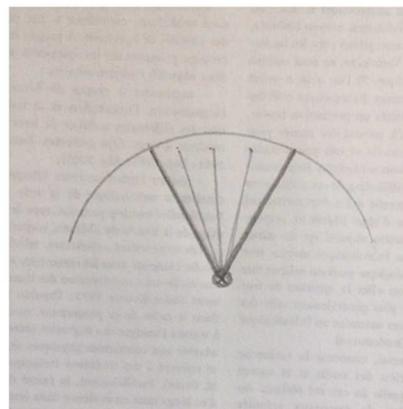
① Avant le midi solaire, on trace l'ombre d'un gnomon,



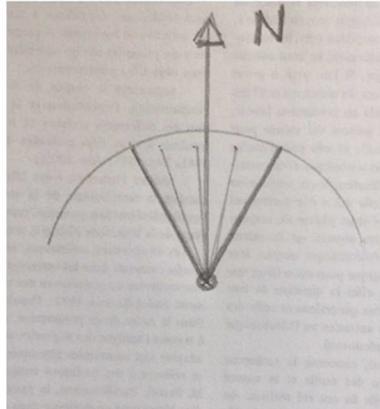
② On trace un cercle de centre la base du gnomon et de rayon l'ombre du gnomon,



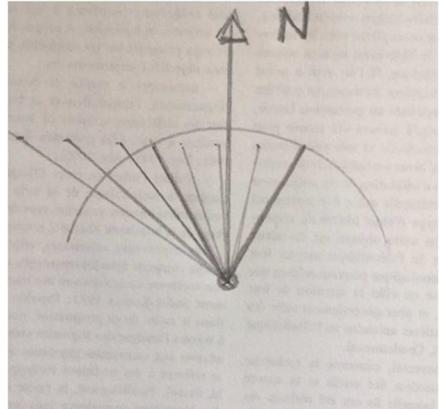
③ On suit l'évolution de l'ombre du gnomon,



④ L'ombre du gnomon «croise» à nouveau le cercle,



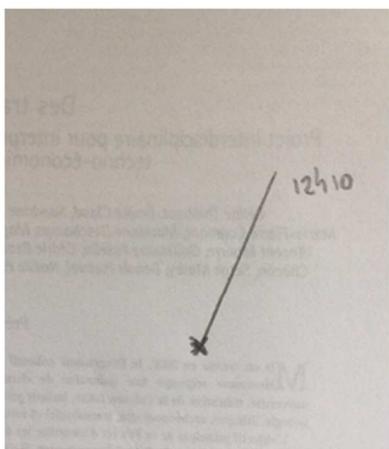
⑤ Le Nord se trouve en traçant la bissectrice de l'angle formé par les deux ombres qui sont des rayons du cercle,



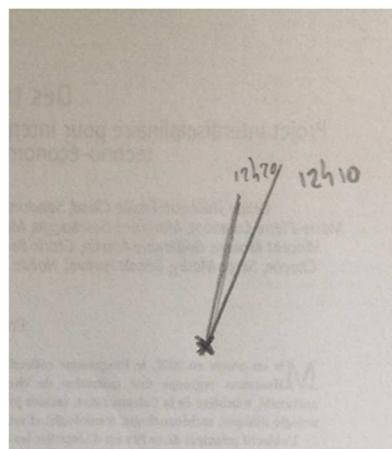
⑥ Si on continue de suivre les ombres du gnomon, leur extrémité sort du cercle.

Figure 48 : Comment trouver le nord à partir de l'ombre d'un gnomon. Méthode 1 : en traçant un cercle ou un arc de cercle. Les mesures de l'exemple ont été effectuées autour d'un équinoxe.

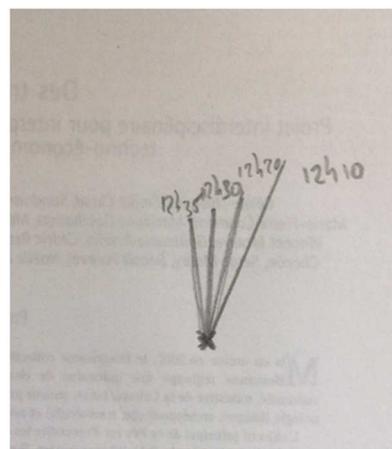
2. Quand l'ombre quotidienne d'un gnomon est la plus petite, le Soleil est pile au sud. On peut donc mesurer les ombres de gnomon quand nous sommes proches du midi solaire. Nous dessinons les ombres toutes les minutes (ou à intervalles de temps régulier estimés), ainsi, nous pouvons estimer l'angle de l'ombre la plus petite.



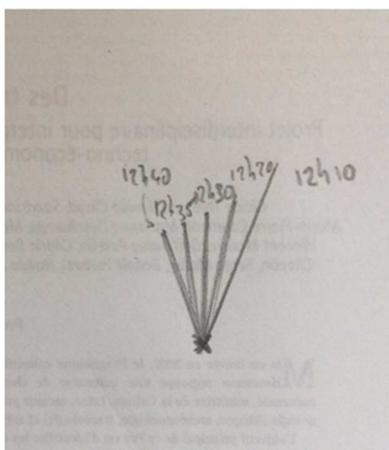
① Avant le midi solaire, on trace l'ombre d'un gnomon,



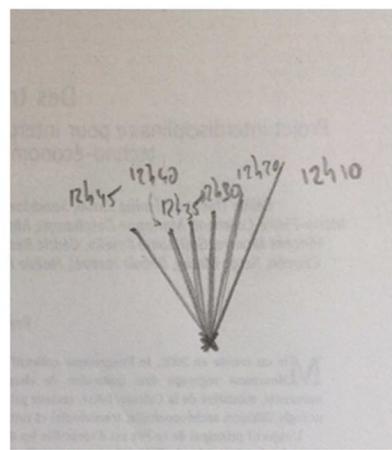
② On trace les ombres à des temps de plus en plus rapprochés,



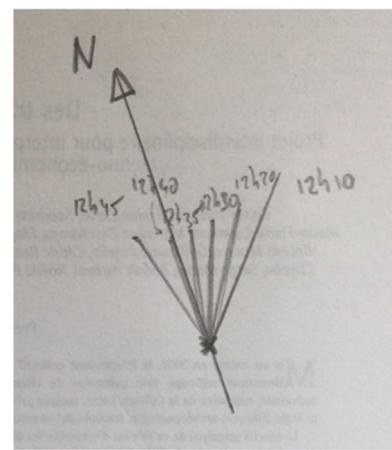
③ Tant que la taille des ombres n'augmente pas, on n'a pas atteint le midi solaire,



④ La taille de l'ombre du gnomon continue de diminuer,



⑤ La nouvelle ombre est plus longue que la précédente,

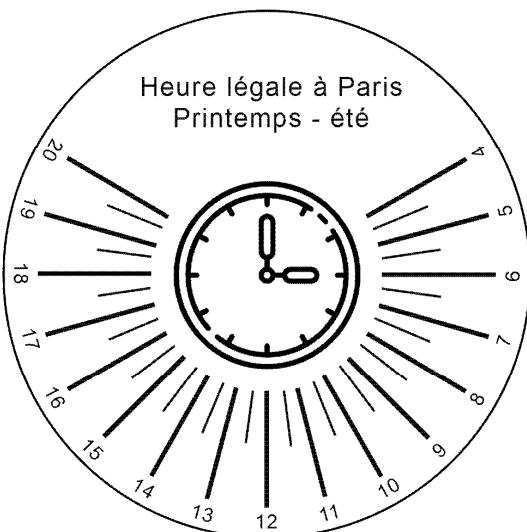
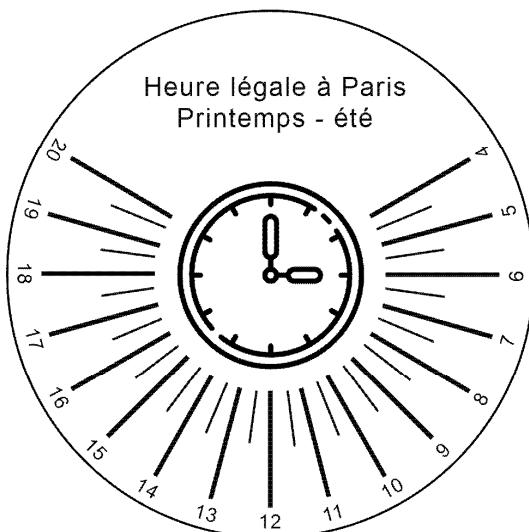
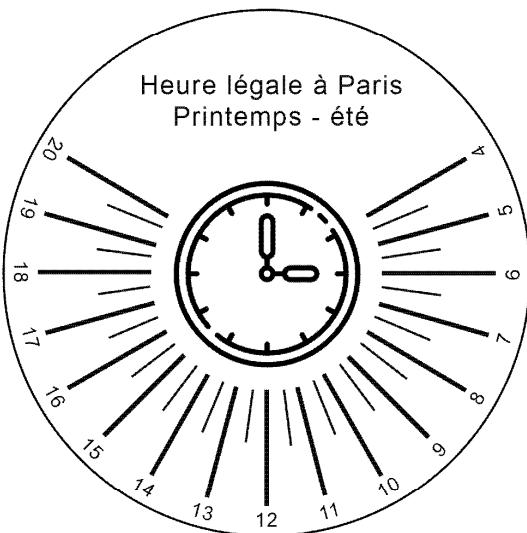
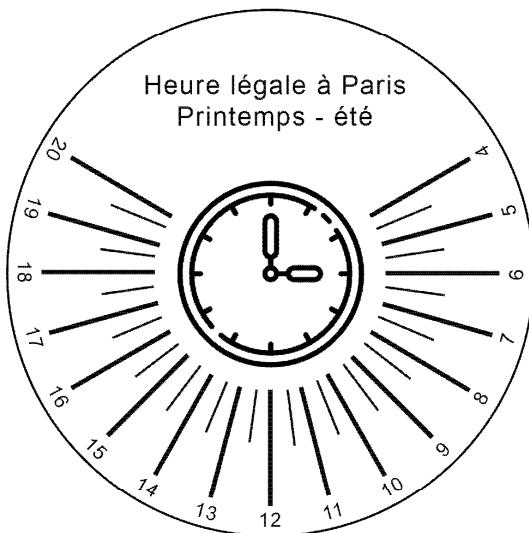
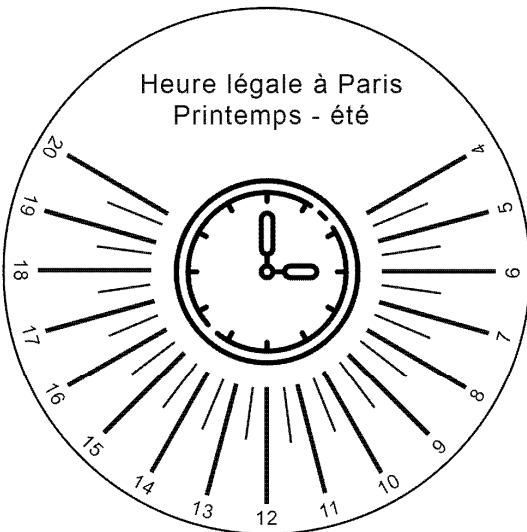
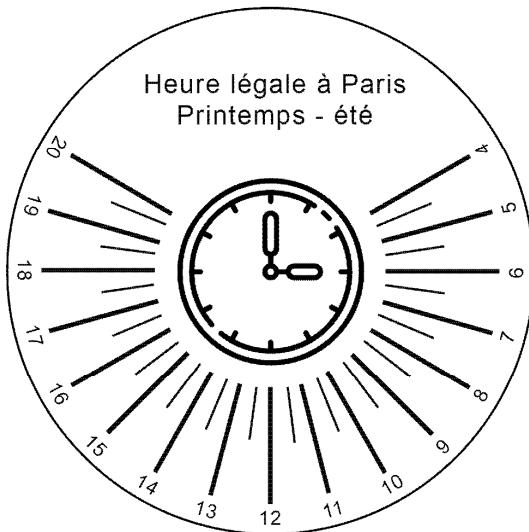


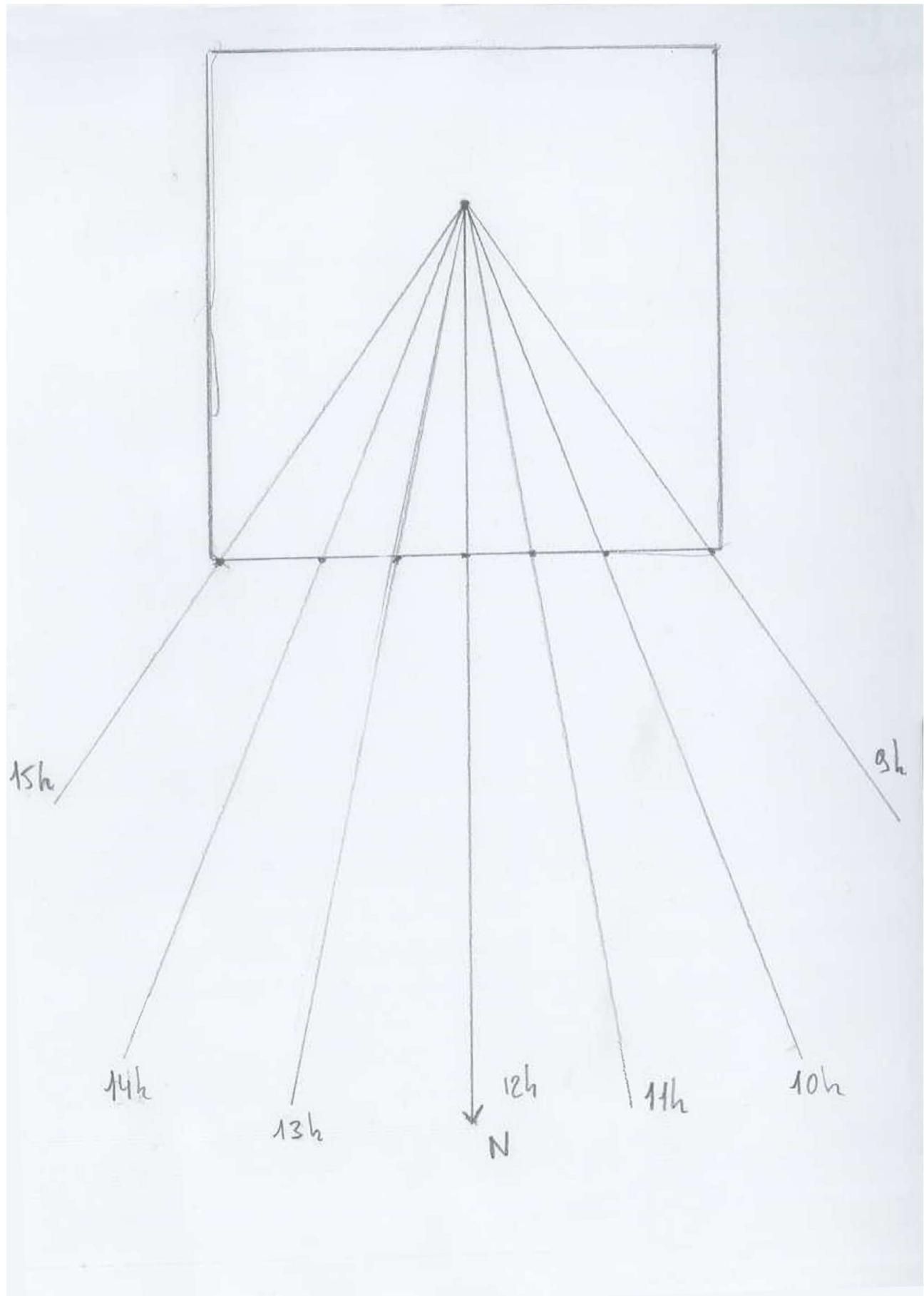
⑥ Le Nord est dans le prolongement de l'ombre la plus courte. Plus on fait des relevés rapprochés, plus on est précis.

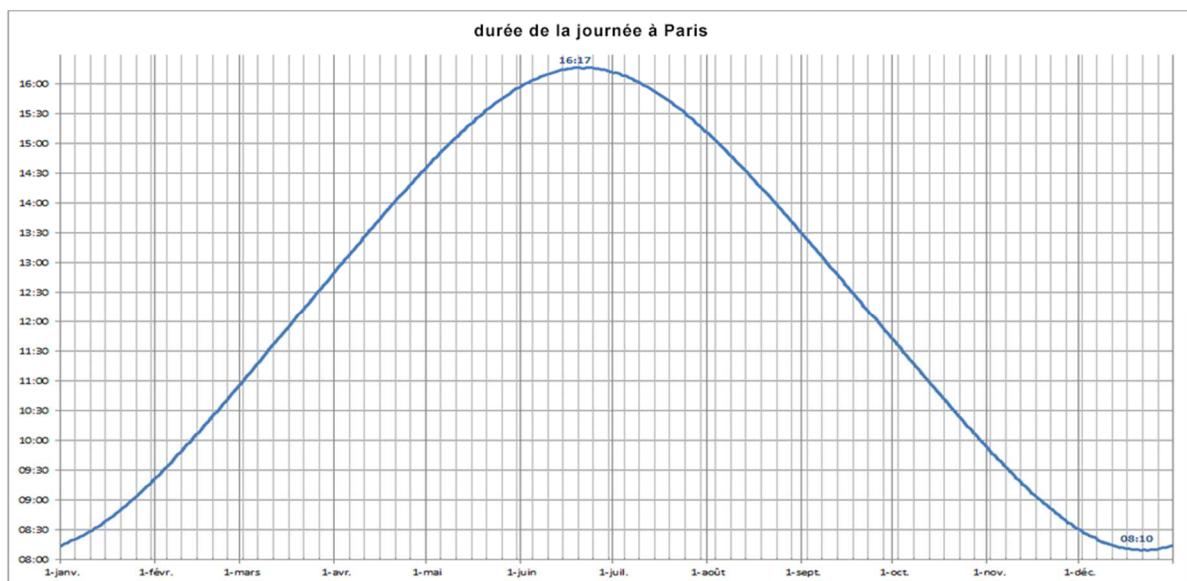
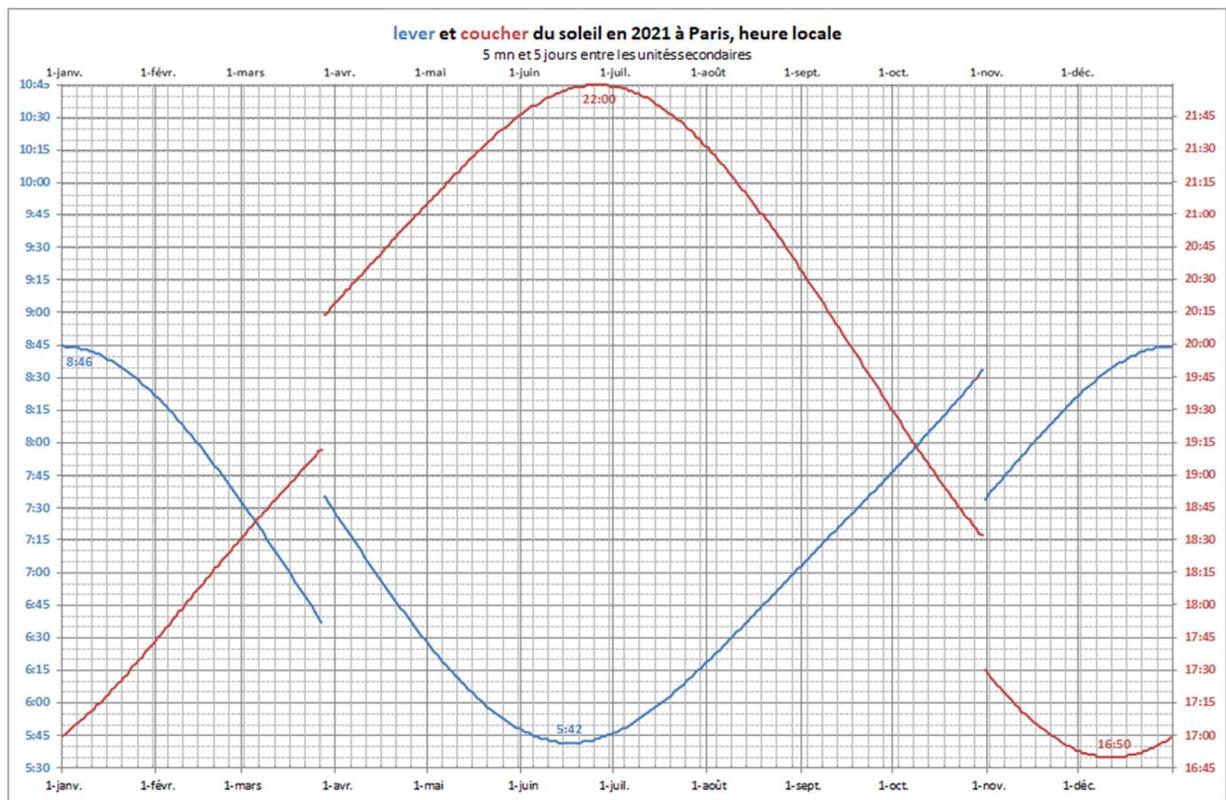
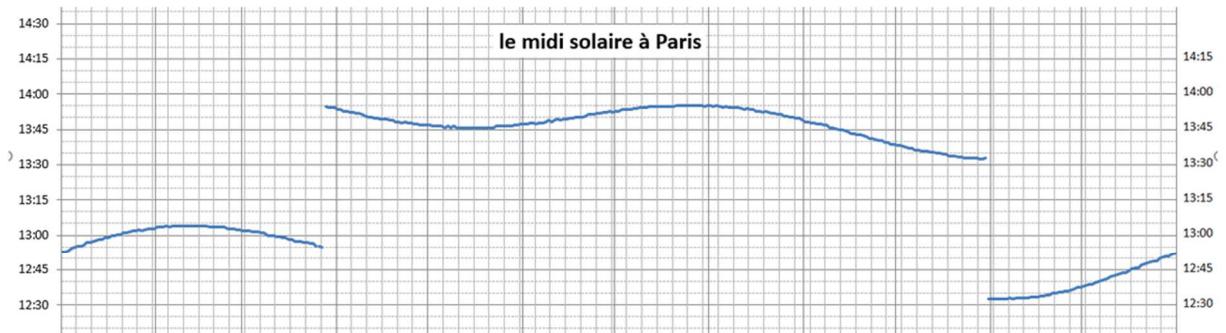
Figure 49 : Comment trouver le nord à partir de l'ombre d'un gnomon. Méthode 2 : en prolongeant l'ombre quotidienne la plus courte d'un gnomon. Les mesures de l'exemple ont été effectuées autour d'un solstice.

ANNEXE 3 : DOCUMENTS A IMPRIMER

(en A4 pour les deux premiers, les suivants peuvent être imprimés en A3)







Conversion heure solaire – heure légale

Passer du cadran solaire à la montre

On lit une heure sur le cadran solaire, on veut connaître l'heure sur la montre.

Heure d'hiver	+1
Heure d'été	+2
Longitude EST	- 4 mn par degré
Longitude OUEST	+ 4 mn par degré
Équation du temps	On respecte le signe

Passer de l'heure légale au cadran solaire

On lit une heure sur la montre, on veut connaître l'heure à voir sur le cadran solaire

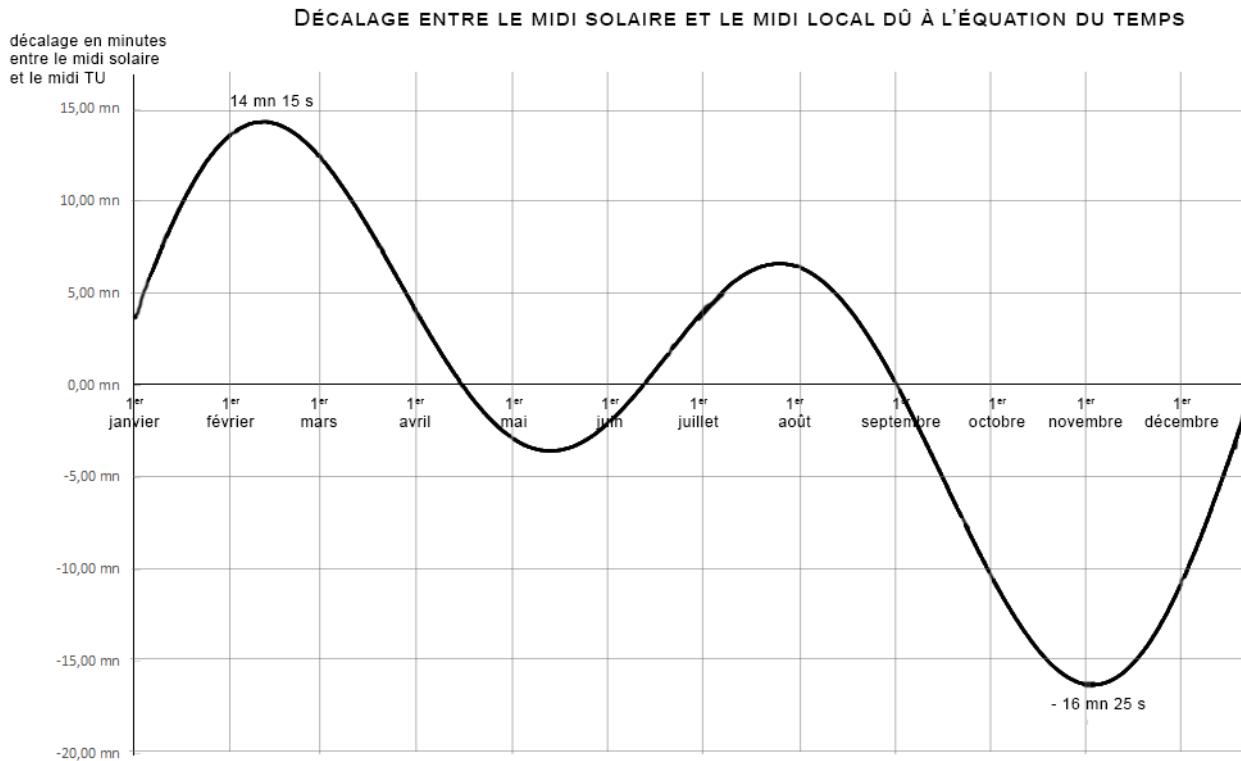
Heure d'hiver	-1
Heure d'été	-2
Longitude EST	+ 4 mn par degré
Longitude OUEST	- 4 mn par degré
Équation du temps	On utilise le signe opposé

Équation du temps pour les années 2021 – 2022 - 2023

	Équation du temps							
Équation du temps	date							
1/1	4,00 mn	2/2	14,50 mn	1/3	13,00 mn	1/4	4,50 mn	1/5
2/1	4,00 mn	3/2	14,50 mn	2/3	13,00 mn	2/4	4,50 mn	2/5
3/1	4,50 mn	4/2	15,00 mn	3/3	13,00 mn	3/4	4,00 mn	3/5
4/1	5,50 mn	5/2	14,50 mn	4/3	12,50 mn	4/4	4,00 mn	4/5
5/1	6,00 mn	6/2	15,00 mn	5/3	12,50 mn	5/4	3,50 mn	5/5
6/1	6,50 mn	7/2	15,00 mn	6/3	12,50 mn	6/4	3,50 mn	6/5
7/1	6,50 mn	8/2	15,00 mn	7/3	12,00 mn	7/4	3,00 mn	7/5
8/1	7,00 mn	9/2	15,00 mn	8/3	12,00 mn	8/4	3,00 mn	8/5
9/1	8,00 mn	10/2	15,00 mn	10/3	11,00 mn	10/4	2,50 mn	9/5
10/1	8,00 mn	11/2	15,00 mn	11/3	11,00 mn	11/4	2,50 mn	10/5
11/1	8,50 mn	12/2	15,00 mn	12/3	10,50 mn	12/4	1,50 mn	11/5
12/1	9,00 mn	13/2	15,00 mn	13/3	10,50 mn	13/4	1,00 mn	12/5
13/1	9,50 mn	14/2	15,00 mn	14/3	10,00 mn	14/4	1,00 mn	13/5
14/1	9,50 mn	15/2	15,00 mn	15/3	10,00 mn	15/4	0,50 mn	14/5
15/1	10,00 mn	16/2	15,00 mn	16/3	9,50 mn	16/4	0,50 mn	15/5
16/1	10,00 mn	17/2	15,00 mn	17/3	9,50 mn	17/4	0,50 mn	16/5
17/1	11,00 mn	18/2	14,50 mn	18/3	8,50 mn	18/4	0,00 mn	17/5
18/1	11,00 mn	19/2	14,50 mn	19/3	8,50 mn	19/4	0,00 mn	18/5
19/1	11,50 mn	20/2	14,50 mn	20/3	8,50 mn	20/4	-0,50 mn	19/5
20/1	11,50 mn	21/2	14,50 mn	21/3	8,00 mn	21/4	-0,50 mn	20/5
21/1	12,00 mn	22/2	14,50 mn	22/3	8,00 mn	22/4	-1,00 mn	21/5
22/1	12,00 mn	23/2	14,50 mn	23/3	7,50 mn	23/4	-0,50 mn	22/5
23/1	12,50 mn	24/2	14,00 mn	24/3	7,50 mn	24/4	-1,00 mn	23/5
24/1	13,00 mn	25/2	14,00 mn	25/3	6,50 mn	25/4	-1,00 mn	24/5
25/1	13,00 mn	26/2	14,00 mn	26/3	6,50 mn	26/4	-1,50 mn	25/5
26/1	13,50 mn	27/2	13,50 mn	27/3	6,00 mn	27/4	-1,50 mn	26/5
27/1	13,00 mn	28/2	13,50 mn	28/3	6,00 mn	28/4	-2,00 mn	27/5
28/1	13,50 mn			29/3	5,50 mn	29/4	-2,00 mn	28/5
29/1	14,00 mn			30/3	5,50 mn	30/4	-2,00 mn	29/5
30/1	14,00 mn						-2,00 mn	30/6
31/1	14,00 mn						-1,50 mn	

Équation du temps pour les années 2021 – 2022 - 2023

	Équation du temps	date	Équation du temps	date	Équation du temps	date	Équation du temps	date	Équation du temps	date	Équation du temps	date
1/7	4,00 mn	1/8	6,50 mn	1/9	-0,50 mn	1/10	-10,50 mn	1/11	-16,50 mn	1/12	-11,00 mn	1/12
2/7	4,00 mn	2/8	6,00 mn	2/9	-0,50 mn	2/10	-10,50 mn	2/11	-16,50 mn	2/12	-10,50 mn	2/12
3/7	4,50 mn	3/8	6,50 mn	3/9	-1,00 mn	3/10	-11,00 mn	3/11	-16,50 mn	3/12	-10,00 mn	3/12
4/7	4,50 mn	4/8	6,00 mn	4/9	-1,00 mn	4/10	-11,50 mn	4/11	-16,50 mn	4/12	-10,00 mn	4/12
5/7	4,50 mn	5/8	5,50 mn	5/9	-1,50 mn	5/10	-12,00 mn	5/11	-16,50 mn	5/12	-9,50 mn	5/12
6/7	4,50 mn	6/8	6,00 mn	6/9	-1,50 mn	6/10	-12,00 mn	6/11	-16,50 mn	6/12	-9,00 mn	6/12
7/7	5,00 mn	7/8	5,50 mn	7/9	-2,00 mn	7/10	-12,50 mn	7/11	-16,00 mn	7/12	-8,50 mn	7/12
8/7	5,00 mn	8/8	5,50 mn	8/9	-2,00 mn	8/10	-12,50 mn	8/11	-16,50 mn	8/12	-8,00 mn	8/12
9/7	5,50 mn	9/8	5,50 mn	9/9	-3,00 mn	9/10	-13,00 mn	9/11	-16,00 mn	9/12	-7,50 mn	9/12
10/7	5,50 mn	10/8	5,50 mn	10/9	-3,00 mn	10/10	-13,00 mn	10/11	-16,00 mn	10/12	-7,00 mn	10/12
11/7	5,50 mn	11/8	5,00 mn	11/9	-3,50 mn	11/10	-13,00 mn	11/11	-16,00 mn	11/12	-6,50 mn	11/12
12/7	6,00 mn	12/8	4,50 mn	12/9	-4,00 mn	12/10	-13,50 mn	12/11	-16,00 mn	12/12	-6,00 mn	12/12
13/7	6,00 mn	13/8	5,00 mn	13/9	-4,00 mn	13/10	-13,50 mn	13/11	-16,00 mn	13/12	-5,50 mn	13/12
14/7	6,00 mn	14/8	4,50 mn	14/9	-4,50 mn	14/10	-14,00 mn	14/11	-15,50 mn	14/12	-5,00 mn	14/12
15/7	6,00 mn	15/8	4,50 mn	15/9	-5,00 mn	15/10	-14,00 mn	15/11	-15,50 mn	15/12	-5,00 mn	15/12
16/7	6,00 mn	16/8	4,00 mn	16/9	-5,50 mn	16/10	-14,50 mn	16/11	-15,50 mn	16/12	-4,50 mn	16/12
17/7	6,00 mn	17/8	4,00 mn	17/9	-5,50 mn	17/10	-14,50 mn	17/11	-15,00 mn	17/12	-3,50 mn	17/12
18/7	6,00 mn	18/8	3,50 mn	18/9	-6,00 mn	18/10	-15,00 mn	18/11	-15,00 mn	18/12	-3,00 mn	18/12
19/7	6,00 mn	19/8	4,00 mn	19/9	-6,00 mn	19/10	-15,00 mn	19/11	-14,50 mn	19/12	-3,00 mn	19/12
20/7	6,00 mn	20/8	3,50 mn	20/9	-6,50 mn	20/10	-15,00 mn	20/11	-14,50 mn	20/12	-2,00 mn	20/12
21/7	6,50 mn	21/8	3,00 mn	21/9	-7,00 mn	21/10	-15,50 mn	21/11	-14,00 mn	21/12	-1,50 mn	21/12
22/7	6,50 mn	22/8	3,00 mn	22/9	-7,50 mn	22/10	-15,50 mn	22/11	-14,00 mn	22/12	-1,00 mn	22/12
23/7	6,50 mn	23/8	2,50 mn	23/9	-7,50 mn	23/10	-16,00 mn	23/11	-13,50 mn	23/12	-0,50 mn	23/12
24/7	6,50 mn	24/8	2,50 mn	24/9	-8,00 mn	24/10	-16,00 mn	24/11	-13,50 mn	24/12	0,00 mn	24/12
25/7	6,50 mn	25/8	2,00 mn	25/9	-8,50 mn	25/10	-16,00 mn	25/11	-13,00 mn	25/12	0,00 mn	25/12
26/7	6,50 mn	26/8	2,00 mn	26/9	-8,50 mn	26/10	-16,00 mn	26/11	-13,00 mn	26/12	1,00 mn	26/12
27/7	6,50 mn	27/8	1,50 mn	27/9	-9,50 mn	27/10	-16,00 mn	27/11	-12,50 mn	27/12	1,50 mn	27/12
28/7	6,50 mn	28/8	1,50 mn	28/9	-9,50 mn	28/10	-16,50 mn	28/11	-12,00 mn	28/12	2,00 mn	28/12
29/7	6,50 mn	29/8	1,00 mn	29/9	-10,00 mn	29/10	-16,50 mn	29/11	-11,50 mn	29/12	2,00 mn	29/12
30/7	6,00 mn	30/8	1,00 mn	30/9	-10,00 mn	30/10	-16,00 mn	30/11	-11,50 mn	30/12	2,50 mn	30/12
31/7	6,50 mn	31/8	0,00 mn			31/10	-16,50 mn			31/12	3,00 mn	



Équipe projet

Nom	poste	e-mail
-----	-------	--------

GUTKIN Julia	5 36 95	julia.gutkin@universcience.fr
FERRERI Laetitia	5 74 26	laetitia.ferreri@universcience.fr

Médiateurs

Nom	poste	e-mail
-----	-------	--------

CHENEL Aurélie	5 72 27	aurelie.chenel@universcience.fr
CHESNOT Jean-Baptiste	5 83 89	jean-baptiste.chesnot@universcience.fr
CORNET Nadège	5 74 31	nadege.cornet@universcience.fr
FERRERI Laetitia	5 74 26	Laetitia.ferreri@universcience.fr
GUTKIN Julia	5 36 95	Julia.gutkin@universcience.fr
HENCHIRI Soufian	5 78 43	soufian.henchiri@universcience.fr
HINCELIN Olivier	5 75 07	olivier.hincelin@universcience.fr
JAMOUS Marc	5 84 54	marc.jamous@universcience.fr
RODRIGUEZ Guillaume	5 78 55	guillaume.rodriguez@universcience.fr

Doctorants

Nom	poste	e-mail
-----	-------	--------

CAROFF Théo		
GILBERT Élina		
PHILIPOT Floian		
PIROT Émilie		
SAULPIC David		
VINCENT Caroline		

Cahier rédigé par Marc Jamous

Coordination des cahiers de la médiation scientifique :

Rémi Mouillet	(5) 7887	remi.mouillet@universcience.fr
---------------	----------	--------------------------------

Les médiations se sont faites en externe, sous forme de stand. Nous étions placés entre un jeu d'escalade et des leçons gratuites de roller et skate-board. Par cet environnement, nous avons reçu du public assez jeune. Avec de jeunes enfants, la médiation s'est souvent réduite à faire monter un cadran solaire et à en expliquer brièvement le fonctionnement.

Avec un public plus âgé, à partir d'élèves collégiens, nous avons pu aborder les mouvements relatifs de la Terre, du Soleil et faire découvrir les différents cadrons solaires : équatoriaux, horizontaux et verticaux. Le public est curieux, questionneur et cherche à comprendre. Avec certaines personnes on a échangé plus d'une heure.

Les notions d'heures d'hiver et d'été ont toujours été abordées. Les corrections dues à la longitude ont été mentionnées quelquefois, mais on n'a jamais mentionné l'équation du temps.

La présence du Soleil est plutôt nécessaire pour bien visualiser l'intérêt d'un cadran solaire par rapport à un gnomon et pour montrer le fonctionnement du cadran. Sans Soleil, il est difficile d'obtenir une ombre similaire à celle produite par le Soleil.

Cela pose la question de la faisabilité d'une médiation à l'intérieur. L'idéal serait d'avoir un lieu où l'éclairage direct par le Soleil est possible, car il est difficile d'avoir une ou plusieurs lampes produisant des ombres similaires ; des essais sont nécessaires.

Il peut être intéressant de produire une médiation scénarisée pour des séances de 45 minutes, nous avons assez de contenu.