

Les cadrans solaires

Histoire, théorie et construction

Roger Torrenti

Les cadrans solaires

Histoire, théorie et construction

Roger Torrenti

MOOC cadrans solaires
www.cadrans-solaires.info

Lulu.com

ISBN 978-0-244-53140-9

Publié en mai 2020 (seconde édition)
sous licence Creative Commons CC BY-NC-SA
(Attribution - Pas d'utilisation commerciale - Partage à l'identique)

Pour plus de détails voir <https://creativecommons.org>



*A mes collègues
de la Commission des cadrans solaires
de la Société astronomique de France*

Table des matières

Introduction	13
Objectifs de cet ouvrage	14
Présentation du MOOC	17
Comment parcourir cet ouvrage	18
L'auteur.....	20
Et si vous testiez vos connaissances initiales ?.....	21
Conclusion	25
Séquence 1 : Petite histoire des cadrans solaires	27
Introduction	29
De la naissance à l'apogée.....	30
DES LA PLUS HAUTE ANTIQUITE.....	30
DE L'ANTIQUITE A LA FIN DU MOYEN ÂGE	32
L'APOGEE DES CADRANS SOLAIRES	34
Les cadrans solaires aujourd'hui.....	36
UN DOMAINE A L'ACTIVITE TOUJOURS FORTE	36
UN REGAIN D'INTERET ?.....	38
Quiz d'auto-évaluation.....	40
Conclusion	43
Séquence 2 : Quelques bases de gnomonique.....	45
Introduction	47
Notions d'astronomie.....	48

RAPPELS DE MATHEMATIQUES	48
MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL.....	50
<i>Rêvons un peu...</i>	52
<i>Exercice : Un peu d'astronomie</i>	53
LONGITUDE ET LATITUDE	54
COMMENT TROUVER LE SUD ?	56
MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL	58
<i>Exercice : Ombre portée par l'extrémité d'un gnomon</i>	60
Heure solaire et heure légale	61
LES FUSEAUX HORAIRES	62
<i>Exercice : Une idée pour rajeunir et devenir riche...</i>	64
<i>Exercice : Êtes-vous sûr de votre jour de naissance ?</i>	65
L'EQUATION DU TEMPS	66
COMMENT PASSER DE L'HEURE SOLAIRE A L'HEURE LEGALE	68
<i>Exercice : Convertir les écarts de longitude</i>	70
<i>Exercice : Ne pas réveiller ses amis</i>	71
<i>Exercice : Trouver simplement la direction nord-sud...</i>	72
Quiz d'auto-évaluation	73
Conclusion	76
Séquence 3 : Les différents types de cadrans solaires	77
Introduction	79
Des cadrans très simples	80
LES GNOMONS ET MERIDIENNES	80
LES CADRANS EQUATORIAUX	82
LES CADRANS POLAIRES	84

<i>Exercice : Votre ami déménage</i>	86
Les cadrans horizontaux ou verticaux	87
DES CADRANS TRES COURANTS.....	88
<i>Exercice : Le voisin est-il devenu fou ?</i>	90
<i>Exercice : Et si l'on inclinait le cube ?</i>	91
Autres types de cadrans solaires	92
LES CADRANS ANALEMMATIQUES.....	92
LES CADRANS DE HAUTEUR ET D'AZIMUT	94
D'AUTRES CADRANS ENCORE.....	96
Quiz d'auto-évaluation.....	98
Conclusion	101
Séquence 4 : Construire un cadran solaire	103
Introduction	104
Comment construire un cadran solaire	106
QUEL CADRAN CONSTRUIRE, AVEC QUELS OUTILS ?.....	106
UN GNOMON OU UNE MERIDIENNE	108
UN CADRAN EQUATORIAL	110
<i>Exercice : Réaliser un cadran universel en 2 min !</i>	111
UN CADRAN POLAIRE	112
UN CADRAN VERTICAL OU HORIZONTAL	114
<i>Exercice : Tracé à la montre</i>	116
<i>Exercice : Un cadran qui indique l'heure légale</i>	117
<i>Exercice : En bon citoyen</i>	118
UN CADRAN ANALEMMATIQUE.....	119
UN CADRAN DE BERGER.....	120

UNE BOUSSOLE OU COMPAS SOLAIRE	122
UN CADRAN COMMEMORATIF	124
Laissez aller votre imagination !	126
Quiz d'auto-évaluation	128
Conclusion	131
Séquence 5 : Pour aller plus loin.....	133
Introduction	135
Ressources générales.....	136
BIBLIOGRAPHIE	136
SITES WEB	138
LOGICIELS	140
Ressources pédagogiques	142
CADRANS A DECOUPER	142
UNE INTERESSANTE SAGA	144
ACTIVITE POUR CE2	146
Compléments	148
COMMENT DIRE « CADRAN SOLAIRE » EN.....	148
QUELQUES DEVICES	150
FORMULES UTILES.....	152
TABLE DE L'EQUATION DU TEMPS	154
VALEUR DE LA DECLINAISON DU SOLEIL.....	155
Cadranières et cadraniers.....	156
INTRODUCTION	156
REPERTOIRE.....	158

Conclusion	188
Solutions des quiz et des exercices	189
Quiz : Testez vos connaissances initiales.....	190
Quiz de la séquence 1	193
Exercice : Un peu d'astronomie.....	195
Exercice : Ombre portée par l'extrémité d'un gnomon	196
Exercice : Une idée pour rajeunir et devenir riche.....	197
Exercice : Êtes-vous sûr de votre jour de naissance ? ...	198
Exercice : Convertir les écarts de longitude	199
Exercice : Ne pas réveiller ses amis.....	201
Exercice : Trouver simplement la direction nord-sud....	203
Quiz de la séquence 2.....	204
Exercice : Votre ami déménage.....	206
Exercice : Le voisin est-il devenu fou ?	207
Exercice : Et si l'on inclinait le cube ?	208
Quiz de la séquence 3.....	209
Exercice : Réaliser un cadran universel en 2 min !	211
Exercice : Tracé à la montre... ..	213
Exercice : Un cadran qui indique l'heure légale.....	215
Exercice : En bon citoyen.....	216
Quiz de la séquence 4.....	217



*Coucher de soleil sur un cadran horizontal monumental
dominant la Baie des Anges à Nice, France
(Photo Roger Torrenti)*

Introduction

Objectifs de cet ouvrage

Les cadrans solaires peuvent apparaître comme des objets d'une autre époque, quelque peu ésotériques, donnant une heure approximative, et devenus aujourd'hui inutiles à l'heure du numérique et de la nanoseconde.

Ils restent cependant des éléments pouvant orner utilement des bâtiments ou enrichir l'espace urbain. On sait de plus les rendre simples et précis, et ils restent des objets au fort potentiel pédagogique (et ludique !) permettant de mieux comprendre notre relation au Soleil. Enfin ils sont probablement en phase avec des aspirations contemporaines de liens plus étroits avec la nature et de vie plus tranquille, plus lente (« slow life »).

C'est dans ce contexte que l'auteur de cet ouvrage a lancé mi-2018 un « MOOC cadrans solaires » (MOOC pour Massive Online Open Course en anglais, ou FLOT pour Formation Libre et Ouverte à Tous en français), une formation gratuite accessible via le site Web www.cadrans-solaires.info, qui reçoit aujourd'hui plus de 200 000 visites par an.

Le présent ouvrage, destiné à toutes celles et ceux qui sont intéressés par l'histoire, la théorie et la construction des cadrans solaires, est une version papier du MOOC cadrans solaires.

Il a notamment été préparé suite à la suggestion d'apprenants du MOOC : ils avaient suivi le cours en ligne mais regretté de ne pouvoir disposer d'une version papier afin de suivre la formation dans d'autres conditions,

d'annoter certains passages, de conserver une trace écrite de cette formation par nature virtuelle.

L'ensemble des textes du MOOC (dans sa version de mai 2020) sont repris ici ainsi que la plupart des illustrations ou photos.

Quant aux ressources vidéo, si nécessaires à la pleine compréhension de chaque chapitre (appelé ici séquence), elles ne peuvent bien entendu être insérées dans un ouvrage imprimé...

Cependant, chaque vidéo est représentée, à la place qu'elle occupe dans la formation en ligne, par une image sous laquelle un lien Web et un QR code (que l'on scanne ou « flashe » simplement avec son téléphone mobile si l'on dispose de l'application gratuite ad hoc) renvoient vers la vidéo YouTube du MOOC où elle peut alors être visionnée.

Le présent ouvrage, comme le MOOC, s'adresse non seulement aux personnes de France métropolitaine mais aussi à celles du monde francophone, pour lesquelles nous nous sommes efforcés d'adapter chacune des séquences. Elles disposeront d'informations et d'outils, quel que soit l'endroit du monde où elles résident, afin de comprendre le fonctionnement, et construire le cas échéant, des cadrans solaires adaptés au lieu où elles se trouvent.

Il est abordable par tous, même sans bagage mathématique ou astronomique important.

A l'issue de votre « formation », c'est-à-dire après avoir parcouru attentivement cet ouvrage, vous pourrez maîtriser

suffisamment la théorie et la pratique des cadrans solaires, et avoir assez de références et d'outils, pour commencer à concevoir et réaliser (ou faire réaliser) facilement des cadrans solaires.

Avec cette dernière parenthèse, nous pensons en particulier aux enseignants ou futurs enseignants en école primaire ou au collège.



Cadran solaire sur le mur est d'une école primaire de l'arrière-pays niçois. (Photo Roger Torrenti)

L'idée est bonne de placer un cadran solaire dans une école mais ce cadran est malheureusement non calculé : son style est mal orienté et les pavés de couleur n'indiquent pas l'heure...

Que cet ouvrage, et le MOOC dont il est issu, puissent permettre à des enseignants ou à des parents d'élèves de réaliser, ou faire réaliser par des enfants ou des collégiens, de vrais cadrans solaires dont ils pourront être fiers !

Présentation du MOOC

Découvrez ci-dessous en une vidéo de moins de 3 min les principales caractéristiques du MOOC cadrans solaires.



Présentation du MOOC cadrans solaires (2:47)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
https://www.youtube.com/watch?v=bCU3iTb_N6A



Comment parcourir cet ouvrage

La formation proposée par le MOOC et qui se retrouve dans sa présente version papier, a été divisée en 5 étapes ou séquences, qui constituent les chapitres de cet ouvrage :

- La séquence 1, « **Petite histoire des cadrans solaires** », invite à découvrir l'histoire des cadrans solaires, depuis la plus haute Antiquité jusqu'à nos jours.
- La séquence 2, « **Quelques bases de gnomonique** », est consacrée à la théorie, à la science des cadrans solaires, depuis des notions préliminaires d'astronomie jusqu'à la formule permettant de passer de l'heure solaire à l'heure légale.
- La séquence 3, « **Les différents types de cadrans solaires** », fait découvrir et mieux comprendre la typologie et le principe de conception de divers cadrans solaires, des plus simples aux plus complexes.
- La séquence 4, « **Construire un cadran solaire** », constitue la partie pratique de la formation, et permet d'acquérir les connaissances nécessaires pour construire aisément des cadrans solaires.
- La séquence 5, « **Pour aller plus loin** », propose des « cadrans à découper », une bibliographie, une liste de sites web, des logiciels de référence, et bien d'autres compléments.

Au cours de la formation, des exercices accompagnés de leur corrigé sont proposés, ainsi que des quiz pour s'auto-évaluer (à la fin de chaque séquence).

La formation peut se suivre pas à pas (de façon séquentielle donc) ou en fonction des besoins, le lecteur pouvant, s'il le

souhaite, aller directement à telle ou telle séquence, voire à telle ou telle partie d'une séquence.

Des parcours différents de cette formation sont également possibles, pour ceux dont l'objectif n'est pas de réellement maîtriser la théorie et la pratique des cadrans solaires :

- La séquence 1, consacrée à l'histoire des cadrans solaires, pourra par exemple ne pas être considérée par certains comme indispensable.
- D'autres pourront aller directement à la séquence 4 (réalisation) sans suivre au préalable les séquences 2 (bases théoriques) et 3 (concepts et méthodes de conception) : ils ne devraient suivre qu'avec des difficultés réduites les sections de la séquence 4 portant sur les cadrans solaires les plus simples : gnomons, cadrans polaires et cadrans équatoriaux entre autres, mais aussi cadrans horizontaux ou verticaux.
- Les plus pressés pourront même aller directement à la section 5 et utiliser les « cadrans à découper » qui sont proposés et ne nécessitent pas de connaissances préalables.

Gardez cependant à l'esprit que suivre la formation dans sa totalité et dans l'ordre séquentiel proposé vous garantira la meilleure progression dans votre apprentissage du domaine.

L'auteur

Roger Torrenti est ingénieur de l'École centrale Paris et membre de la Commission des cadrans solaires de la Société astronomique de France.

Son enfance a été quelque peu marquée par les cadrans solaires : il passait ses vacances d'été à Coaraze, village de l'arrière-pays niçois autoproclamé « Village aux cadrans solaires ». Il a par ailleurs effectué une grande partie de sa scolarité (de la 6ème aux classes préparatoires) au Lycée Masséna de Nice, passant tous les jours devant le grand cadran solaire ornant sa façade et dont le tracé des lignes horaires l'a longtemps intrigué.

Depuis lors, sa passion pour les cadrans solaires s'est développée : il a enrichi sa bibliothèque de nombreux ouvrages français et étrangers sur les cadrans solaires, constitué une collection de cadrans solaires portatifs, profité de ses voyages autour du monde pour bâtir une photothèque assez fournie. Il a enfin calculé quelques cadrans solaires pour le compte de maîtres d'ouvrage et même lancé un concours international sur les cadrans solaires, alors qu'il dirigeait une équipe de recherches de l'École des Mines de Paris à Sophia Antipolis.

C'est dans un souci de partage et avec plaisir qu'il a voulu mettre les connaissances ainsi acquises au service de ceux qui suivront cette formation. Il tient à remercier très chaleureusement Nathalie Van de Wiele, fondatrice des FLOT sillages.info, pour l'avoir initié aux aspects techniques des FLOT/MOOC et lui avoir prodigué de précieux conseils éditoriaux et pédagogiques tout au long de son projet.

Et si vous testiez vos connaissances initiales ?

Cette introduction est terminée et nous vous proposons de tester vos connaissances initiales sur les cadrans solaires par un quiz de 15 questions.

Les bonnes réponses sont données à la page 190.

Question 1

Il y a 2000 ans environ, l'empereur Auguste faisait construire sur le Champ de Mars à Rome un « horologium », sorte de cadran solaire monumental dont le gnomon (indicateur) était constitué par :

- ☐ Le tronc d'un pin méditerranéen
- ☐ Un obélisque
- ☐ Une corde tendue par des esclaves nubiens

Question 2

En combien de jours la Terre tourne-t-elle autour du Soleil ?

- ☐ 365
- ☐ Entre 365 et 366
- ☐ 366

Question 3

Combien de temps met la lumière pour aller du Soleil à la Terre ?

- ☐ 0,008 s
- ☐ 8 s
- ☐ 8 min

Question 4

Lorsque l'on franchit, quelque part dans l'Océan pacifique (au niveau des îles Fidji), le méridien du fuseau horaire UTC+12 (ou UTC-12) de l'ouest vers l'est :

- On « perd un jour » (on passe d'un jour donné au jour suivant)
- On « gagne un jour » (on passe d'un jour donné au jour précédent)
- On reste au même jour et à la même heure UTC (qui veut dire « temps coordonné universel »)

Question 5

Aux pôles, combien de temps peut fonctionner un cadran solaire ?

- 3 mois
- 6 mois
- Toute l'année

Question 6

Si l'on utilise une boussole pour déterminer le nord géographique, il ne faut pas oublier de corriger la lecture par la valeur de :

- La latitude du lieu
- La déclinaison du Soleil
- La déclinaison magnétique

Question 7

Comment appelle-t-on l'endroit sur lequel les lignes horaires d'un cadran sont tracées ?

- La table
- La plaque
- Le plan

Question 8

Comment appelle-t-on la tige qui, par son ombre, indique l'heure sur un cadran solaire mural ?

- L'indicateur
- La flèche
- Le style

Question 9

Aux pôles, un simple bâton planté verticalement dans le sol (un gnomon) permet de réaliser un cadran solaire :

- Polaire
- Équatorial
- Analemme

Question 10

Comment appelle-t-on les spécialistes de la théorie, de la science, des calculs des cadrans solaires ?

- Gnomonistes
- Cadranistes
- Solaristes

Question 11

Un gnomon d'or est :

- Un trophée récompensant un concours annuel de gnomonistes
- Un triangle isocèle aux proportions particulières
- Le type de gnomon qui était utilisé par les Incas lors de célébrations

Question 12

Comment appelle-t-on les artisans-artistes spécialisés dans la réalisation, la confection des cadrans solaires ?

- Cadraniers
- Cadranniers
- Cadranistes

Question 13

Les cadrans les plus couramment dessinés sur les murs des bâtiments ont un style incliné selon :

- La longitude
- Le libre choix du cadranier
- L'axe de rotation de la Terre

Question 14

Une méridienne est un type particulier de cadran solaire :

- On y lit seulement le midi solaire
- L'ombre du Soleil ne peut s'observer que depuis une position assise
- Elle servait au XIXe siècle à marquer l'heure de la sieste (qui se disait alors méridienne)

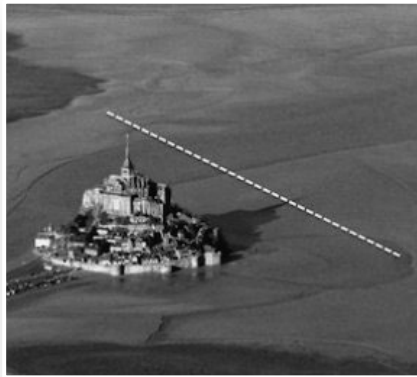
Question 15

On peut (dans l'hémisphère nord) tracer un cadran solaire sur un mur plein nord :

- Oui, mais il ne fonctionnera que si le mur est situé au pôle Nord
- Oui, mais il ne fonctionnera que le matin et le soir en été
- Non, il ne peut fonctionner

Conclusion

Cette séquence d'introduction est terminée. Découvrez dans les pages suivantes la séquence 1 consacrée à l'histoire des cadrans solaires.



En 1988, Fanchon et Laurent Maget ont conçu, réalisé et filmé un projet de cadran solaire monumental au Mont Saint-Michel en France. Utilisant comme sommet du gnomon la statue de saint Michel placée au sommet de l'église abbatiale et culminant à 150 mètres au-dessus du rivage, ils ont installé des infrastructures à marée basse permettant d'indiquer les heures et demi-heures, formant une ligne au pied du Mont, afin que ce cadran solaire fonctionne à l'équinoxe d'automne. Magnifique (quoique peu écologique) projet poétique de « land art », éphémère puisque les marées ont rapidement emporté les infrastructures.

(Illustration Roger Torrenti d'après une photographie Wikimedia Commons)

Séquence 1 : Petite histoire des cadrans solaires



*Le célèbre « Ange au cadran » de la Cathédrale de Chartres, France, datant de 1528.
Une copie le remplace depuis 1974.
(Photo Roger Torrenti)*

Introduction

Cette séquence vous invite à suivre le développement des cadrans solaires, depuis la plus haute Antiquité jusqu'à nos jours.

Vous découvrirez une construction monumentale datant de 5 000 ans et célébrant le solstice d'hiver, l'obélisque égyptien utilisé par l'empereur romain Auguste pour construire un « horologium » à Rome, les montres solaires à la mode autour du XVIIe siècle, les « héliochronomètres » installés dans les gares françaises jusqu'à la fin du XIXe siècle, un bâtiment étonnant de Le Corbusier, un cadran solaire fabriqué à l'aide d'une imprimante 3D, et bien d'autres choses encore...



*Un rare cadran solaire andalou (gnomon) datant du Xe siècle, à l'époque où Cordoue était la ville la plus rayonnante et la plus peuplée d'Europe. Il est exposé au musée de l'Alhambra à Grenade. Les hyperboles des solstices et la droite des équinoxes sont visibles.
(Photo Roger Torrenti)*

De la naissance à l'apogée

DES LA PLUS HAUTE ANTIQUITE

Le Soleil, qui apporte la lumière et la chaleur, qui conditionne et rythme la vie sur notre planète, a logiquement suscité l'attention (et souvent l'adoration) des humains depuis les temps les plus reculés.

Il est donc facile d'imaginer qu'il y a très longtemps les humains avaient appris à « lire » :

- La position du Soleil ou l'ombre portée par des éléments de leur environnement (rochers, arbres, montagnes, etc.) dans la journée, pour estimer quel moment de la journée il était,
- La position du Soleil au cours de l'année pour anticiper notamment ces périodes particulières que sont les solstices (voir séquence 2) : au solstice d'hiver le soleil recommence à monter dans le ciel, au solstice d'été, il est le plus haut dans le ciel.

Dès la fin de la Préhistoire, dès la plus haute Antiquité, apparaissent donc logiquement des gnomons, styles plus ou moins sophistiqués fixés verticalement dans le sol, dont l'ombre permet de suivre la course du Soleil. Il apparaît en même temps des monuments dont l'orientation ou les détails architecturaux célèbrent des moments particuliers de la course du Soleil dans le ciel (voir vidéo ci-contre).

Il est tout aussi logique que, dès cette période et tout au long de l'histoire, les savants spécialisés dans l'étude du Soleil, de la Lune et des autres astres, c'est-à-dire les astronomes, aient

joué un rôle important dans l'émergence et le développement des cadrans solaires.

« Un **gnomon** (ὁ γνώμων en grec ancien) désigne la règle (au sens matériel, ou moral), et par extension l'aiguille, le style du cadran solaire. Le mot dérive du verbe γινώσκω (racine gno- signifiant savoir, penser, juger) » (traduction Michèle Tillard).

Le **style** désigne la tige dont l'ombre sur la table du cadran (ou une partie de l'ombre, celle de l'extrémité de la tige par exemple) permet de lire l'heure.

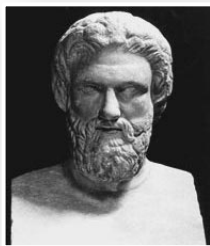


Il y a 5 000 ans : des cadrans solaires ? (1:41)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=EXswPFYq7qY>



DE L'ANTIQUITE A LA FIN DU MOYEN ÂGE



*« Toi, ta préoccupation, quand l'ombre du cadran atteindra 10
pieds, sera d'aller à un dîner bien gras »*

Aristophane - L'assemblée des femmes - 392 av. J.-C.

(Traduction Michèle Tillard, photo Wikimedia Commons)

Les premiers cadrans solaires, instruments gradués permettant d'indiquer une heure et d'en déduire des durées, remontent aux Chaldéens, Babyloniens et Égyptiens (mais aussi aux civilisations asiatiques, aux Chinois en particulier) puis se transmettent aux mondes grecs, romains, byzantins et arabes avant que leur théorie et leur pratique se diffusent dans le monde méditerranéen puis dans toute l'Europe.

Parmi les cadrans solaires de cette « première génération » :

- Des gnomons de plus en plus sophistiqués (permettant des mesures de plus en plus précises),
- Des cadrans portatifs basés sur la hauteur du Soleil comme celui datant de l'époque du pharaon égyptien Thoutmôsis III (1500 ans avant J.-C.),
- Des polos et scaphés chez les Grecs (500 ans av. J.-C.) - hemispheriums et hemicycliums chez les Romains - qui

ont peu à peu orné les lieux publics et les propriétés des notables,

- Des cadrans canoniaux servant à organiser les prières.

A noter que les cadrans d'alors indiquaient des heures temporaires (les durées du jour et de la nuit étaient divisées en 12 parts égales quel que soit le jour dans l'année) et qu'il faudra attendre le XVe siècle pour que les graduations des cadrans solaires soient basées sur des heures de durée égale. En parallèle, des instruments de mesure du temps, indépendants des indications du Soleil, comme les clepsydres (plus tard les sabliers), ensuite améliorées sous la forme d'horloges hydrauliques, sont inventés, pour pallier l'absence de soleil (la nuit notamment) et mesurer des durées (de discours ou plaidoiries par exemple).



3 000 ans d'histoire des cadrans solaires (2:00)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=JYk00FwiTHo>



L'APOGEE DES CADRANS SOLAIRES

Les cadrans solaires ont connu leur apogée du XVII^e siècle au XIX^e siècle, sous l'effet des progrès en astronomie, des développements scientifiques nécessaires aux explorations maritimes (octants et sextants) et de la nécessité accrue de connaître l'heure et de mesurer le temps dans une vie économique et sociale de plus en plus organisée.

Les gnomonistes maîtrisent mieux la théorie, alors que les cadraniers apportent une dimension artistique et un savoir-faire précieux dans la réalisation des styles et tables de cadrans solaires.

Les cadrans de style parallèle à l'axe de rotation de la Terre apparaissent (et révolutionnent le domaine), les cadrans analemmatiques également. Nous les étudierons plus en détail dans la séquence 3.

Des cadrans solaires fleurissent sur les bâtiments publics, les églises et les maisons dans une Europe qui connaît une période faste. Il est utile (et à la mode) d'avoir avec soi un cadran solaire portatif, une « montre solaire » (voir vidéo ci-contre). On règle montres et horloges à l'aide de cadrans solaires et on utilisera même jusqu'à la fin du XIX^e siècle des héliochronomètres pour régler, à quelques secondes près, le temps dans les gares françaises.

Un cadranier ou une cadranière réalise un cadran solaire sur le plan technique et artistique alors qu'un (une) gnomoniste est spécialiste de la théorie, de la science des cadrans solaires et calcule l'emplacement précis sur le cadran des indications d'heure ou de date

que comporte un cadran solaire. La frontière entre ces deux spécialités n'est pas étanche et l'on compte beaucoup de gnomonistes-cadraniers tout au long de l'histoire des cadrans solaires.

*La **table** d'un cadran solaire est la surface sur laquelle sont tracées les **lignes horaires***



Devenez célèbre en fouinant ! (1:03)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=8AjsMyJaC0>



Les cadrans solaires aujourd'hui

UN DOMAINE A L'ACTIVITE TOUJOURS FORTE

A l'heure du numérique, de la nanoseconde (voir vidéo ci-contre) et du virtuel, les cadrans solaires ne sont pas à ranger au rayon des objets désuets et inutiles. Ils restent des objets au fort potentiel pédagogique, peuvent être simples et précis, et continuer à utilement orner des bâtiments et enrichir l'espace urbain.

Des gnomonistes-cadraniers, seuls ou dans le cadre de groupes privés ou institutionnels, continuent de préserver et d'étendre les connaissances sur la théorie et la pratique des cadrans solaires.

Ils consacrent encore beaucoup de temps à écrire des ouvrages sur les cadrans solaires, à développer des logiciels permettant de tracer facilement les lignes horaires d'un cadran solaire, à enrichir des sites web dédiés aux cadrans solaires.

La séquence 5, intitulée « Pour aller plus loin », illustre cette activité toujours forte et présente également un répertoire de cadranières et cadraniers.

On peut aussi acheter des cadrans solaires dans des magasins spécialisés, dans des brocantes, en ligne (il suffit de visiter les sites d'eBay ou d'Amazon par exemple pour le constater), non seulement de vieux cadrans mais aussi des cadrans modernes (dont malheureusement certains cadrans produits à la chaîne, qui sont souvent peu esthétiques, et très rarement calculés pour le lieu où ils seront installés...).

Enfin et surtout on réalise encore beaucoup de cadrans solaires, notamment dans l'espace urbain.



A l'ère de la nanoseconde (1:36)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=Zo4bq30lZRg>



UN REGAIN D'INTERET ?

A l'heure où tout s'accélère (voir section précédente) et où « avoir le temps » est devenu un luxe, des courants de réflexion et d'action se sont développés ces dernières décennies, prônant une vie plus lente (« slow life »), plus en accord avec la nature, plus simple et plus équilibrée, plus éloignée de la société de consommation, plus consciente de l'importance du moment présent.

Dans ce contexte, au-delà de constituer des objets pédagogiques ou de décoration, alliant science et art, les cadrans solaires pourraient devenir un symbole de ces nouvelles aspirations et un regain d'intérêt pour cet objet pourrait donc bien survenir.

Mieux connaître notre rapport au Soleil permettra également, dans la construction de maisons, d'immeubles et de bâtiments publics, de dépasser le concept de « maison solaire » ou de « bâtiment de haute qualité environnementale », centré sur les économies d'énergie et la protection de l'environnement, pour faire jouer au Soleil un rôle encore plus actif dans l'espace de vie et de travail.

Ce dernier point est illustré dans la vidéo ci-contre, qui s'adresse à toutes celles et ceux qu'intéresse la conception, la rénovation ou l'amélioration de bâtiments ou d'espaces de vie (une salle de classe par exemple).



Un habitat encore plus solaire ? (2:01)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=X4o-2pptaSU>



Quiz d'auto-évaluation

Cette séquence est terminée et nous vous proposons de tester vos acquis par un quiz de 10 questions.

Les bonnes réponses sont données à la page 193.

Question 1

Le tumulus de Newgrange en Irlande, construit il y a 5 000 ans, présente la particularité que le soleil pénètre dans sa chambre funéraire centrale seulement :

- ☐ Au solstice d'été
- ☐ Au solstice d'hiver
- ☐ Aux équinoxes

Question 2

Il y a 2 000 ans environ, l'empereur romain Auguste faisait construire sur le Champ de Mars à Rome un « horologium », sorte de cadran solaire monumental dont le gnomon était constitué par :

- ☐ Le tronc d'un pin méditerranéen
- ☐ Un obélisque
- ☐ Une corde tendue par des esclaves nubiens

Question 3

Comment appelle-t-on les spécialistes de la théorie, de la science, des calculs des cadrans solaires ?

- ☐ Gnomonistes
- ☐ Cadranistes
- ☐ Solaristes

Question 4

Comment appelle-t-on les artisans-artistes spécialisés dans la réalisation, la confection des cadrans solaires ?

- Cadraniers
- Cadranniers
- Cadranistes

Question 5

À quoi servaient les « cadrans canoniaux » qui ornaient les édifices religieux au Moyen Âge ?

- À simplement indiquer l'heure au chanoine
- À faire retentir le canon de midi
- À indiquer le début des actes liturgiques

Question 6

Les cadrans solaires qui indiquaient des heures basées sur une division du jour en 12 parties égales sont appelés cadrans à heures :

- Babyloniques
- Temporaires
- Égales

Question 7

De quel cadran solaire antique l'hemicyclum était-il une version tronquée ?

- Du gnomon
- Du scaphé
- De la méridienne

Question 8

Jusqu'à la fin du XIXe siècle, où trouvait-on très souvent un « chronomètre solaire » ?

- Dans les gares ferroviaires
- Dans les mairies
- Dans les stades d'athlétisme

Question 9

Quelle fraction de seconde est une nanoseconde ?

- Un millième
- Un millionième
- Un milliardième

Question 10

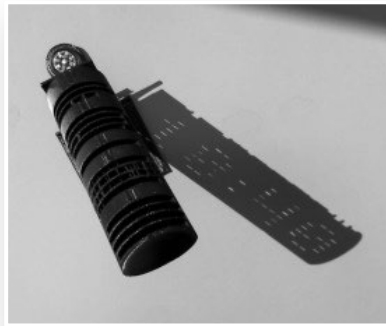
Qu'appelle-t-on « cadran solaire négatif » ?

- Un « cadran lunaire » : la lecture se fait à partir de l'ombre de la lune
- Un cadran qui se lit de l'intérieur d'un bâtiment : les rayons du soleil pénètrent au travers de fentes
- Un cadran qui indique les heures restant jusqu'au coucher du soleil : -5 indique par exemple qu'il reste 5 h jusqu'au coucher du soleil

Conclusion

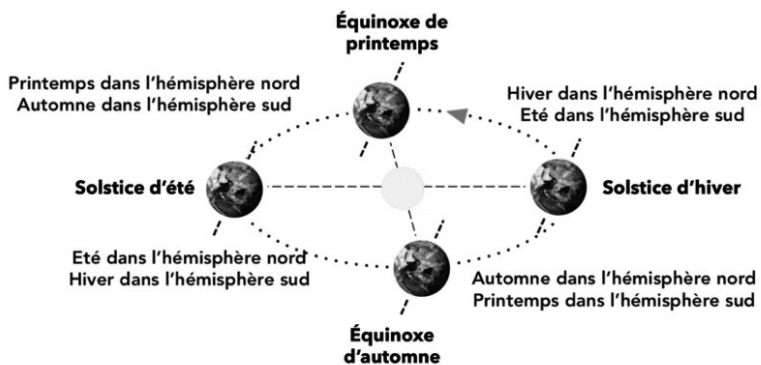
Nous espérons que vous avez apprécié cette séquence.

La séquence suivante « Quelques bases de gnomonique » est importante car elle aborde la théorie des cadrans solaires et vous permettra, une fois maîtrisée, d'avoir des bases suffisantes pour mieux comprendre le principe des divers types de cadrans solaires (séquence 3) et les construire plus facilement (séquence 4).



*Cadran solaire utilisant les technologies actuelles :
fabriqué avec une imprimante 3D. Il permet de
projeter sur une surface plane l'indication de l'heure
solaire sous forme numérique.
(Photo Roger Torrenti)*

Séquence 2 : Quelques bases de gnomonique



*Quatre positions particulières de la Terre
dans sa révolution autour du Soleil.
(Illustration Roger Torrenti)*

Introduction

Cette séquence est consacrée à la théorie, à la science des cadrans solaires, et vous conduit de notions préliminaires d'astronomie à la formule permettant de passer de l'heure solaire à l'heure légale.

Elle est un peu ardue et n'est pas strictement indispensable pour la construction de cadrans solaires, objet de la séquence 4, car des formules et des outils vous seront alors donnés.

Mais elle est essentielle car elle vous permettra, une fois maîtrisée, de mieux comprendre, de savoir expliquer, d'être plus à l'aise...

Gardez à l'esprit qu'une enquête réalisée fin 2017 par la Fondation Jean-Jaurès et Conspiracy Watch a révélé que :

- Près de 10 % des Français pensent que « Il est possible que la Terre soit plate et pas ronde »,
- Près d'un tiers des 18-24 ans partagent l'idée que « Dieu a créé l'homme et la Terre il y a moins de 10 000 ans ».

Il est de la responsabilité de chacun de développer et de partager ses bases scientifiques !

Notions d'astronomie...

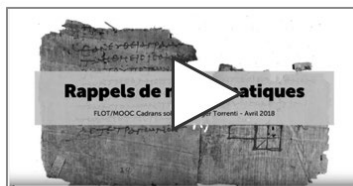
RAPPELS DE MATHEMATIQUES

Des notions de bases de géométrie (qui s'intéresse au plan et à l'espace) et de trigonométrie (qui s'intéresse aux triangles) sont nécessaires pour mieux comprendre les fondements théoriques mais aussi de nombreux aspects pratiques de la science des cadrans solaires. Elles sont connues depuis l'Antiquité et sont rappelées dans la vidéo ci-contre.

Les apprenants disposant déjà de bonnes bases mathématiques pourront ne pas visionner cette vidéo. Les autres redécouvriront peut-être des définitions et propriétés simples déjà étudiées mais peut-être oubliées concernant les droites et les plans, les triangles rectangles, les fonctions trigonométriques cosinus ou sinus, etc.

On notera que la trigonométrie sphérique (qui s'intéresse aux angles et distances sur une sphère) tient une place importante dans la théorie des cadrans solaires, ce qui est logique puisque, comme nous le verrons en détail, la Terre peut être assimilée à une sphère et que le mouvement apparent du Soleil s'étudie dans la « sphère céleste locale ».

Dans l'approche de la gnomonique que propose la présente formation, nous n'aborderons cependant pas ce domaine de la trigonométrie, nous contentant de la trigonométrie euclidienne.



Quelques bases de mathématiques (1:46)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=tQVUVGjAZ3s>



MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

La Terre effectue une rotation sur elle-même en un jour (ce qui crée la succession des jours et des nuits) dans le sens inverse des aiguilles d'une montre si l'on observe cette rotation du pôle Nord (ce qui fait que le Soleil se lève à l'est).

Elle effectue également une révolution autour du Soleil en une année (ce qui crée la succession des saisons) également dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (toujours pour un observateur situé au pôle Nord).

La vidéo ci-contre vous donnera plus de détails sur la rotation de la Terre sur elle-même et sa révolution autour du Soleil. Vous découvrirez ce que sont obliquité, écliptique, jour sidéral, précession des équinoxes et nutation, ainsi que ces moments si particuliers dans l'année que sont les solstices et les équinoxes.

Solstice vient des mots latins *sol*, « soleil », et *sistere*, « s'arrêter » : aux solstices, la hauteur du Soleil dans le ciel d'un jour à l'autre, à une heure donnée (à midi par exemple), semble figée : elle s'arrête de croître (au solstice d'été) ou de décroître (au solstice d'hiver).

Équinoxe vient des mots latins *æquus* (égal) et *nox*, *noctis* (nuit) : aux équinoxes, la durée du jour est égale à celle de la nuit en tout lieu de la Terre.



Mouvement de la Terre autour du Soleil (4:30)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=lkQE9wTZ-N4>

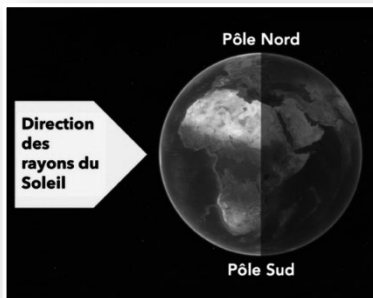


Rêvons un peu...

Le mouvement de la Terre autour d'elle-même et autour du Soleil peut faire rêver... Voici le projet que pourrait décrire quelqu'un ayant suivi cette formation jusqu'à ce point.

« Aller au pôle Nord assister à un équinoxe... Je suis attiré par ce moment, a priori magique, où, en cet endroit et pendant toute une journée, l'on se trouve à la limite fragile entre le jour et la nuit, où le Soleil reste scindé par l'horizon pendant 24 h tout en tournant autour de vous de 360°. Quelles sensations, quels sentiments provoque ce moment unique ? Comment y va-t-on ? J'aimerais bien aller au bout de cette idée... Pourquoi le pôle Nord et pas le pôle Sud d'ailleurs ? ».

Et vous, quelle expérience particulière liée à la rotation de la Terre autour d'elle-même et à sa révolution autour du Soleil aimeriez-vous connaître ?



*Vivre un moment particulier
aux pôles, le jour d'un équinoxe...
(Illustration Roger Torrenti)*

Exercice : Un peu d'astronomie

Retrouvez les chiffres ou mots-clés remplacés par des pointillés dans le texte ci-dessous (solution page 195).

Elle faisait une pause à ce moment précis de la formation.

Elle était épatée de ces chiffres : la distance de la Terre au Soleil était d'environ millions de kilomètres, ce qui faisait que la lumière du Soleil, à la vitesse de km/s, mettait minutes à nous parvenir !

Elle se demandait par ailleurs comment on avait pu mettre en évidence la des équinoxes due à un mouvement si lent de la Terre autour de son axe de

Elle n'avait pas tout à fait assimilé la raison pour laquelle un jour ne dure que 23 h 56 min 4 s mais avait bien noté les positions particulières de la Terre par rapport au Soleil conduisant aux d'automne et de printemps et aux d'hiver et d'été.

Elle avait pris la décision d'aller dans un pays proche de l'équateur pour connaître ces journées et ces nuits d'une durée de heures tout au long de l'année et d'aller au-delà du cercle polaire au moment du solstice d'été pour vivre l'expérience des nuits de 24 h.

LONGITUDE ET LATITUDE



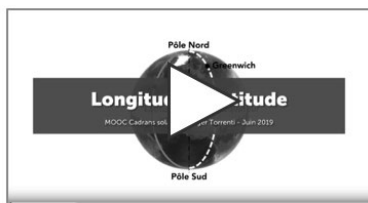
*Cadran solaire dans les Îles Solovki en Russie,
à environ 65° de latitude nord.
(Dims, Wikimedia Commons)*

La longitude et la latitude (que l'on appelle communément aujourd'hui les « coordonnées GPS ») sont, nous le verrons plus loin, des données essentielles dans la conception d'un cadran solaire et la conversion entre « temps solaire » et « temps légal ».

Si vous avez un GPS dans votre voiture, si vous utilisez un GPS portable pour la randonnée par exemple, ou si vous vous référez à certaines applications de votre « smartphone », vous aurez rapidement les coordonnées du lieu où vous vous trouvez.

Sinon, il existe plusieurs sites web comme <https://www.coordonnees-gps.fr> donnant les coordonnées GPS d'un lieu défini par une adresse (et réciproquement).

Vous pouvez également passer par Google Maps <https://www.google.fr/maps> qui donne, par simple clic, les coordonnées d'un lieu repéré sur une carte (voir aide Google Maps si nécessaire).



Longitude et latitude (2:43)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=tMTnB3rrJN4>



COMMENT TROUVER LE SUD ?

Le sud, mot qui vient de l'anglo-saxon Sund (soleil) et se disait midi en ancien français (on parlait alors de septentrion pour le nord), occupe une place particulière dans la théorie et la pratique des cadrans solaires.

Si l'on veut construire un cadran solaire précis, il s'agira d'abord de déterminer le sud. C'est la direction dans laquelle le Soleil est le plus haut dans le ciel au cours de la journée (lorsqu'il passe par le méridien du lieu), moment qui partage la journée en deux.

Cette introduction concerne bien entendu l'hémisphère nord puisque dans l'hémisphère sud, les cadrans solaires regardent le nord et qu'il s'agit alors de déterminer le nord.

Pour rendre notre propos général, nous conviendrons donc de rechercher la direction nord-sud...

Comment donc trouver la direction nord-sud ?

- Une façon simple et ne nécessitant aucun matériel spécifique, qui peut d'ailleurs constituer un exercice collectif pédagogique et ludique (dans une cour d'école par exemple) est la méthode des « cercles indiens » (vidéo ci-contre),
- Une façon plus instinctive est d'utiliser une boussole suffisamment précise en pensant à s'éloigner de toute masse métallique importante... Il faudra également tenir compte de la déclinaison magnétique du lieu, c'est-à-dire de l'angle (compté positivement vers l'est et négativement vers l'ouest) que fait la direction du nord géographique (celui qui nous intéresse) avec celle du

nord magnétique (celui indiqué par la boussole). Cet angle varie selon le lieu et (légèrement) selon le temps. Des sites Web vous permettront de connaître cet angle en fonction de la date, de la latitude et de la longitude (tel <http://www.geomag.nrcan.gc.ca/calc/mdcal-fr.php>).



Trouver le sud : la méthode des cercles indiens (1:37)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=4ULdRGgKH5Y>



MOUVEMENT APPARENT DU SOLEIL

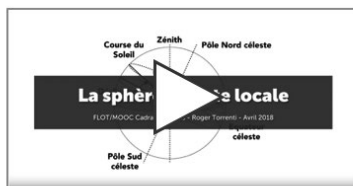
Cette section complète la section « Mouvement de la Terre autour du Soleil ».

C'est le mouvement apparent du Soleil au cours de la journée et de l'année qui intéresse le gnomoniste : c'est par la connaissance précise de ce mouvement qu'il pourra calculer et tracer son cadran solaire. Ce mouvement apparent se déduit facilement des sections précédentes.

La vidéo ci-contre vous donnera tous les détails nécessaires en partant de la « sphère céleste locale », c'est-à-dire du ciel vu depuis une personne à la surface de la Terre, revenant ainsi à la représentation ancienne (géocentrique) de l'Univers : une Terre immobile et les astres (dont le Soleil) tournant autour d'elle.

Cette vidéo est un peu ardue et il est donc nécessaire de la parcourir avec attention, plusieurs fois si nécessaire. Elle vous permettra notamment :

- De retrouver des notions déjà abordées dans la section « Mouvement de la Terre autour du Soleil » : déclinaison du Soleil et latitude d'un lieu notamment,
- De découvrir l'origine des signes du zodiaque,
- De mesurer l'importance pour un gnomoniste de trois paramètres relatifs au mouvement apparent du Soleil : la hauteur, l'azimut, et l'angle horaire du Soleil,
- D'apprendre que le tracé du cadran solaire le plus complexe se résume à la simple intersection d'un livre ouvert avec la table du cadran...



La sphère céleste locale (4:16)

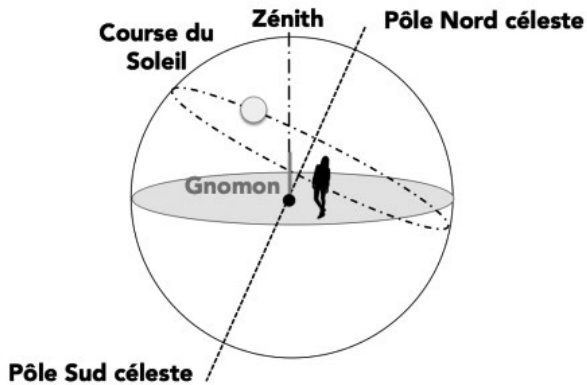
Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=lLyvp6V-0Oc>



Exercice : Ombre portée par l'extrémité d'un gnomon

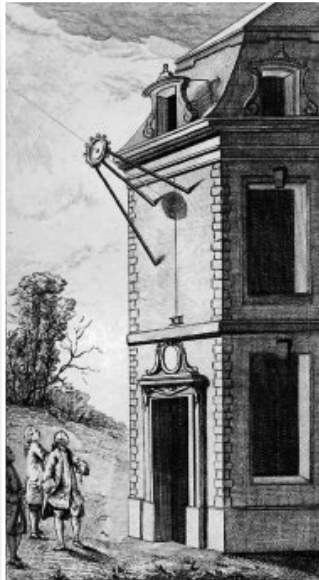
Puisque le Soleil décrit un cercle dans la sphère céleste locale, quel sera le type de courbe que décrira l'extrémité d'un gnomon sur une surface plane sur laquelle l'ombre sera lue ?

Solution page 196.



(Illustration Roger Torrenti)

Heure solaire et heure légale



*Au XVIII^e siècle, des gentilshommes
règlent leur montre mécanique sur l'heure indiquée
par un cadran à midi solaire.
(Bedos de Celles, Wikimedia Commons)*

LES FUSEAUX HORAIRES

L'heure locale (en un lieu donné) la plus logique est l'heure solaire : il est alors midi lorsqu'il est midi au soleil, c'est-à-dire lorsque le Soleil est le plus haut dans le ciel, lorsqu'il passe par le méridien du lieu. Il en a été longtemps ainsi, l'heure à Brest n'étant alors pas la même qu'à Nice par exemple. Mais l'avènement de modes de transport et de communication rapides, le train en premier lieu, ont conduit à harmoniser l'heure d'un pays - ce fut en 1891 pour la France- puis de convenir, au début du XXe siècle, d'heures coordonnées au niveau international par le biais de fuseaux horaires, l'heure légale étant par convention la même dans la portion du globe couverte par un fuseau horaire.

Le fuseau de référence, couvrant 15° de longitude, est centré sur Greenwich (Londres) au Royaume-Uni où passe le « méridien d'origine ». L'heure dans ce fuseau horaire est appelée UTC (temps universel coordonné). Il y a 24 fuseaux horaires, chacun couvrant 15° de longitude, et l'on trouve :

- Vers l'est, les fuseaux +1 (l'heure y est égale à UTC+1 ; il est centré sur le méridien 15° E), +2, +3,... +12 (demi-fuseau),
- Vers l'ouest, les fuseaux -1, -2 (l'heure y est égale à UTC-2 ; il est centré sur le méridien 30° O), -3,... -12 (demi-fuseau également).

Lorsqu'il est 13 h en France qui se réfère au fuseau +1, il est donc 7h à Washington qui se réfère au fuseau -5 (6 heures de décalage).

Il a été en outre convenu qu'en passant (d'ouest en est) du demi-fuseau +12 au demi-fuseau -12, on changerait logiquement de date, du jour J au jour J-1.

La vidéo ci-dessous vous propose une exploration plus détaillée de ces 24 fuseaux horaires. Vous verrez qu'ils ne sont pas réguliers : pour des raisons géographiques, politiques, historiques, pratiques, commerciales, etc. nous sommes bien loin d'une répartition en 24 fuseaux réguliers ! Cette vidéo utilise une carte disponible en haute définition sur Wikipedia (Fichier : World_Time_Zones_Map.png).



Les fuseaux horaires (1:35)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=7xpT30inj3Q>



Exercice : Une idée pour rajeunir et devenir riche...

Il existe donc un méridien dans l'Océan Pacifique (180° E) où l'on gagne un jour si on le traverse d'ouest en est. C'est pour cela par exemple que les avions partant de Tokyo vers San Francisco arrivent plus tôt qu'ils ne sont partis ! C'est pour cela aussi que finalement, Phileas Fogg, le héros de Jules Verne, a réussi son pari de faire le tour du monde en quatre-vingts jours !

Supposons qu'un ami vienne vous voir tout excité et vous dise : « *J'ai eu une idée géniale qui pourrait rapporter une fortune : tu sais qu'au pôle Nord les fuseaux horaires se rejoignent. Je vais donc acheter une motoneige (capable de tracter un traîneau pour 10 personnes) qui fera un cercle de 1km de circonférence autour du pôle Nord en se dirigeant constamment vers l'est. A chaque tour, l'équipage, que je conduirai, traversera le fameux fuseau horaire et gagnera un jour ! Comme la vitesse de la motoneige est de 40 km/h, l'équipage aura rajeuni de 40 jours en une heure, soit une année en 9 heures ! Je fais payer la journée sur mon traîneau 10 000 euros (pas cher pour rajeunir de 1 an en 9 heures !). En un mois j'aurai assez d'argent pour bien vivre (d'autant plus que j'aurai rajeuni moi aussi !) et bien partager... Qu'en penses-tu ? 3 millions d'euros en un mois ! Tu co-investis dans ce projet avec moi ?* ».

Que feriez-vous ?

Essayer de vous faire votre propre opinion avant de consulter la solution à la page 197...

Exercice : Êtes-vous sûr de votre jour de naissance ?

Si l'on vous demande votre date de naissance, vous n'hésitez pas une seconde et, si quelqu'un en doute, vous lui montrerez une pièce d'identité confirmant indéniablement votre affirmation.

Mais si l'on vous demande quel jour l'homme a posé pour la première fois le pied sur le sol lunaire (selon votre âge, demandez à vos parents ou grands-parents : ils auront probablement été marqués par la mission Apollo 11 et la sortie de Neil Armstrong de son module lunaire) vous risquez d'avoir quelques surprises avec des interlocuteurs étrangers, qui pourraient, par la même occasion, contester votre date de naissance...

Essayer de deviner pourquoi avant de consulter la solution complète à la page 198...



*Empreinte de Buzz Aldrin sur le sol lunaire.
(NASA, domaine public)*

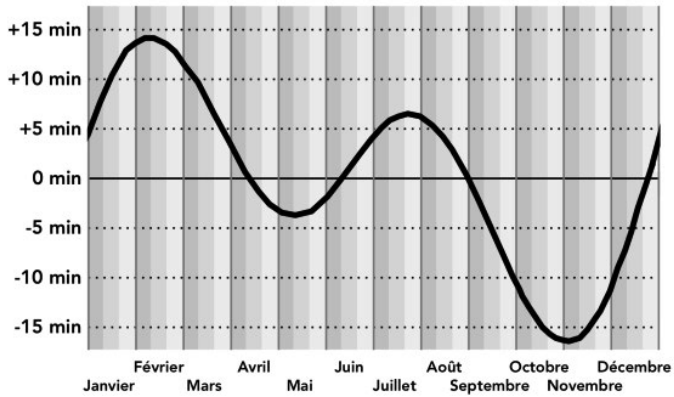
L'EQUATION DU TEMPS

Nous avons vu dans la section « Mouvement de la Terre autour du Soleil » que le « jour solaire », séparant deux passages du Soleil au même méridien, avait une durée de 24 h. En fait il s'agit d'une durée moyenne, et donc d'un « jour solaire moyen », car l'ellipticité de l'orbite de la Terre autour du Soleil et l'obliquité de la Terre (inclinaison de son axe de rotation par rapport au plan de l'écliptique) entraînent des variations de la durée du « jour solaire vrai ». L'accumulation de ces variations peut atteindre + ou - 16 minutes au cours de l'année.

L'écart entre « jour solaire moyen » et « jour solaire vrai » est appelé « équation du temps » et est détaillé dans la courbe ci-contre. Il est par exemple d'environ +4 min le 1^{er} janvier, et il faudra donc ajouter 4 min à l'heure lue sur un cadran solaire. De même il faudra retrancher 10 min le 1^{er} octobre.

C'est cette équation du temps que certains cadrans solaires représentent par un analemme (qui a la forme d'un 8), souvent au niveau du midi solaire, afin que le passant puisse corriger l'heure lue sans l'aide de la courbe de l'équation du temps. Cette courbe est cependant quelquefois représentée à côté d'un cadran solaire afin de permettre une correction quelle que soit l'heure de la journée.

Pour plus de détails, consulter le site Web très complet (en anglais) de Kevin Karney (<https://www.equation-of-time.info>) ou télécharger l'article de Denis Savoie (<http://www.cadrans-solaires.info/sequence2/res/Article-cadran-info-Denis-Savoir-EdT.pdf>) paru dans la revue Cadran-Info de la Société Astronomique de France.



*Courbe de l'équation du temps.
(Illustration Roger Torrenti)*



*Cadran solaire avec analemme de correction
de l'heure pour midi solaire à Pontarlier.
(Arnaud 25, Wikimedia Commons)*

COMMENT PASSER DE L'HEURE SOLAIRE A L'HEURE LEGALE

Considérons un cadran solaire situé sur le méridien central d'un fuseau horaire donné, soit 15° E pour la France (l'heure légale en France est UTC+1 - voir la section sur les fuseaux horaires). Lorsqu'on lit midi au cadran solaire, on doit ajouter ou retrancher la valeur correspondante de l'équation du temps (voir section précédente) et 1 h de plus si la France est, au jour considéré, « passée à l'heure d'été ».

Si le cadran solaire est en un lieu de ce fuseau horaire mais non situé sur le méridien 15° E il faudra également effectuer une correction de longitude. En effet, si le cadran est situé à Dijon par exemple, à 5° E environ, soit à 10° d'écart de longitude à l'ouest du méridien 15° E, le Soleil ne sera pas encore au plus haut dans le ciel à Dijon lorsqu'il sera midi au méridien 15° E : il ne le sera que 40 min plus tard (puisque 1 heure correspond à 15° de longitude, les 24 fuseaux horaires couvrant le tour complet de la Terre soit 360°). Il faut donc ajouter 40 min à l'heure lue sur le cadran. On retranchera de même cette correction de longitude si le cadran est situé à l'est du méridien de référence du fuseau considéré.

On notera que la Commission européenne a annoncé en septembre 2018 qu'elle proposerait aux États-membres de supprimer l'heure d'été, les économies d'énergie liées à ce changement d'heure ne se révélant finalement pas suffisantes au regard des désagréments engendrés. Une décision, si elle était confirmée, qui modifierait la formule ci-contre (pour les pays européens) selon que l'heure d'hiver ou l'heure d'été soit conservée (de façon similaire dans chaque pays ?) mais... tout ceci devrait prendre du temps !

La formule à retenir pour passer de l'heure
solaire à l'heure légale est :

$$\text{TL} = \text{TS} + \text{ET} + 1\text{h (si « heure d'été »)} + \text{CL}$$

Avec :

- TL : heure légale (celle de nos montres)
- TS : heure solaire (lue sur le cadran)
- ET : valeur de l'équation du temps au jour considéré (à lire sur un schéma ou une table)
- CL : correction de longitude (positive si le cadran est situé à l'ouest du méridien de référence du fuseau horaire, négative s'il est situé à l'est de ce méridien)

NB : Cette formule est universelle : elle peut être utilisée pour la France métropolitaine et pour tout point du globe. Vous pourrez trouver dans certains textes ou certains ouvrages une formule un peu différente : elle rajoute +1h à la correction et compte l'écart de longitude par rapport à Greenwich, ce qui bien sûr revient au même, la formule n'étant valable cependant que pour la France métropolitaine. C'est pourquoi nous préférons la formule présentée dans cet ouvrage.

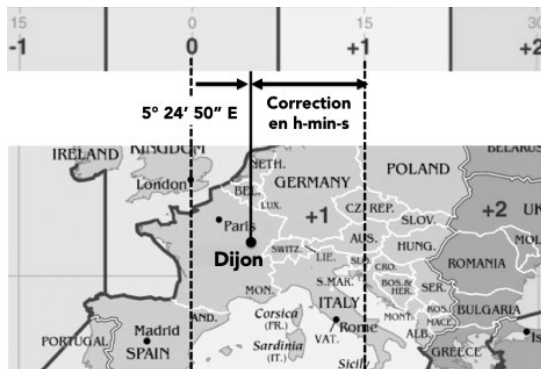
Exercice : Convertir les écarts de longitude

Comment convertir les écarts de longitude en h-min-s ?

Dans l'exemple de la section précédente « Comment passer de l'heure solaire à l'heure légale » il a été dit que *puisque le cadran est situé à Dijon, à 5° E, soit à 10° d'écart de longitude à l'ouest du méridien central du fuseau horaire auquel se réfère la France (15° E), Il faudra ajouter 40 min à l'heure lue sur le cadran.*

Supposons maintenant que le cadran solaire soit plus précisément situé à 5° 24' 50" E. Quelle correction de longitude faut-il apporter à la lecture de l'heure solaire sur le cadran ?

Solution à la page 199.



(Illustration Roger Torrenti)

Exercice : Ne pas réveiller ses amis...

Si vous avez la chance de visiter un jour le Rajasthan (« pays des rois »), État au nord-ouest de l'Inde, et si vous passez par Jaipur, ne manquez pas de visiter le Yantra Mandir (« temple des instruments »), un magnifique observatoire astronomique construit au début du XVIII^e siècle et dans lequel est notamment installé le Brihat Samrat Yantra, un imposant cadran solaire de 27 m de haut, le plus grand cadran solaire équatorial du monde. Il permet de lire l'heure à quelques secondes près ! Imaginez donc que vous visitez ce site pendant les vacances de Noël (saison très agréable et ensoleillée au Rajasthan !) et que vous lisez, sur le Brihat Samrat Yantra une heure (solaire) de 11 h 52 min 20 s. Quelle précision ! Vous êtes tellement admiratif que vous vous apprêtez à téléphoner à des amis en France pour leur faire part de votre émotion... Mais vous hésitez : quelle heure est-il alors en France ? Saurez-vous la retrouver par le calcul ? La solution est donnée à la page 201.



*L'imposant cadran solaire équatorial du Yantra Mandir
à Jaipur en Inde - la personne à gauche de la photo
donne l'échelle - (Photo Roger Torrenti)*

Exercice : Trouver simplement la direction nord-sud...

Nous avons déjà vu dans cette séquence que l'on pouvait trouver la direction nord-sud à l'aide d'un gnomon et de la méthode des « cercles indiens ».

Maintenant que vous avez appris à convertir l'heure solaire en heure légale (ou l'inverse) sauriez-vous imaginer une méthode encore plus rapide pour trouver la direction nord-sud à l'aide d'un gnomon (ou d'un fil à plomb) et ce en randonnée, dans une cour d'école, chez vous, etc. ?

La solution est donnée à la page 203.



Un gnomon sur une autre planète...

Photo prise peu après l'atterrissage sur Mars de la station InSight fin 2018 : on aperçoit un gnomon permettant de connaître avec précision l'orientation du sismomètre de la station.

(Photo NASA, domaine public)

Quiz d'auto-évaluation

Cette séquence est terminée et nous vous proposons de tester vos acquis par un quiz de 10 questions. Les bonnes réponses sont données à la page 204.

Question 1

En combien d'heures la Terre tourne-t-elle sur elle-même (« jour sidéral ») ?

- ☐ 12 h
- ☐ Un peu moins de 24 h
- ☐ 24 h

Question 2

En combien de jours la Terre tourne-t-elle autour du Soleil ?

- ☐ 365
- ☐ Entre 365 et 366
- ☐ 366

Question 3

Combien de temps met la lumière pour aller du Soleil à la Terre ?

- ☐ 0,008 s
- ☐ 8 s
- ☐ 8 min

Question 4

Quel angle est compris entre 0° et 180° et est accompagné de la mention E ou O ?

- ☐ La latitude
- ☐ La longitude
- ☐ Les deux

Question 5

Le mot français sud vient du mot anglo-saxon Sund qui signifie :

- Soleil
- Sud
- Sens (direction)

Question 6

Si l'on utilise une boussole pour déterminer le nord géographique, il ne faut pas oublier de corriger la lecture par la valeur de :

- La latitude
- La déclinaison du Soleil
- La déclinaison magnétique

Question 7

Les signes du zodiaque sont associés à des constellations :

- Devant lesquelles le Soleil se situe sur la sphère céleste locale
- Qui sont situées à la verticale de la sphère céleste locale
- Que la Lune cache à la Terre

Question 8

Dans la sphère céleste locale le Soleil décrit, dans son mouvement diurne :

- Une ellipse
- Un cercle
- Une hyperbole

Question 9

Lorsque l'on franchit, quelque part dans l'Océan pacifique (au niveau des île Fidji), le méridien du fuseau horaire UTC+12 (ou UTC-12) de l'ouest vers l'est :

- On « perd un jour » (on passe d'un jour donné au jour suivant)
- On « gagne un jour » (on passe d'un jour donné au jour précédent)
- On reste au même jour et à la même heure UTC

Question 10

Laquelle des formules suivantes est correcte ?

- Heure solaire = heure légale + Valeur de l'équation du temps + 1 h (si « heure d'été ») + Correction de longitude
- Heure légale = heure solaire + Valeur de l'équation du temps + 1 h (si « heure d'été ») + Correction de latitude
- Heure légale = heure solaire + Valeur de l'équation du temps + 1 h (si « heure d'été ») + Correction de longitude

Conclusion

Nous espérons que vous avez apprécié cette séquence.

La séquence suivante est importante car elle vous fera découvrir et mieux comprendre le principe de divers cadrans solaires, des plus simples aux plus complexes, et vous permettra ainsi d'aborder dans les meilleures conditions la séquence 4 consacrée à la construction de cadrans solaires.



Si vous avez suivi attentivement cette séquence, on ne pourra pas vous écrire ces quelques mots que le docteur Watson avait écrits à Sherlock Holmes dans « Le chien des Baskerville » (Arthur Conan Doyle) : « Je me rappelle encore votre superbe indifférence à propos du mouvement terrestre. Que vous importe celui des deux, de la Terre ou du Soleil, qui tourne autour de l'autre ! ».
(Sidney Paget, Wikimedia Commons)

Séquence 3 : Les différents types de cadrans solaires

Introduction

Cette séquence se propose de vous faire découvrir et mieux comprendre le principe de divers cadrans solaires, des plus simples (gnomons et méridiennes, cadrans équatoriaux, cadrans polaires) aux plus complexes (cadrans analemmatiques, cadrans de hauteur ou d'azimut, cadrans commémoratifs) en passant par les cadrans plus traditionnels, verticaux ou horizontaux.

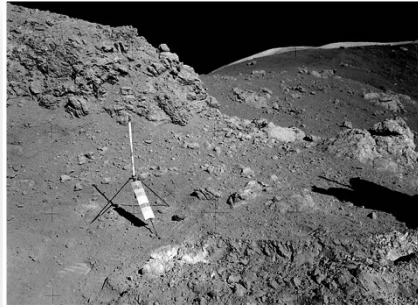
Elle vous permettra d'aborder dans les meilleures conditions la séquence 4 consacrée à la construction de cadrans solaires.



*Un cadran solaire horizontal sur un timbre de la République démocratique allemande en 1983.
(Hochgeladen von Nightflyer, Wikimedia Commons)*

Des cadrans très simples

LES GNOMONS ET MERIDIENNES



Gnomon installé à des fins scientifiques sur le sol lunaire par la mission Apollo 17 (NASA, domaine public)

Un gnomon, nous l'avons vu dès la séquence 1, peut être un simple bâton installé verticalement sur une surface horizontale, objet utilisé probablement depuis la plus haute Antiquité pour étudier le mouvement du Soleil dans le ciel, par l'observation de l'ombre que le gnomon projette sur le sol.

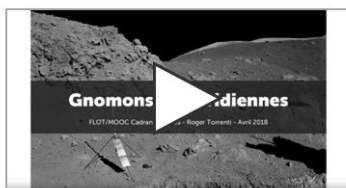
Nous avons également vu qu'un gnomon pouvait permettre de déterminer par la méthode des cercles indiens la direction nord-sud et donc le midi solaire, et qu'une méridienne murale relevait du même concept qu'un gnomon.

Mais un gnomon n'est pas un cadran solaire à proprement parler puisqu'il n'est pas destiné à indiquer l'heure solaire

tout au long de la journée (sauf lorsqu'il est une variante du cadran horizontal que nous verrons plus loin).

Un gnomon ne serait donc qu'un objet à usage limité et ne méritant pas que l'on s'y attarde ? Au contraire ! La vidéo ci-dessous vous propose de découvrir les caractéristiques très intéressantes des gnomons, qui en font un outil pédagogique simple d'apparence mais riche de propriétés...

Dans la séquence suivante, nous verrons également comment réaliser facilement divers types de gnomons et méridiennes et comment en souligner les richesses pédagogiques.



Les gnomons et méridiennes (3:08)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=NHYQTfZpHgY>



LES CADRANS EQUATORIAUX



*Cadran solaire équatorial dans la Cité Interdite à Pékin, Chine
(Sputnikcccp-commonswiki, Wikimedia Commons)*

Un cadran solaire équatorial est un cadran solaire dont la table, comportant des lignes horaires tracées sur ses deux faces, est parallèle à l'équateur terrestre et dont le style est parallèle à l'axe de rotation de la Terre et donc perpendiculaire à la table. Il se présente souvent comme un disque gradué traversé de part en part par le style en son centre, comme une toupie posée sur le sol...

Il existe également d'autres types de cadrans équatoriaux, et notamment les cadrans armillaires, dérivés des sphères armillaires utilisées par les astronomes dès l'Antiquité. L'heure se lit alors sur une bande graduée enroulée autour de l'équateur d'une sphère virtuelle dont le style constituerait l'axe de rotation.

Le cadran équatorial est un cadran d'apparence simple, que l'on peut rendre très précis, et qui est un objet pédagogique particulièrement adapté pour expliquer le mouvement apparent du Soleil dans le ciel. On peut en outre utiliser le même cadran équatorial en tout point du globe en ajustant simplement l'angle de son style avec l'horizontale. Nous verrons comment construire un tel cadran dans la séquence suivante.

La vidéo ci-dessous vous permettra de mieux comprendre le concept de cadran équatorial et les caractéristiques particulières de ce type de cadran aux différentes latitudes : elle vous conduira d'un cadran monumental au pôle Nord à un cadran très simple sur un mur plein nord à l'équateur...



Les cadrans solaires équatoriaux (3:27)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=OCIXqUFbzZA>



LES CADRANS POLAIRES



Cadran polaire réalisé par John Carmichael à Tucson, Arizona. (John Carmichael, Wikimedia Commons)

Un cadran polaire est un cadran très simple à concevoir (et à réaliser, comme nous le verrons dans la séquence 4) : sa table plane et son style sont parallèles à l'axe de rotation de la Terre ; les lignes horaires sont des droites parallèles, d'un tracé symétrique par rapport à la ligne de midi solaire.

La vidéo ci-contre vous permettra de mieux connaître le concept et les propriétés d'un tel cadran solaire qui, une fois tracé, peut être utilisé en tout point du globe (il suffit de modifier l'inclinaison de sa table). Elle vous fera également découvrir la proximité des cadrans polaires avec les cadrans équatoriaux et les cadrans verticaux installés sur des murs plein est ou plein ouest.



Les cadrans solaires polaires (3:04)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=-wschexVso4>



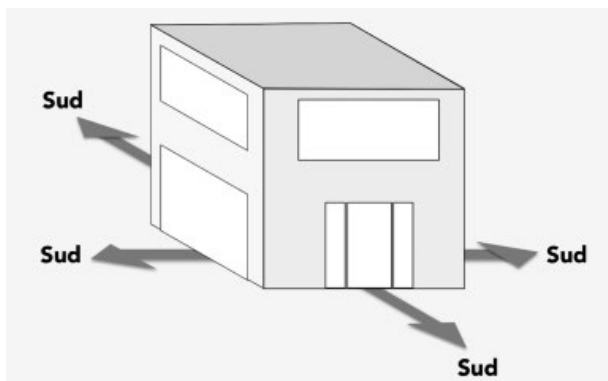
Exercice : Votre ami déménage

Au début de l'été, votre ami, amateur de maisons contemporaines et de soleil, a trouvé dans une annonce la maison de ses rêves : c'est une maison de forme cubique avec ses 4 faces vitrées dirigées vers le sud !

Il est totalement séduit par l'annonce (même si elle ne précise pas le lieu où est bâtie cette maison), ne discute pas le prix et fait ses bagages dans la nuit. Le lendemain matin, un ours sauvage vient rôder autour de la maison. Il vous appelle et vous décide à venir le rejoindre pour l'aider à son emménagement et construire un cadran solaire sur chaque face du bâtiment et sur le toit.

- Question 1 : quelle est la couleur de l'ours ?
- Question 2 : quel type de cadran construirez-vous sur chaque face du bâtiment et sur la toiture-terrasse ?

Solutions à la page 206.



Les cadrans horizontaux ou verticaux



De gauche à droite et de haut en bas : un cadran mural à Tourrettes-sur-Loup, France, un cadran horizontal d'extérieur à Ludwigshafen, Allemagne, une montre solaire du début du XIXe siècle et un cadran cubique portatif de la fin du XVIIIe siècle en vente sur eBay.

(De gauche à droite et de haut en bas : Adri08, Wikimedia Commons ; Immanuel Giel, Wikimedia Commons ; Photo Roger Torrenti ; Copie d'écran du site eBay.fr)

DES CADRANS TRES COURANTS

Nous allons maintenant nous intéresser aux cadrans solaires les plus courants, ceux que chacun de nous a déjà eu l'occasion de voir.

Il s'agit des cadrans verticaux, anciens ou plus récents, qui ornent les façades des maisons, églises, et bâtiments publics, et des cadrans horizontaux, de grande taille dans des espaces publics ou plus petits, se déclinant même en « montres solaires ».

Ces cadrans, dont le style est parallèle à l'axe de rotation de la Terre, sont plus complexes d'apparence que les gnomons et méridiennes, ou que les cadrans équatoriaux et polaires étudiés précédemment, mais restent simples à comprendre.

La vidéo ci-contre vous permettra de mieux cerner le principe de tels cadrans, de découvrir les similitudes entre un cadran vertical et un cadran horizontal, de constater l'évolution du tracé des lignes horaires lorsque les murs sont « déclinants » (non dirigés selon l'axe nord-sud).

Vous observerez enfin la transformation de ces cadrans verticaux et horizontaux dans différentes régions du monde.



Les cadrans solaires verticaux ou horizontaux (6:04)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=sk6l8DN4V3o>



Exercice : Le voisin est-il devenu fou ?

Vous rejoignez pour les vacances une maison que vous avez louée dans l'arrière-pays niçois.

Votre voisin s'affaire sur le mur de sa maison faisant face au nord et vous apprend qu'il a décidé d'y construire un cadran solaire.

A-t-il perdu la raison ?

Solution à la page 207.

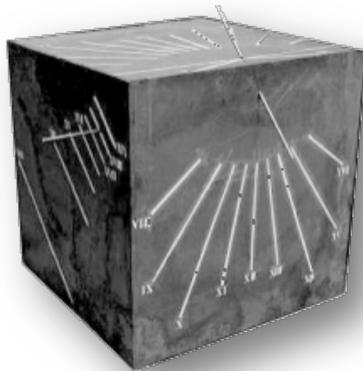


*Installation d'un cadran solaire
dans l'arrière-pays niçois.
(Photo Roger Torrenti)*

Exercice : Et si l'on inclinait le cube ?

Un gnomoniste peut être tenté de réaliser un cadran cubique (portatif ou monumental comme celui représenté ci-dessous) et démontrera sa maîtrise de la science des cadrans solaires en traçant, sur chacune de ses faces, des lignes horaires adaptées. Mais supposons que vous choisissiez d'utiliser un cube qui serait incliné d'un angle avec l'horizontale égal à la latitude du lieu. Pouvez-vous imaginer comment seraient tracées les lignes horaires sur les 6 faces ?

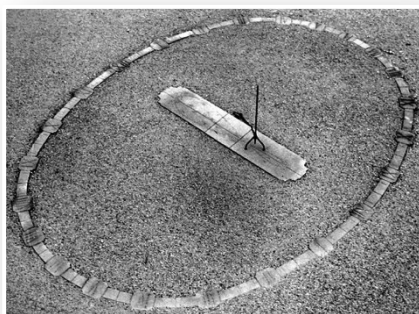
Solution à la page 208.



Cadran cubique (de 1m d'arête) comportant un cadran solaire sur chacune de ses cinq faces visibles, réalisé en 2009 par les élèves du lycée polyvalent de Carmaux, France dans le cadre d'un « atelier solaire ».
(Illustration Roger Torrenti d'après <http://michel.lalos.free.fr>)

Autres types de cadrans solaires

LES CADRANS ANALEMMATIQUES



Cadran analemmatique du monastère de Brou, France, datant du début du XVI^e siècle (S. Wetzel, Wikimedia Commons)

Un cadran analemmatique se rencontre assez fréquemment dans les espaces publics. Sur un sol horizontal sont disposés des marques horaires autour d'une ellipse. L'ombre d'une personne (plus rarement d'un gnomon) placée sur une « ligne-calendrier » (à la bonne date !) au centre du cadran, indique l'heure solaire.

Ce type de cadran a été très populaire autour du XVII^e siècle, lorsqu'il était courant de porter une montre solaire. Afin d'éviter l'utilisation d'une boussole, beaucoup de montres solaires étaient en effet équipées alors d'un double cadran : un cadran horizontal classique (à style polaire) et un cadran analemmatique. Lorsque les deux cadrans indiquaient la même heure, le cadran était correctement orienté et l'heure

indiquée était la bonne. A noter qu'une telle montre solaire peut donc être utilisée comme une boussole !

C'est un cadran assez difficile à comprendre (son principe de conception est détaillé dans la vidéo ci-dessous) et donc d'un intérêt pédagogique plus limité que les gnomons et méridiennes, cadrans équatoriaux et polaires, cadrans muraux et horizontaux. En outre, il est d'une précision très moyenne, l'ombre d'une personne étant peu précise. Cependant il implique la personne qui s'en sert, qui devient une partie du cadran (le gnomon). Il devient donc à ce titre intéressant à installer dans un espace public, d'autant plus qu'il reste très simple à réaliser, comme nous le verrons dans la séquence 4.

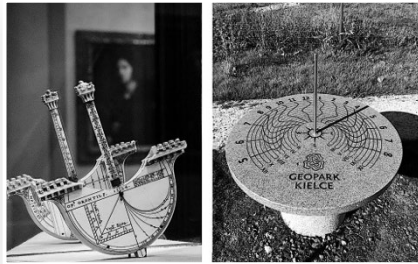


Les cadrans analemmatiques (2:20)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=Ts3gDUWIUCo>



LES CADRANS DE HAUTEUR ET D'AZIMUT



Le « Navicula de Venetiis » exposé au musée Poldi Pezzoli de Milan, Italie et un « Cadrans araignée » dans le Geopark de Kielce, Pologne (Prelvini et Pibwl, Wikimedia commons)

Nous avons déjà présenté, dans cette séquence, des cadrans solaires dont la conception est basée sur l'angle horaire du Soleil (cadrans équatoriaux, cadrans polaires, cadrans verticaux ou horizontaux à style polaire), et des cadrans plus particuliers mais assez répandus : les gnomons et méridiennes, ainsi que les cadrans analemmatiques.

Nous allons nous intéresser maintenant aux cadrans de hauteur et cadrans d'azimut, c'est-à-dire aux cadrans dont la conception est basée sur l'un ou l'autre de ces deux angles qui, nous l'avons vu dans la séquence 2 (Mouvement apparent du soleil), permettent de déterminer précisément, dans la sphère céleste locale, la position du Soleil dans le ciel à tout moment de la journée.

Compte tenu de l'importance de ces angles, Il est logique que l'on ait, depuis plusieurs siècles (et même depuis

l'Antiquité), conçu et construit des cadrans de hauteur ou d'azimut. Il existe une très grande variété de tels cadrans, au-delà des gnomons et méridiennes, et des cadrans analemmatiques, déjà abordés dans cette séquence : ceux dérivés des quadrants antiques (le « navicula », le cadran de Regiomontanus, le cadran capucin), le cadran de berger, l'anneau équinoxial et l'anneau solaire, le cadran araignée, le cadran stéréographique, ainsi que les compas solaires.

La vidéo ci-dessous vous permettra de mieux connaître ces cadrans de hauteur et d'azimut dont certains sont de tracé assez élaboré mais d'autres faciles à réaliser : on vous proposera par exemple dans la séquence 4 de construire un cadran de berger et un compas solaire.



Les cadrans de hauteur et d'azimut (6:50)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=aXxrZtZ9Qh8>



D'AUTRES CADRANS ENCORE



Cadran solaire commémoratif de l'Ecole des mines de Paris à Sophia Antipolis, France. (Photo Roger Torrenti)

Il existe bien d'autres cadrans solaires permettant, à partir de la position du Soleil, de déterminer l'heure par la position de la lumière passant dans un trou ou une fente, par l'ombre d'un style ou d'un objet quelconque, etc.

La vidéo ci-contre propose d'illustrer cette diversité, sans entrer en détail dans leur principe de fonctionnement. Vous y découvrirez en particulier plusieurs types de cadrans commémoratifs (dont un « canon solaire »), un « cadran à réflexion », un cadran sphérique, un cadran bifilaire et même un cadran lunaire...

Est-il utile de préciser que lorsque vous aurez parfaitement assimilé la présente formation, vous pourrez a priori vous

lancer dans le tracé d'un cadran solaire sur une surface quelconque !

Dans la prochaine séquence vous serez par ailleurs proposées les connaissances nécessaires pour la construction d'un cadran commémoratif.



Bien d'autres types de cadrans solaires (2:19)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
https://www.youtube.com/watch?v=YS_vHR3Pvzs



Quiz d'auto-évaluation

Cette séquence est terminée et nous vous proposons de tester vos acquis par un quiz de 10 questions. Les bonnes réponses sont données à la page 209.

Question 1

À midi solaire à l'aide d'un gnomon, aux équinoxes, on peut aisément déterminer :

- ☐ La latitude du lieu
- ☐ La longitude du lieu
- ☐ L'altitude du lieu

Question 2

Aux équinoxes, la trace de l'extrémité de l'ombre d'un gnomon sur le sol au cours d'une journée sera :

- ☐ Une hyperbole
- ☐ Une parabole
- ☐ Une droite

Question 3

Aux pôles, un gnomon devient un cadran :

- ☐ Polaire
- ☐ Équatorial
- ☐ Analemmatique

Question 4

La table d'un cadran équatorial est :

- ☐ Parallèle au plan de l'équateur terrestre
- ☐ Perpendiculaire au plan de l'équateur terrestre
- ☐ Inclivée de 45° par rapport au plan de l'équateur terrestre

Question 5

Sur un cadran équatorial, les lignes horaires sont :

- Parallèles entre elles
- Régulièrement réparties autour d'un cercle
- Remplacées par des points

Question 6

Un cadran solaire est dit polaire lorsque :

- Sa table et son style sont inclinés selon l'axe de rotation de la Terre
- Sa table est horizontale et son style est incliné selon l'axe de rotation de la Terre
- Sa table est verticale et son style est incliné selon l'axe de rotation de la Terre

Question 7

Les cadrans les plus couramment dessinés sur les murs des bâtiments ont un style incliné selon :

- La longitude
- L'axe de rotation de la Terre
- Le libre choix du gnomoniste

Question 8

Peut-on utiliser un cadran horizontal dessiné pour une latitude donnée dans un lieu situé à une autre latitude ?

- Non, c'est impossible
- Oui, en redessinant les lignes horaires
- Oui, en ajustant simplement l'inclinaison de la table

Question 9

Les marques horaires d'un cadran analemmatique traditionnel sont situées :

- Autour d'un cercle
- Autour d'une ellipse
- Le long d'une droite

Question 10

Le « cadran de berger » est du type :

- Cadran de hauteur
- Cadran d'azimut
- Cadran de déclinaison

Conclusion

Nous espérons que vous avez apprécié cette séquence.

Si vous avez suivi avec attention les trois premières séquences, vous avez désormais le bagage suffisant pour aborder en toute confiance la séquence suivante consacrée à la construction de cadrans solaires !



*Sur le mur de l'église de Guillaumes, France,
un cadran construit en 1786.
(Photo Roger Torrenti)*

Séquence 4 : Construire un cadran solaire

Introduction



*Des élèves d'une école de Strasbourg construisent un cadran solaire dans la cour de leur école dans le cadre d'un projet pédagogique développé avec l'aide de l'Université de Strasbourg.
(Capture d'écran de la vidéo « Un cadran solaire à l'école »
<https://www.youtube.com/watch?v=u4RiaGqo3dI>)*

Cette séquence constitue la partie pratique de la formation et vous permettra d'acquérir les connaissances permettant de construire simplement des cadrans solaires, des plus simples aux plus complexes :

- gnomons et méridiennes,
- cadrans équatoriaux et polaires,
- cadrans muraux et horizontaux,
- cadrans analemmatiques et commémoratifs,
- cadrans de berger et compas solaires.

Il n'est pas strictement indispensable d'avoir suivi les séquences 2 (bases théoriques) et 3 (concepts et méthodes

de conception) pour suivre cette séquence, tout au moins pour la construction des cadrans les plus simples.

Si vous les avez suivies, vous comprendrez cependant mieux les principes de construction proposés, tirerez un plus grand profit de ce que vous réaliserez, et pourrez plus facilement expliquer à des tiers le principe et les propriétés de votre cadran.

Comment construire un cadran solaire

QUEL CADRAN CONSTRUIRE, AVEC QUELS OUTILS ?

Grâce aux connaissances acquises au cours de cette séquence vous pourrez construire un gnomon ou une méridienne, un cadran équatorial ou polaire, un cadran mural ou horizontal, un cadran analemmatique ou commémoratif, un cadran de berger ou un compas solaire. Vous pourrez même, si vous avez suivi attentivement les séquences 2 et 3, construire a priori tout type de cadran solaire !

Lequel choisir parmi ceux proposés dans cette séquence ? Cela dépendra en fait de l'usage que vous prévoyez d'en faire : votre cadran sera-t-il avant tout un objet pédagogique ou décoratif, est-il destiné à un usage personnel ou collectif, est-ce plutôt un cadran de petite dimension, ou sera-t-il installé à l'extérieur, voire dans un lieu public, etc. ?

De quels « outils » devrez-vous disposer ? Au niveau des connaissances de base, elles ne sont pas très étendues : nous avons tenté de résumer dans la vidéo ci-contre l'essentiel de ce qui a été vu dans les séquences 2 et 3 et qui vous sera nécessaire pour tout projet de cadran solaire.

Au niveau des méthodes, celles qui sont suggérées (fil à plomb pour déterminer la direction sud-nord, tracé à la montre pour les lignes horaires) sont très simples. Dans beaucoup de cas il sera inutile d'avoir recours à des formules mathématiques complexes ou à des logiciels, et votre matériel se limitera à un fil à plomb, une équerre, un rapporteur...

Quelles indications faire figurer sur votre cadran solaire ? Les heures pleines bien entendu mais aussi les demi-heures et les quarts d'heure si la dimension du cadran le permet, que vous pourrez compléter par le parcours de l'ombre de l'extrémité du style aux solstices et aux équinoxes, par des analemmes (pour la correction de l'équation du temps), par des indications de dates, etc.

Mais veillez à ce que votre cadran ne devienne pas trop difficile à lire, qu'il ne se transforme pas en un étalage de vos compétences...

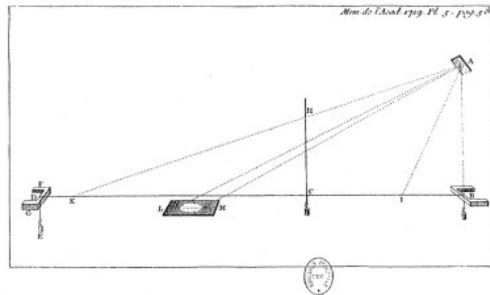


Les essentiels du gnomoniste (2:28)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=Sx3VH9DS73U>



UN GNOMON OU UNE MERIDIENNE



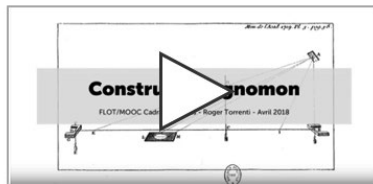
*Schéma de construction de la méridienne à fil de
Delisle - Mémoires de l'Académie, 1719.
(Delisle, Wikimedia Commons)*

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que les gnomons pouvaient apparaître comme des objets à l'intérêt limité (indiquant la direction nord-sud, le midi solaire) mais qu'ils étaient en réalité des outils pédagogiques riches de propriétés.

Nous vous proposons dans la vidéo ci-contre un ensemble de connaissances, complétant celles données dans la vidéo de la séquence précédente, qui vous permettront de réaliser divers types de gnomons et méridiennes selon votre inspiration et la dimension pédagogique que vous voudrez leur donner.

Avec un gnomon dans un cour d'école, on pourra par exemple expliquer le mouvement apparent du Soleil dans le ciel, retrouver la latitude ou la longitude par de simples calculs, mettre en valeur la direction nord-sud, aborder les écarts heure solaire - heure légale autour du midi solaire,

observer la position de l'ombre aux changements de saison ou à des dates particulières, marquer sur le sol l'endroit où l'ombre du gnomon indiquera la date de la fête de l'école, etc.



Comment construire un gnomon ou une méridienne (3:41)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=KnbP-Vx2AXU>



UN CADRAN EQUATORIAL



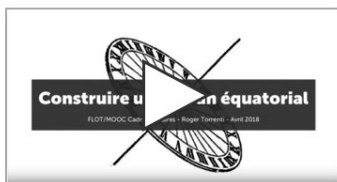
*Schéma d'un cadran solaire équatorial
dans l'Encyclopædia Britannica de 1911.
(Encyclopædia Britannica, Wikimedia Commons)*

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que le cadran équatorial était un cadran solaire bénéficiant de nombreux atouts : il est d'apparence simple, potentiellement très précis, utilisable partout par simple ajustement et très adapté sur le plan pédagogique. Il convient d'ajouter un autre atout essentiel : il est de construction réellement facile !

La vidéo ci-contre vous donnera les indications nécessaires à la réalisation d'un cadran équatorial de forme circulaire ou rectangulaire, fixe ou portable.

La réalisation d'un cadran armillaire n'est pas abordée, étant plus délicate ; les plus motivés pourront cependant la déduire aisément des indications données.

Dans la section de la séquence suivante consacrée aux « cadrans à découper » il vous sera en outre proposé de réaliser (ou de faire réaliser, même par des enfants) un cadran équatorial portable.



Comment construire un cadran solaire équatorial (2:44)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC

<https://www.youtube.com/watch?v=gKKd-b375sk>

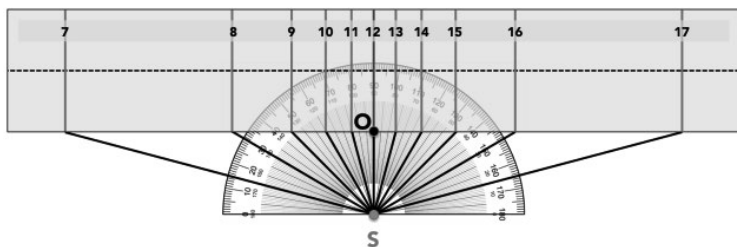


Exercice : Réaliser un cadran universel en 2 min !

Les cadrans solaires peuvent être vraiment simples et rapides à réaliser. Voulez-vous tenter de relever le défi de construire un cadran solaire en 2 min chrono ?

Solution à la page 211.

UN CADRAN POLAIRE

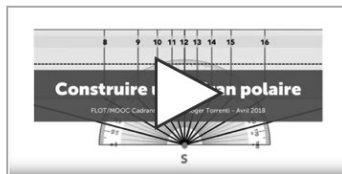


*Vous n'aurez besoin que d'une équerre
pour construire un cadran polaire précis !
(Illustration Roger Torrenti)*

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que le cadran polaire était un cadran dont on pouvait facilement concevoir (et donc expliquer) le principe, ce qui en fait un objet pédagogique très intéressant.

Nous avons également souligné qu'il était particulièrement facile à réaliser, ce que la vidéo ci-contre vous propose de constater.

Dans la section de la séquence suivante consacrée aux « cadrans à découper » il vous sera en outre proposé de réaliser (ou de faire réaliser, même par des enfants) un cadran polaire portable.



Comment construire un cadran solaire polaire (2:14)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=XAzx2E4btvE>



UN CADRAN VERTICAL OU HORIZONTAL



*Cadran horizontal monumental dans les jardins de la
Cour suprême de Perth, Australie.
(Dcoetzee, Wikimedia Commons)*

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que les cadrans verticaux ou horizontaux étaient en apparence plus complexes que les cadrans équatoriaux ou polaires mais restaient relativement simples à appréhender.

Dans la vidéo ci-contre vous constaterez qu'ils sont également de construction très simple, que vous envisagiez un cadran vertical classique, un cadran horizontal « de colonne », voire une montre solaire, enfin un cadran horizontal extérieur.

Un rapporteur, un crayon, une montre et la connaissance de la formule permettant de passer de l'heure solaire à l'heure légale (voir séquence 2) vous suffira dans la plupart des cas pour construire un cadran bien précis !



**Comment construire un cadran solaire vertical ou horizontal
(3:38)**

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=X64Xgm3-Dus>



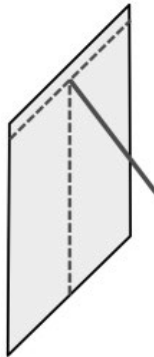
Exercice : Tracé à la montre...

Vous avez entrepris de réaliser un cadran solaire à Genève en Suisse (longitude $6^{\circ} 9' E$), sur un mur vertical plein sud. Votre cadran est installé, le style est placé et les lignes de 12 h et de 6 h - 18 h sont tracées.

Vous pouvez donc commencer à tracer, par un beau jour ensoleillé du milieu du mois de juillet, l'ensemble des lignes horaires et commencez logiquement par celle de 7 h.

Quelle heure votre montre indiquera-t-elle lorsqu'il sera temps de figer l'ombre du style en traçant la ligne de 7 h solaire sur votre cadran.

La solution est donnée à la page 213.



(Illustration Roger Torrenti)

Exercice : Un cadran qui indique l'heure légale...

Vous avez déjà construit un premier cadran solaire mais avez été déçu par la réaction des personnes à qui vous avez expliqué qu'il fallait, pour obtenir l'heure légale à partir de la lecture de l'heure solaire, ajouter la valeur de l'équation du temps, une correction de longitude, et une heure supplémentaire si nous étions en « heure d'été ».

Ces personnes ont considéré que c'était compliqué, que cela n'était pas « cool », en un mot, se sont désintéressées de votre cadran...

Vous vous décidez donc à construire un nouveau cadran solaire dont les lignes horaires intégreraient la correction de longitude, et de faire figurer une double numérotation des heures en ajoutant, dans une couleur différente les heures d'été. Ainsi pour obtenir l'heure légale à partir de la lecture de l'heure solaire, il suffira d'ajouter la valeur de l'équation du temps, que vous pourrez insérer sous la forme d'une courbe dans le cadran. Comme l'équation du temps n'entraîne qu'une correction de 0 à 15 min, votre cadran indiquera de toute manière une heure très proche de l'heure légale sans correction !

Mais comment tracer des lignes horaires qui intègrent la correction de longitude ?

La solution est donnée à la page 215.

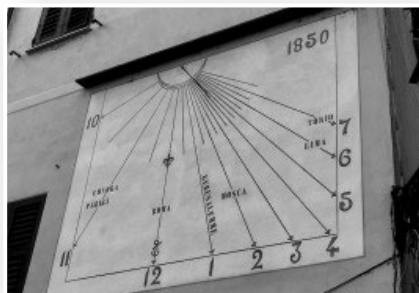
Exercice : En bon citoyen...

Le maire de votre commune se réjouit de compter un gnomoniste parmi ses administrés et vous propose de calculer un cadran solaire qui serait installé sur le mur de la mairie faisant face au sud.

En bon citoyen (et fier gnomoniste) vous acceptez sans hésiter d'accomplir cette tâche facile mais il ajoute qu'il souhaite également faire figurer sur le cadran solaire l'heure de midi de la ville grecque avec laquelle la commune est jumelée, ville située à 23° E de longitude alors que votre commune est située à 6° E de longitude.

Comment ferez-vous pour tracer cette autre ligne de midi solaire ?

La solution est donnée à la page 216.

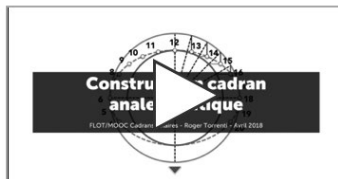


*Cadran solaire sur un mur de Camogli (Italie),
daté de 1850, indiquant également l'heure
dans d'autres villes du monde.
(Photo Roger Torrenti)*

UN CADRAN ANALEMMATIQUE

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que les cadrans analemmatiques étaient peu précis et d'un intérêt pédagogique plus limité que les gnomons et méridiennes, cadrans équatoriaux et polaires, cadrans muraux et horizontaux. Mais nous avons également souligné qu'ils avaient l'avantage de pouvoir impliquer la personne qui veut y lire l'heure, l'invitant à être le gnomon du cadran solaire, et qu'ils étaient simples à réaliser.

La vidéo ci-dessous vous montrera les étapes nécessaires à la réalisation d'un tel cadran.

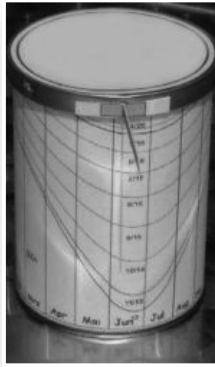


Comment construire un cadran solaire analemmatique (3:15)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=qVcatQEeYDI>



UN CADRAN DE BERGER



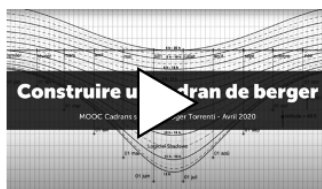
Exemple de réalisation d'un cadran de berger (Skno, Wikimedia Commons)

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que, parmi les cadrans de hauteur, les « cadrans de berger » ou « montres de berger » étaient de conception assez facile à comprendre.

Sur un corps cylindrique sont gravées ou tracées des lignes horaires permettant de lire avec une assez bonne précision l'heure solaire (voire l'heure légale), sans l'usage de boussole, en faisant pivoter la partie supérieure du cadran afin que le style horizontal corresponde à la bonne date, les dates étant indiquées sur le pourtour de la partie supérieure.

Nous vous proposons, par la vidéo ci-contre, de vous guider dans la construction, relativement simple et rapide, d'un tel

cadran, dont l'invention remonte au moins au Moyen-Âge et que les bergers des Pyrénées avaient l'habitude d'utiliser comme montre...

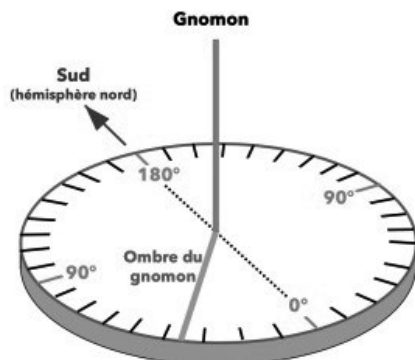


Comment construire un cadran de berger (7:24)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=dxEqS9E7Xyo>



UNE BOUSSOLE OU COMPAS SOLAIRE



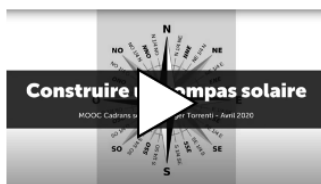
*Un compas solaire précis et très simple à réaliser
(Illustration Roger Torrenti)*

Tout cadran solaire peut être transformé en boussole solaire. En effet un cadran solaire donne l'heure solaire s'il est correctement orienté. Réciproquement, si l'on connaît l'heure solaire, on peut déterminer la direction nord-sud et donc disposer d'une boussole solaire. Bien entendu, pour qu'un cadran solaire soit facilement utilisable comme boussole solaire il doit être portable, de dimensions assez réduites...

Nous avons vu au cours de la séquence précédente que, parmi les « cadrans d'azimut » (ou « cadrans de direction »), certains compas solaires, c'est-à-dire des cadrans solaires utilisés comme boussoles dans la navigation maritime ou terrestre, pouvaient être très simples de conception et très précis.

Nous vous proposons, dans la vidéo ci-dessous, de réaliser un tel compas solaire, qui pourra bien sûr, réciproquement, tenir le rôle d'un cadran donnant l'heure solaire, voire l'heure légale, avec une très bonne précision.

Et si vous êtes intéressé-e par les compas solaires, vous découvrirez avec plaisir la « saga du compas solaire viking » dans la séquence suivante.



Comment construire un compas solaire (4:12)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=ul-Sn3PvVP8>



UN CADRAN COMMEMORATIF

Nous avons découvert au cours de la séquence précédente différents types de cadrans commémoratifs, qui peuvent se concevoir comme des objets extérieurs ou des dispositifs intégrés à la structure d'un bâtiment.

Le principe en est simple : le Soleil n'a une position donnée dans le ciel (définie par son azimut et sa hauteur) qu'à deux dates de l'année (sauf aux solstices !). Supposons que vous souhaitiez célébrer une date et une heure données : celles d'un événement personnel, local, national ou international.

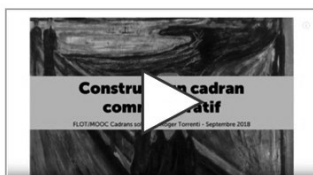
Il suffira alors de calculer l'azimut et la hauteur correspondants (pour la latitude de votre lieu) et d'orienter un mécanisme dans cette direction : ce peut être une perforation dans une structure, ou l'extrémité d'un style, comme nous l'avons vu dans la vidéo de la séquence 3 « D'autres cadrans encore », ou d'autres mécanismes que l'on pourra imaginer.

A la date et à l'heure données, les rayons du Soleil seront précisément dans cette direction et l'endroit commémoratif que vous aurez choisi sera éclairé d'une tâche lumineuse ou touché par une ombre.

Bien entendu, puisque le Soleil a en fait une position donnée deux fois dans l'année, le mécanisme fonctionnera également à « l'autre date » : il s'agira d'ignorer cette date ou d'obturer le dispositif ... En outre, si le mécanisme n'est pas assez précis, il fonctionnera aussi autour de cette date, la hauteur du Soleil ne variant que très peu d'un jour sur l'autre.

Il s'agira donc d'être le plus précis possible dans la conception et l'orientation du mécanisme.

La vidéo ci-dessous rassemble les bases nécessaires pour construire un tel cadran commémoratif. Il vous suffira d'écrire 2 formules dans un tableur de type Excel ou sur votre calculatrice scientifique...



Comment construire un cadran solaire commémoratif (3:22)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=BrRBkLIUsc>



Laissez aller votre imagination !

A plusieurs reprises, tout au long de cette séquence, une recommandation vous a été donnée : « Laissez aller votre imagination ! », que ce soit dans la conception du style du cadran, de sa table ou du cadran dans son ensemble.

Cet appel récurrent à ne pas vous contenter de reproduire ce qui existe, à sortir des sentiers battus, à inventer et créer, est une invitation à prendre plus de plaisir dans votre réalisation, à découvrir et mettre en lumière toute la richesse du domaine des cadrans solaires.

Pour illustrer cette recommandation, deux exemples.

- Le premier est une sélection des réponses reçues au « Concours cadrans solaires » que l'auteur de ce livre avait organisé en 1980 alors qu'il dirigeait une équipe de recherches de l'Ecole des mines de Paris à Sophia Antipolis, près de Nice (France). Il est vrai que le cahier des charges du concours laissait (volontairement) beaucoup de place à la création, les spécifications n'étant que peu contraignantes. La vidéo ci-contre vous permettra d'avoir un aperçu de l'originalité de quelques-unes des 170 candidatures reçues du monde entier.
- Le second exemple est la production d'un membre de la Commission des cadrans solaires de la Société astronomique de France, Claude Gahon, qui réjouit ses collègues à chaque réunion en leur faisant découvrir ses cadrans très originaux (mais aussi esthétiques, poétiques, artistiques), production prolifique présentée sur le site d'un autre membre de cette Commission, Michel Lalos (http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/doc_cadrans/collection_privee/cs_claude_gahon.html).



Laissez aller votre imagination ! (4:43)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=KzwQEdpidtw>



Quiz d'auto-évaluation

Cette séquence est terminée et nous vous proposons de tester vos acquis par un quiz de 10 questions. Les bonnes réponses sont données à la page 217.

Question 1

On met quelquefois un œilleton à l'extrémité d'un gnomon pour :

- Mieux symboliser la forme humaine d'un gnomon à ses origines
- Pouvoir observer les positions du Soleil dans le ciel
- Permettre une meilleure lecture de la direction de l'ombre du gnomon

Question 2

Une méridienne peut être installée :

- Uniquement sur un mur vertical
- Uniquement sur une surface horizontale
- A l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment

Question 3

Un cadran équatorial armillaire sera particulièrement adapté :

- Durant les solstices et les équinoxes
- À l'équateur
- Aux pôles

Question 4

La table d'un cadran polaire est inclinée par rapport à l'horizontale d'un angle égal :

- À la latitude
- Au complément de la latitude ($90^\circ - \text{Latitude}$)
- À 0 (l'angle est nul)

Question 5

On ne peut tracer sur un cadran polaire :

- La ligne de midi
- Les lignes horaires 6 h et 18 h
- La droite des équinoxes

Question 6

Aux pôles un cadran horizontal à style polaire devient un cadran :

- Polaire
- Vertical
- Équatorial

Question 7

On peut (dans l'hémisphère nord) tracer un cadran solaire sur un mur plein nord :

- Oui, et il fonctionnera
- Oui, mais il ne fonctionnera pas
- Oui, à condition que l'on se trouve au pôle Nord

Question 8

Une fois un style polaire installé sur un mur vertical ou une surface horizontale on peut tracer les lignes horaires d'un cadran par un jour ensoleillé avec :

- Avec une simple équerre
- Avec une équerre et une boussole
- Avec une montre et la formule de conversion heure solaire - heure légale

Question 9

Un cadran analemmatique ne peut pas s'utiliser :

- Aux pôles au moment des solstices
- À l'équateur au moment des équinoxes
- Au niveau des tropiques du Cancer et du Capricorne

Question 10

Les marques horaires d'un cadran analemmatique sont réparties couramment autour :

- D'une ellipse
- D'un arc de parabole
- D'un arc d'hyperbole

Conclusion

Nous espérons que vous avez apprécié cette séquence.

Il ne vous reste plus qu'à vous lancer dans la construction de cadrans solaires, après avoir parcouru la séquence suivante qui, « Pour aller plus loin » propose des ressources pédagogiques (dont des cadrans à découper), une bibliographie, une liste de sites web, des formules utiles, des logiciels de référence, les tables de la déclinaison du jour et de l'équation du temps, une présentation de cadraniers et cadraniers francophones, et bien d'autres compléments.



*Cadran solaire monumental à Natal au Brésil,
dans l'hémisphère sud à $5^{\circ} 47' S$ de latitude.
A noter que c'est l'ombre de la partie verticale du style
triangulaire et non sa partie inclinée, qui indique l'heure !
(Patrick, Wikimedia Commons)*

Séquence 5 : Pour aller plus loin

Introduction

Cette séquence vous propose des ressources pédagogiques (dont des cadrans à découper), une bibliographie, une liste de sites web, des formules utiles, des logiciels de référence, les tables de la déclinaison du jour et de l'équation du temps, une présentation de cadrannières et cadraniers francophones, et bien d'autres compléments.

Elle vous permettra de compléter votre connaissance du domaine et d'aller plus loin si vous le souhaitez.



*Un enfant indique par son ombre l'heure
sur le cadran analemmatique installé à l'Université
d'Arizona à Tucson, États-Unis.
(Photo Roger Torrenti)*

Ressources générales

BIBLIOGRAPHIE

De très nombreux ouvrages consacrés à la théorie et à la pratique des cadrans solaires ont été publiés, depuis des siècles, et de nouveaux ouvrages (ou des rééditions) viennent, année après année, encore enrichir cette collection. La liste ci-dessous n'est donc qu'indicative.

La Terre est un cadran solaire

Mitsumasa Anno - L'école des loisirs - 1986

Un très sérieux et agréable livre animé (pop-up) destiné aux plus jeunes et aux moins jeunes !

Les cadrans solaires - Tout comprendre pour les construire

Denis Savoie - Belin - 2015

Un ouvrage sérieux et complet bénéficiant d'une agréable mise en page et de belles illustrations

La Mesure du temps dans l'Antiquité

Jérôme Bonnin - Les Belles Lettres - 2015

Un ouvrage très complet sur la place des cadrans solaires dans l'Antiquité

Les Cadrans solaires - Traité de gnomonique théorique et appliquée

René R. J. Rohr - Gauthier-Villars - 1965

Un ouvrage relativement récent et très complet sur l'histoire, la théorie et la pratique des cadrans solaires

Cadrans du soleil

Pierre Ricou et Jean-Marie Homet - Jeanne Laffitte - 1984

Un très bel album de photographies sur les cadrans solaires des Alpes et de la Méditerranée

Gnomonique ou traité théorique et pratique de la construction de cadrans solaires

Guillaume Bigourdan - Gauthier-Villars - 1922 (réédité par Forgotten Books en 2017)

Un ouvrage considéré pendant longtemps comme incontournable dans le domaine

La gnomonique pratique ou l'art de tracer les cadrans solaires avec la plus grande précision

François Bedos de Celles - Briasson, Paris - 1760 (réédité par Hachette livre et la BNF en 2018)

Un ouvrage ancien constituant un des tout premiers livres de référence sur les cadrans solaires

Paroles de soleil

Olivier Escuder - Le Manuscrit - 2005 (2 tomes)

Un recensement très complet des devises de cadrans solaires en France

Sundials

R. Newton Mayall - Sky Publishing Corp. - 1938

Un des premiers ouvrages modernes et complets parus en langue anglaise (nouvelle version en 1973)

Sundials - Their theory and construction

Albert E. Waugh - Dover publications - 1973

Un ouvrage de référence en langue anglaise de parution relativement récente

SITES WEB

Il existe de très nombreux sites Web proposant des ressources très riches et très complètes sur les cadrans solaires, qui vous permettront d'approfondir votre formation si vous le souhaitez.

La présente liste est volontairement réduite afin de vous procurer quelques points d'entrée fiables sur le Web mais n'hésitez pas à partir à la découverte avec un moteur de recherche !

Les premiers sites que nous vous conseillons sont des sites « institutionnels », très complets et dont le sérieux ne peut être mis en doute.

C'est le cas du site de la Commission des cadrans solaires de la Société astronomique de France (1) ou de celui de la Commission des cadrans solaires du Québec (2). Les anglophones trouveront également intérêt à découvrir les sites de la *North American Sundial Society* (3) et de la *British Sundial Society* (4).

Parmi les sites en langue française développés par des passionnés de cadrans solaires et constituant de réelles mines d'or, nous citerons ceux de Michel Lalos (5), de Joël Robic (6), d'Yvon Massé (7) et de Pierre Causeret (8).

Enfin, pour rendre hommage aux cadraniers, nous vous proposons de visiter le site de John Carmichael (9), l'un des gnomonistes-cadraniers contemporains les plus prolifiques des États-Unis d'Amérique.

Liens cités dans le texte ci-contre

- (1) <http://www.commission-cadrans-solaires.fr/>
- (2) <http://cadrans-solaires.scg.ulaval.ca/>
- (3) <http://sundials.org/>
- (4) <http://sundialsoc.org.uk/>
- (5) http://michel.lalos.free.fr/cadrans_solaires/
- (6) <http://www.cadrans-solaires.fr/>
- (7) <http://gnomonique.fr/>
- (8) <http://www.astromaquettes21.com/>
- (9) <http://www.sundiasculptures.com/>



« Cadrans solaires et bandes dessinées » : l'une des
innombrables rubriques du site de Michel Lalos.
(Copie d'écran du site)

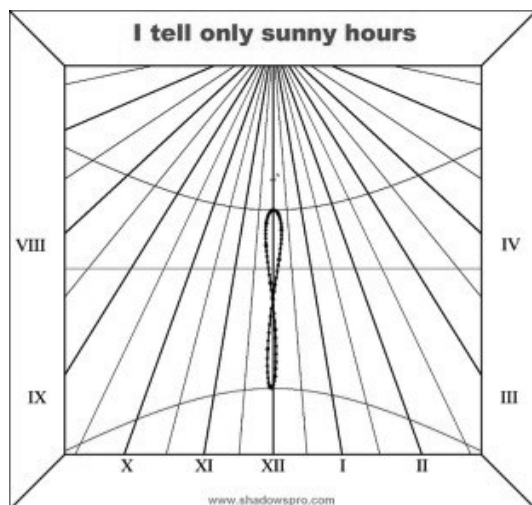
LOGICIELS

Il existe un grand nombre de logiciels gratuits ou payants permettant de tracer des cadrans solaires sur des ordinateurs de bureau, voire des téléphones portables ou des tablettes, fonctionnant sur diverses plateformes (Windows, Mac OS, Linux), ou encore disponibles sur des sites web à logiciel intégré. La Commission des cadrans solaires de la Société astronomique de France tient à jour un inventaire (voir www.commission-cadrans-solaires.fr/?page_id=2937).

Nous nous limiterons à un seul exemple, celui du logiciel Shadows (voir <https://www.shadowspro.com>). Logiciel gratuit dans sa version de base, fonctionnant sous Windows, ce logiciel est développé par François Blateyron et a été primé par la Société astronomique de France. Il est adapté au tracé de cadrans solaires de différents types : polaire, horizontal ou vertical, analemmatique, bifilaire, cylindrique, etc.

Dans sa version gratuite, il permet le tracé complet de cadrans plans à style polaire (horizontal, vertical déclinant, équatorial, polaire, méridienne) :

- Tracé du cadran à l'échelle 1,
- Tracé des arcs diurnes, des heures solaires ou moyennes, avec ou sans correction de longitude,
- Tracé de l'équation du temps sous diverses formes,
- Cadres de texte déplaçables sur le cadran, avec liste préinstallée de devises,
- Etc.



*Cadran solaire tracé par le logiciel Shadows.
(Frb ds, Wikimedia Commons)*

Ressources pédagogiques

CADRANS A DECOUPER

Nous vous proposons ici, en tant que documents pdf (Acrobat) à télécharger, deux types de cadrans solaires à découper : un cadran équatorial et un cadran polaire.

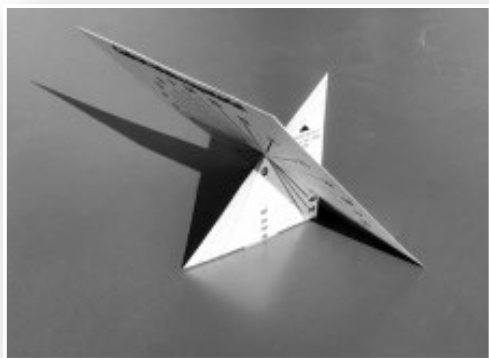
Ils peuvent être réalisés par des enfants, dans le cadre scolaire notamment. Ils sont simples à construire - une notice de montage détaillée (« livret ») est fournie - et ne nécessitent qu'une règle, un crayon, une paire de ciseaux, un tube de colle, des feuilles de carton léger (utilisables pour l'impression) et une boussole. Attention : le cadran solaire polaire est un peu plus délicat à construire et requiert la manipulation d'un cutter.

Les deux cadrans ont un fort potentiel pédagogique, leur principe de fonctionnement et de construction (abordés dans les séquences 3 et 4) étant rappelé également dans le livret à télécharger.

- **Cadran équatorial à découper** (<http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/res/cadran-equatorial-a-decouper.pdf>)
- **Livret : notice de montage, principe de fonctionnement du cadran équatorial, comment lire l'heure sur ce cadran** (<http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/res/livret-cadran-equatorial-a-decouper.pdf>)

- **Cadran polaire à découper** (<http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/res/cadran-polaire-a-decouper.pdf>)

- **Livret** : notice de montage, principe de fonctionnement du cadran polaire, comment lire l'heure sur ce cadran (<http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/res/livret-cadran-polaire-a-decouper.pdf>)



*Les deux cadrans à découper proposés.
(Photo Roger Torrenti)*

UNE INTERESSANTE SAGA



Un timbre des Îles Féroé de 2002 commémorant le compas solaire qu'auraient utilisé les Vikings dans leurs expéditions vers l'ouest (Photo Roger Torrenti)

Au cœur du Moyen-Âge, plus précisément à l'Âge des Vikings, qui s'étend du VIII^e au XI^e siècles, les Vikings auraient utilisé un compas solaire (boussole solaire utilisée comme instrument de navigation maritime) pour leurs expéditions vers le Groenland, l'Islande et le continent américain.

Depuis la découverte, vers 1950, lors de fouilles archéologiques au Groenland, d'un petit objet dont l'aspect pouvait rappeler celui d'un compas de navigation, l'hypothèse du compas solaire viking s'est développée, renforcée par de nombreux articles scientifiques et propagée par des magazines, bandes dessinées, sites Internet, films et séries télévisées...

Un article de Roger Torrenti (auteur du présent MOOC), paru dans la revue *Cadran Info* de la Société astronomique de France de mai 2020, analyse les bases et le développement

de cette « saga du compas solaire viking » (et de celle de la « pierre de soleil » que les Vikings auraient utilisée par temps couvert ou lorsque le Soleil était sous l'horizon). L'article, résumé dans la vidéo ci-dessous peut être téléchargé (http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/res/Roger-Torrenti-Cadran-Info_41.pdf).

La conclusion de cette analyse est que l'hypothèse du compas solaire (et de la pierre de soleil) relève plus du mythe que de la réalité historique, mais reste une belle histoire pouvant servir de fil rouge pour des ressources pédagogiques en classes primaires ou au collège. Les fondements de telles ressources sont proposés dans l'article déjà cité et un appel est lancé aux professeurs, leur proposant d'adapter cette structure à leurs classes.

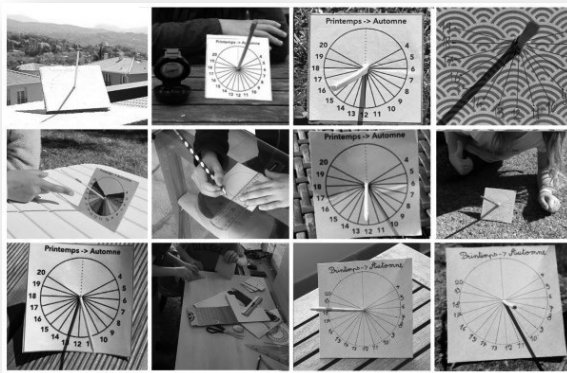


Le compas solaire viking: un mythe? (3:47)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
https://www.youtube.com/watch?v=Rmt0LcC6X_A



ACTIVITE POUR CE2



Aperçu des cadrans réalisés par les enfants de CE2 sur la base du tutoriel ci-contre (Photos transmises par l'enseignante)

L'auteur de ce MOOC avait été invité à intervenir dans une classe de CE2 d'une école de la région niçoise en mars-avril 2020 afin de raconter aux enfants l'histoire des cadrans solaires, d'aborder le mouvement apparent du Soleil dans le ciel, de leur faire appréhender le principe de construction d'un cadran solaire...

Puis est survenue cette épidémie qui a conduit chacun de nous à rester confiné pendant de longues semaines. La professeure a alors demandé s'il était possible d'imaginer à la place une activité simple et amusante, que les enfants pourraient conduire depuis chez eux.

Proposition bien entendu acceptée avec enthousiasme, qui a conduit au tutoriel vidéo ci-contre sur le thème « Construis un

cadran solaire », aussitôt intégré au programme d'enseignement à distance que la professeure préparait avec dévouement semaine après semaine, et que les enfants ont bien apprécié. A noter : la feuille à imprimer dont il est question dans la vidéo peut être téléchargée à l'adresse <http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/res/ce2-fontette-cadran-a-decouper.pdf>.

Cette ressource a été ajoutée au présent MOOC afin que d'autres professeurs (ou des parents), intéressés par une telle activité, puissent en disposer.



Construis un cadran solaire (4:23)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=6R6gXOIKAzs>



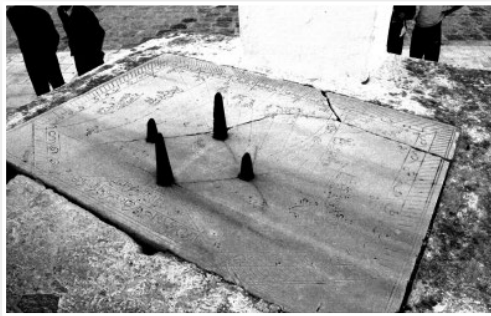
Compléments

COMMENT DIRE « CADRAN SOLAIRE » EN...

Si vous souhaitez parler de cadrans solaires avec des amis étrangers (ou des adeptes de langues régionales), la liste ci-dessous pourra vous être utile...

- Aurinkokello (finlandais)
- Cadran solari (nissart)
- Ceas solar (roumain)
- Clog gréine (irlandais)
- Đồng hồ Mặt Trời (vietnamien)
- Eguzki erloju (basque)
- Güneş saati (turc)
- Horolaj-heol (breton)
- Meridiana (italien, corse)
- Mòstra de solelh (occitan)
- Napóra (hongrois)
- Päikesekell (estonien)
- Rellotge de sol (catalan)
- Relógio de sol (portugais)
- Reloj de sol (espagnol)
- Saulės laikrodis (lituanien)
- Saules pulkstenis (letton)
- Sluneční hodiny (tchèque)
- Solarium (latin)
- Sólúr (islandais)
- Solur (danois, norvégien, suédois)
- Sončna ura (slovène)
- Sonnenuhr (allemand)
- Sunčani sat (croate)
- Sundial (anglais)

- Sunhorloĝo (esperanto)
- Zonnewijzer (néerlandais)
- Güneş sati (turc)
- Zegar słoneczny (polonais)
- Ηλιακό ρολόι (grec)
- Солнечные часы (russe)
- Слънчев часовник (bulgare)
- שמש מוש (hébreu)
- 日晷 (chinois)
- مزولة (arabe)
- 해시계 (coréen)
- 日時計 (japonais)
- सौर घड़ी (hindi)



*Cadran à quatre gnomons de la Grande Mosquée de Kairouan en Tunisie. Il permet de déterminer les heures des prières quotidiennes.
(Photo Roger Torrenti)*

QUELQUES DEVISES

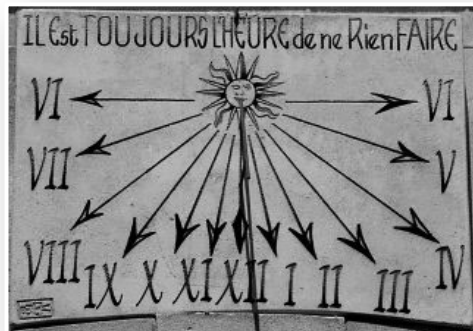
Citoyennes, philosophiques, morales, religieuses, humoristiques, etc., les devises qui accompagnent traditionnellement les cadrans solaires (en langue nationale officielle, langue régionale ou latin souvent) sont de nature très variée.

L'ouvrage « Paroles du soleil » (voir Bibliographie) en a recensé plus de 2000 différentes en France. Ces devises reflètent les convictions, voire l'humeur du cadranier ou du maître d'ouvrage du cadran solaire. La courte liste ci-dessous s'efforce simplement de montrer leur diversité.

Et vous, quelle devise personnelle mettriez-vous sur le prochain cadran que vous réaliserez ?

- **Nous sommes tous égaux en droit** (sur un cadran réalisé après 1789...)
- **Ah ! Que le temps passe vite**
- **Tempus fugit** (le temps s'enfuit)
- **À qui sait aimer les heures sont lumineuses**
- **Omni hora deum lauda** (à toute heure louez le Seigneur)
- **Prends garde à l'une d'elles**
- **Est-ce la dernière, qui le sait ?**
- **Quand je ne sais rien je me tais** (comme un cadran solaire sans soleil)

- Tu sortiras quand ce cadran marquera l'heure et le moment (sur un cadran dessiné par un prisonnier de la Bastille)
- Do Si Sol (je donne si le soleil donne)
- Nil novi sub sole (rien de neuf sous le soleil)
- C'est l'heure de bien vivre
- Souviens-toi de vivre
- Carpe diem
- Lou tems passo, passo lou ben (le temps passe, passe le bien)



Sur un cadran solaire à Saint-Rémy-de-Provence, la devise « Il est toujours l'heure de ne rien faire ».
 (Greudin, Wikimedia Commons)

FORMULES UTILES

Les quelques formules suivantes, que nous n'avons pas encore mentionnées dans cette formation, pourront vous être utiles si vous désirez aller plus loin, approfondir votre connaissance du domaine, mieux « maîtriser » le mouvement apparent du Soleil autour de la Terre, ou épater vos amis... Nous utiliserons les variables suivantes, qui ont été définies dans la séquence 2 :

- **AS** : azimut du Soleil (angle variant de -180° à 0° vers l'est et de 0° à $+180^\circ$ vers l'ouest)
- **HS** : hauteur du Soleil (angle variant de 0° à 90° lorsque le Soleil est au-dessus de l'horizon)
- **DS** : déclinaison du Soleil (angle variant de $-23^\circ 26'$ au solstice d'hiver à $+23^\circ 26'$ au solstice d'été ; il est égal à 0° aux équinoxes)
- **LAT** : latitude du lieu (angle variant de 0° à 90° N ou S)
- **LON** : longitude du lieu (angle variant de 0° à 180° E ou O)
- **AH** : angle horaire du Soleil (il est égal à -15° à 11 h heure solaire, 0° à 12 h, $+15^\circ$ à 13 h, $+30^\circ$ à 14 h, etc.)
- **DJ** : durée du jour

Déclinaison du Soleil

$$DS = HS - 90^\circ + LAT$$

Elle peut également être déterminée à midi solaire, à l'aide d'un gnomon par exemple, qui permet de calculer facilement HS puisque $\tan HS = (\text{hauteur du gnomon}) / (\text{distance du pied du gnomon à l'extrémité de l'ombre à midi})$.

Hauteur du Soleil

$$HS = \arcsin (\sin DS \sin LAT + \cos DS \cos LAT \cos AH)$$

Azimut du Soleil

$$AS = \arctan (\sin AH / (\sin LAT \cos AH - \cos LAT \tan DS))$$

Azimut du Soleil au lever ou au coucher

$$AS = \arccos (- \sin DS / \cos LAT)$$

Durée du jour

$$DJ = 2 \arccos (- \tan DS \tan LAT)$$

Heure du lever et du coucher du Soleil

Elle se déduit de la durée du jour calculée avec la formule précédente.

Lever : 12 h - DJ/2 et Coucher : 12 h + DJ/2

Tracé des lignes horaires d'un cadran vertical déclinant

$$\tan A = \cos LAT / (\cos D \cot AH + \sin D \sin LAT)$$

La formule donne l'angle A des lignes horaires avec la ligne de midi (verticale) pour un cadran vertical déclinant d'un angle D compté négativement vers l'est et positivement vers l'ouest.

Important : dans les formules ci-dessus (comme dans celles qui ont été données depuis le début de la formation) attention aux unités que votre calculatrice ou votre tableur de type Excel prendra en compte et gardez en mémoire que 180° équivaut à π (pi) radians ou encore 200 grades !

TABLE DE L'EQUATION DU TEMPS

Une courbe de l'équation du temps a été donnée dans la séquence 2. Si vous souhaitez des valeurs encore plus précises pour chaque jour de l'année (notamment lorsque vous tracerez les lignes horaires d'un cadran « à la montre » ainsi qu'il a été suggéré en séquence 3), vous pourrez vous reporter à un tableau (illustré ci-dessous), dans lequel les valeurs de l'équation du temps (pour 12 h TU) sont données, jour par jour, en minutes et secondes.

La version complète de ce tableau, pour l'année en cours, peut être consultée à l'adresse <http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/co/2-4-table-equation-temps.html>

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1	3 min 26,04 s	13 min 00,00 s	12 min 22,65 s	11 min 51,82 s	-2 min 11,58 s	-2 min 11,58 s
2	3 min 54,28 s	13 min 00,00 s	12 min 22,65 s	11 min 51,82 s	-2 min 02,16 s	-2 min 02,16 s
3	4 min 22,19 s	13 min 00,00 s	12 min 22,65 s	11 min 51,82 s	-1 min 52,36 s	-1 min 52,36 s
4	4 min 49,74 s	13 min 00,00 s	12 min 22,65 s	11 min 51,82 s	-1 min 42,19 s	-1 min 42,19 s
5	5 min 16,88 s	13 min 00,00 s	12 min 22,65 s	11 min 51,82 s	-1 min 31,69 s	-1 min 31,69 s
6	5 min 43,59 s	14 min 00,00 s	11 min 58,64 s	11 min 40,69 s	-1 min 20,87 s	-1 min 20,87 s
7	6 min 09,83 s	14 min 00,00 s	11 min 58,64 s	11 min 40,69 s	-1 min 09,79 s	-1 min 09,79 s
8	6 min 35,58 s	14 min 00,00 s	11 min 58,64 s	11 min 40,69 s	-0 min 58,38 s	-0 min 58,38 s
9	7 min 00,80 s	14 min 00,00 s	11 min 45,94 s	11 min 29,46 s	-0 min 46,76 s	-0 min 46,76 s
10	7 min 25,46 s	14 min 00,00 s	11 min 45,94 s	11 min 29,46 s	-0 min 34,91 s	-0 min 34,91 s
11	7 min 49,55 s	14 min 00,00 s	11 min 32,79 s	11 min 17,87 s	-0 min 22,86 s	-0 min 22,86 s
12	8 min 13,04 s	14 min 00,00 s	11 min 32,79 s	11 min 17,87 s	-0 min 10,83 s	-0 min 10,83 s
13	8 min 35,89 s	14 min 00,00 s	11 min 19,21 s	11 min 05,22 s	0 min 01,77 s	0 min 01,77 s
14	8 min 58,09 s	14 min 00,00 s	11 min 19,21 s	11 min 05,22 s	0 min 14,30 s	0 min 14,30 s
15	9 min 19,62 s	14 min 00,00 s	11 min 05,22 s	10 min 50,83 s	0 min 26,96 s	0 min 26,96 s
16	9 min 40,46 s	14 min 00,00 s	11 min 05,22 s	10 min 50,83 s	0 min 38,73 s	0 min 38,73 s
17	10 min 00,89 s	14 min 00,00 s	10 min 50,83 s	10 min 36,06 s	0 min 52,58 s	0 min 52,58 s
18	10 min 20,01 s	13 min 00,00 s	10 min 50,83 s	10 min 36,06 s	1 min 06,49 s	1 min 06,49 s
19	10 min 38,69 s	13 min 00,00 s	10 min 36,06 s	10 min 20,71 s	1 min 18,46 s	1 min 18,46 s
20	10 min 56,62 s	13 min 00,00 s	10 min 36,06 s	10 min 20,71 s	1 min 31,45 s	1 min 31,45 s
21	11 min 13,81 s	13 min 00,00 s	10 min 36,06 s	10 min 20,71 s	1 min 44,44 s	1 min 44,44 s
22	11 min 30,23 s	13 min 30,27 s	6 min 57,84 s	-1 min 25,57 s	-3 min 20,71 s	1 min 57,42 s
23	11 min 45,90 s	13 min 22,30 s	6 min 39,79 s	-1 min 37,13 s	-3 min 16,06 s	2 min 10,36 s

(Illustration Roger Torrenti)

VALEUR DE LA DECLINAISON DU SOLEIL

Si vous avez besoin, pour vos calculs, de valeurs précises de la déclinaison du soleil, reportez-vous à un tableau (illustré ci-dessous), dans lequel les valeurs de la déclinaison du Soleil (pour 12 h TU) sont données, jour par jour, en degrés et minutes et secondes d'arc.

La version complète de ce tableau, pour l'année en cours, peut être consultée à l'adresse <http://www.cadran-solaires.info/sequence5/co/2-5-declinaison-soleil.html>

Vous trouverez également à cette adresse les dates et heures précises des solstices et des équinoxes pour l'année en cours.

	Janvier	Février		Mai	Juin
1	-23° 03' 32.8"	-17° 18' 56.7"		50° 12.5"	+21° 56' 31.2"
2	-22° 58' 43.8"	-17° 01' 57.5"		48° 25.0"	+22° 04' 46.8"
3	-22° 53' 27.3"	-16° 44' 40.3"		46° 24.4"	+22° 12' 39.0"
4	-22° 47' 43.4"	-16° 27' 05.6"		44° 07.5"	+22° 20' 08.1"
5	-22° 41' 32.4"	-16° 09' 13.7"		41° 35.0"	+22° 27' 13.9"
6	-22° 34' 54.4"	-15° 51' 05.0"		38° 46.6"	+22° 33' 56.0"
7	-22° 27' 49.8"	-15° 32' 40.1"		35° 42.0"	+22° 40' 14.5"
8	-22° 20' 18.2"	-15° 13' 59.2"		32° 20.8"	+22° 46' 09.0"
9	-22° 12' 30.4"	-14° 55' 02.8"		28° 42.6"	+22° 51' 39.5"
10	-22° 03' 56.8"	-14° 35' 51.4"		24° 47.3"	+22° 56' 45.8"
11	-21° 55' 06.7"	-14° 16' 25.3"		20° 34.4"	+23° 01' 27.8"
12	-21° 45' 51.2"	-13° 56' 45.1"		16° 03.6"	+23° 05' 45.5"
13	-21° 36' 10.4"	-13° 36' 51.0"		11° 14.8"	+23° 09' 38.8"
14	-21° 26' 04.5"	-13° 16' 43.6"		6° 07.2"	+23° 13' 07.3"
15	-21° 15' 33.7"	-12° 56' 23.3"		40° 41.1"	+23° 16' 11.3"
16	-21° 04' 38.5"	-12° 35' 50.5"		54° 55.9"	+23° 18' 50.7"
17	-20° 53' 19.1"	-12° 15' 05.8"		58° 51.4"	+23° 21' 05.5"
18	-20° 41' 35.8"	-11° 54' 09.1"		22° 27.5"	+23° 22' 55.5"
19	-20° 29' 29.0"	-11° 33' 01.3"		35° 43.8"	+23° 24' 20.8"
20	-20° 18' 59.0"	-11° 11' 42.7"		48° 40.1"	+23° 25' 21.4"
21	-20° 04' 08.1"	-10° 50' 13.6"		61° 18.1"	+23° 25' 57.2"
22	-19° 50' 50.8"	-10° 28' 34.4"	+00° 19' 17.4"	+11° 55' 52.8"	+20° 13' 31.8"
23	-19° 37' 13.3"	-10° 06' 45.4"	+00° 42' 57.9"	+12° 16' 06.0"	+20° 25' 26.7"

(Illustration Roger Torrenti)

Cadrannières et cadraniers

INTRODUCTION

Ce chapitre contient un ensemble de « fiches d'identité » de cadraniers et gnomonistes francophones, afin de mieux illustrer en quoi consistent ces métiers (et peut-être susciter des vocations !) mais aussi de mettre à votre disposition des adresses (en France, en Belgique, au Canada, en Suisse, ou dans d'autres pays) qui pourraient être utiles dans le cadre de projets de réalisation de cadrans solaires.

Nous avons également voulu, par ce chapitre, rendre hommage à ces personnes grâce auxquelles la plupart des cadrans solaires que nous rencontrons sont passés du concept à la réalité, ou ont été restaurés et préservés.

Ce répertoire n'est ni sélectif, ni exhaustif : nous avons, pour constituer ces fiches, contacté les « cadraniers-gnomonistes » dont nous avons connaissance. Tous ceux qui nous ont répondu positivement sont répertoriés ci-après.

Nous avons déjà fait la distinction, dans la séquence 1, entre cadraniers et gnomonistes tout en soulignant que cette frontière entre spécialités n'était pas étanche.

Les fiches ci-après sont avant tout des fiches de cadraniers ou de cadraniers-gnomonistes, c'est-à-dire (pour les premiers) d'artisans réalisant des cadrans solaires sur le plan technique et la plupart du temps artistique, et (pour les seconds) disposant également des connaissances leur permettant de calculer l'emplacement sur le cadran solaire des indications d'heures ou de dates.

Elles comprennent également des fiches de gnomonistes-cadraniers, ces spécialistes de la théorie des cadrans solaires qui sont quelquefois à l'origine, voire au cœur de projets de cadrans solaires, notamment en milieu urbain.

Vous pourrez en outre constater, en parcourant ces fiches, que les métiers de cadraniers et de gnomonistes ne se conjuguent bien entendu pas qu'au masculin. Mesdames et Mesdemoiselles qui suivez cette formation, et si vous deveniez cadranière ou gnomoniste ?



*Le monumental cadran solaire
du barrage de Castillon, près de Castellane (France),
calculé par l'astronome-gnomoniste Denis Savoie.
(Photo Roger Torrenti)*

REPertoire

DIDIER BENOIT

Adresse : Carmaux - France

Site Web : www.cadransolaire-benoit.fr



*Cadran solaire de l'Abbaye de La Chaise-Dieu, en Haute-Loire (France), restauré par Didier Benoit.
(Photo mise à disposition par Didier Benoit)*

« Les cadrans solaires sont une passion très ancienne. Après avoir travaillé sur de vieux écrits de cosmographie, j'ai pu réaliser mes premiers cadrans solaires. La rencontre avec Denis Savoie et Philippe Sauvageot de la Société astronomique de France SAF a été un élément déterminant dans ma progression gnomonique.

Mon métier d'artisan-restaurateur de façade a facilité mon implication dans la restauration des cadrans solaires. Ces derniers sont nombreux dans le département du Tarn. La

restauration de la plus vieille composition gnomonique au monde, Castor et Pollux de la cathédrale Sainte-Cécile d'Albi a été un facteur déterminant pour me faire reconnaître dans le milieu des conservateurs-restaurateurs.

Je suis membre fondateur du groupe d'aide à la sauvegarde et restauration du patrimoine gnomonique de France. Je suis membre gnomoniste de la section française de l'institut international de conservation SFIIIC.

Aujourd'hui je travaille avec les logiciels de la SAF. Mais mes premiers calculs de cadrans solaires se faisaient sur papier avec crayon, gomme et beaucoup, beaucoup de temps. Mes réalisations restent proches de mon lieu de vie, avec quelquefois quelques exceptions. Pour les restaurations, je peux me déplacer si le cadran solaire a un intérêt particulier. Je viens de finaliser le grand cadran solaire de l'abbaye de la Chaise-Dieu en Haute-Loire ».

VIRGINIE MORUZZI SIX ET EMMANUEL SIX

Adresse : Le Thoronet - France

Site Web : www.pierres-rosette.fr



Cadran réalisé par Virginie Moruzzi Six et Emmanuel Six à Verrières-le Buisson, France.

(Photo mise à disposition par Virginie Moruzzi Six et Emmanuel Six)

Virginie Moruzzi Six et Emmanuel Six créent « *des cadrans solaires en pierre car ce travail réunit plusieurs de nos passions : l'observation du système solaire, les calculs, la précision, la créativité artistique et le travail de la pierre* ».

En se basant sur l'étude du mouvement de la terre autour du soleil, Virginie Moruzzi Six, gnomoniste (Ingénieur en Génie Rural & Environnement de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne en Suisse), calcule le tracé du cadran puis Emmanuel Six, cadranier (Formation de Tailleur de Pierre

chez les Compagnons du Devoir à Marseille), fait jouer ses outils de gravure.

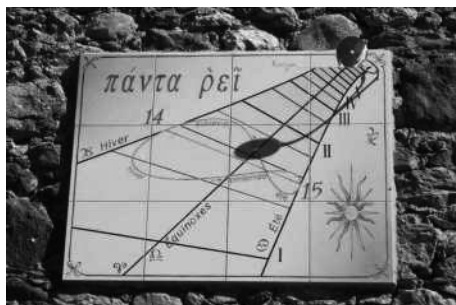
Ensemble ils réalisent « *des cadrans solaires en pierre, alliant technique moderne et tradition, verticaux, horizontaux, analemmatiques, ou cylindriques, aidant à créer le cadran que nos clients français et parfois européens souhaitent installer dans leur jardin ou sur leur façade (quelle que soit son orientation)* ».

Ils sont « Artisans d'Art » auprès de la Chambre des Métiers et ont obtenu le « Label de Précision Gnomonique » de la Commission des Cadrans Solaires de la Société Astronomique de France (décerné pour le cadran "Gif-sur-Yvette").

JOSEPH AUVRAY

Adresse : Mont-Dauphin - France

Site Web : www.atelieracacia.com



*Cadran réalisé par l'Atelier Acacia.
(Photo mise à disposition par l'Atelier Acacia)*

Joseph Auvray est ingénieur ENSAIS (1973). A l'origine de son parcours gnomonique : rencontre de sa femme, artisan céramiste, qui voulait réaliser des cadrans solaires.

L'Atelier Acacia réalise tout type de cadrans solaires, principalement en lave émaillée. Les calculs sont effectués via Shadows et Algosola avec contrôle sur fichier Excel personnel. Intervention dans toute la France et pays limitrophes (Belgique, Italie).

Parution du livre « Cadrans solaires de l'Atelier Acacia » en 2017.

ATELIER Tournesol

Adresse : St-Martin-le-Vinoux - France

Site Web : www.atelier-tournesol.org



*Cadran analemmatique réalisé par l'Atelier Tournesol
pour un particulier à Meylan en 2011.
(Photo : site Web de l'Atelier Tournesol)*

Association loi 1901, l'Atelier Tournesol a été fondée en 1986 pour réagir contre les destructions de cadrans anciens, liées à la méconnaissance de leur intérêt artistique, gnomonique et historique.

Son siège est à la Casamaures, monument historique aux portes de Grenoble où il y a 13 créations de cadrans solaires.

L'équipe a été formée par le gnomoniste Jeff Dana et la peintre muraliste Christiane Guichard. L'Atelier Tournesol a

restauré une quarantaine de cadrans solaires peints et a créé une trentaine de cadrans peints ou d'autres types.

L'Atelier Tournesol a beaucoup œuvré à la sauvegarde des cadrans solaires peints des Hautes-Alpes en proposant puis en réalisant un inventaire des cadrans solaires anciens du département (1987-1991).

Quelques années après, l'atelier Tournesol a réalisé l'inventaire des cadrans solaires de l'Isère (1996-1998).

Toutes leurs créations originales s'appuient la grande tradition des cadrans alpins.

YVES OPIZZO

Adresse : Haigerloch-Stetten - Allemagne

Site Web : www.opizzo.de



*L'obélisque de Haigerloch (Allemagne), de nuit (LED bleues à l'intérieur), avec quatre cadrans, dont un plein nord et une méridienne - Lauréate du concours "Ombre del Tempo" - Réalisation Yves Opizzo.
(Photo mise à disposition par Yves Opizzo)*

« Cadranier (gnomoniste) depuis 1987 en Allemagne, auteur de nombreux programmes informatiques en Modula 2 et VBA (Excel et Corel Draw), auteur d'une quinzaine d'ouvrages sur les cadrans solaires, seul ou en coopération.

Plus ou moins spécialisé dans les cadrans complexes, type araignées ou tracés sur un support complètement quelconque, grâce à la méthode "théodolite" exposée dans le livre "Le Rêve d'une ombre" écrit avec Paul Gagnaire.

Créateur / auteur de l'instrument nommé Apolyterre, Apolyciel ou Apolymer selon les variantes, qui permet de fait, au moins en théorie, de trouver la longitude du lieu (à peut-être 200 km près) sans avoir besoin de connaître l'heure d'un méridien de référence (articles dans "L'Astronomie" et dans "Cadran-Info"). La précision nécessaire pour cela est la seconde de temps, réellement obtenue à Balingen, grâce à une lentille mobile (en déclinaison solaire) sur méridien mobile.

Diverses réalisations de cadrans variés en Allemagne, en France, à Ténériffe, plans et projets pour divers pays.

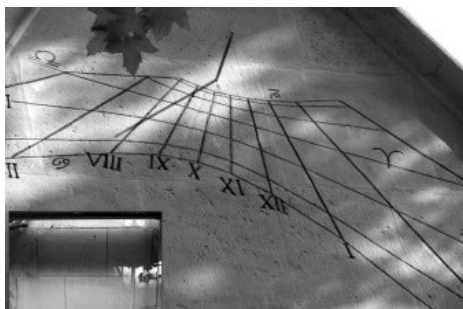
Logiciels utilisés : les miens propres et Shadows Pro de François Blateyron, vraiment excellent, et aussi les logiciels de Pierre Dallet.

Cadrans sur bois, sur pierre, sur verre, gravés au sable ou peints directement sur mur, ou imprimés sur feuille très résistante. Expositions dans des entreprises ou des écoles, avec l'astronomie toujours présente ».

JEROME BONNIN

Adresse : Guise - France

Site : <https://restaurationcadranssolaires.wordpress.com/>



*Cadran solaire de l'église Saint-Médard à Paris (France)
restauré en 2016 par Jérôme Bonnin.
(Photo mise à disposition par Jérôme Bonnin)*

« Depuis 2013, l'entreprise 'Étude et restauration du patrimoine gnomonique' est spécialisée dans la remise en valeur du patrimoine gnomonique gravé (cadrans solaires, méridiennes notamment) sur les monuments historiques (classés, inscrits) ou simplement sur des édifices remarquables. Depuis sa création, près d'une quinzaine de cadrans solaires ont ainsi été restaurés ou sauvegardés, en collaboration avec des entreprises labellisées Monuments Historiques et en concertation constante avec les services de l'état (DRAC, Architectes en Chef des Monuments Historiques, Architectes du Patrimoine).

De formation universitaire à l'origine, j'ai souhaité transformer ma passion pour la mesure du temps et les cadrans solaires en activité professionnelle (ma thèse de doctorat portait sur « La mesure du temps dans l'Antiquité ») et allier le plaisir du geste, de la réalisation manuelle, à celui de la réflexion et de la recherche intellectuelle.

Membre actif de la Commission des Cadrans Solaires de la Société Astronomique de France, formé auprès d'artisans reconnus au sein même de cette commission, j'ai réellement commencé à travailler sur le patrimoine gnomonique en 2013 en concertation avec la DRAC des Hauts-de-France.

Le métier de restaurateur de cadrans solaires gravés s'est alors imposé progressivement comme une évidence. Petit à petit, j'ai pu intervenir dans d'autres départements (Aisne, Aube, Côte d'Or, Doubs, Drôme, Paris Ve, Seine-Maritime...) sur des édifices variés (cathédrales, églises, anciens arsenaux, hôtels particuliers...).

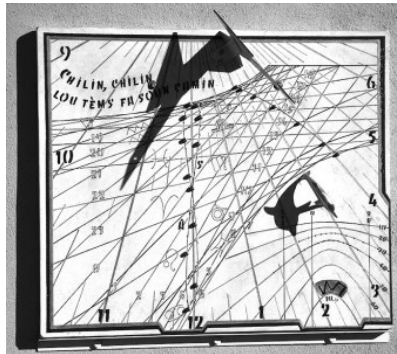
Ces chantiers ont tous été réalisés avec un cahier des charges bien précis respecté scrupuleusement (étude préalable, étude archéologique, réalisation, dossier documentaire final), en interaction avec les porteurs de projet afin de leur faire prendre conscience de la spécificité de leur cadran.

J'ai obtenu le Prix AAF-VMF 2018 au Salon International du Patrimoine Culturel (prix Artisans d'art de France - Vieilles Maisons Françaises) pour mon activité et un projet d'apprentissage sur les cadrans solaires peints ».

JEAN PAKHOMOFF

Adresse : Azille - France

Site Web : www.pakhomoff.net



*Cadran déclinant sud-ouest réalisé par Jean Pakhomoff
à Azille, France - Sa devise se traduit par
« Petit à petit le temps fait son chemin ».
(Photo mise à disposition par Jean Pakhomoff)*

« Docteur en médecine j'ai étudié l'astronomie, au début des années 1980, au moyen des cours dispensés par monsieur Georges Faure, ingénieur retraité, à la Société scientifique Flammarion de Marseille.

L'Astronomie populaire de Camille Flammarion consacre quelques pages aux cadrans solaires et c'est en lisant celles-ci que j'ai ressenti le besoin d'étudier leur théorie. Je me suis alors remis à l'étude des mathématiques, notamment de la

géométrie et de la trigonométrie sphérique avec l'aide de l'Astronomie Générale de Bakouline, Kononovitch et Moroz.

J'ai ensuite établi mes propres systèmes d'équations et créé mes logiciels gw basic. J'ai mis tout cela sur mon site pour éventuellement aider ceux qui voudraient se lancer dans la même étude.

Mes cadrans peuvent indiquer, outre les heures solaires ou civiles, les heures italiques et babyloniennes, sidérales, équation du temps, arcs diurnes zodiacaux ou anniversaires, les heures de prière islamique de l'Asr et du Zohr, les hauteurs et les azimuts.

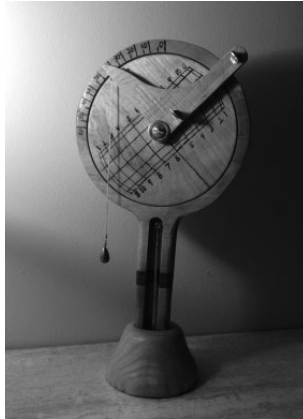
Types de cadrans construits : horizontaux, verticaux déclinants et inclinants_bifilaires horizontaux et verticaux déclinants_analemmtiques horizontaux, verticaux déclinants et inclinés.

J'ai obtenu le 2ème prix au concours international de Brescia (Italie) et vis actuellement dans la région de Carcassonne ».

RICHARD FRENETTE

Adresse : Saint-Bruno-de-Montarville - Québec - Canada

Email : ganda3000@gmail.com



*Cadran de hauteur réalisé par Richard Frenette
sur son tour à bois.*

(Photo mise à disposition par Richard Frenette)

« Bachelier de l'université de Sherbrooke, j'ai passé 10 ans en Alberta à travailler comme chimiste en recherche appliquée aux procédés d'incinération, puis 20 ans à Saint-Bruno comme consultant au service de l'industrie dans le domaine de l'environnement (qualité de l'air, pollution, réglementation).

Aujourd'hui à la retraite, j'utilise mon énergie à réaliser mes rêves qui sont nombreux. Le bois, le métal et la pierre sont

mes matériaux de prédilection où je peux m'exprimer avec beaucoup de satisfaction. En 2010, j'ai commencé à étudier la théorie des cadrans solaires et acquis plusieurs livres et logiciels. J'ai commencé tranquillement entre autres à fabriquer, sur mon tour à bois, plusieurs cadrans de berger dont quelques cadrans asymétriques. Je me lance ensuite dans la construction de divers cadrans : un cadran vertical oriental (homologué 372-MTRG-033 à la Commission des Cadrans Solaires du Québec), une sphère armillaire et quelques cadrans horizontaux et verticaux. Comme Antoni Gaudi (1852-1926) je recherche l'originalité et l'esthétique proche de la nature dans des œuvres marquées par leur historicité. J'ambitionne de peupler mon environnement de cadrans solaires, de partager mes connaissances et surtout d'être heureux.

Durant l'année 2018, je me suis concentré sur les cadrans de hauteur tels qu'utilisés dans le Moyen Age et la gnomonique qui s'y rattache (basée sur la sphère céleste et les triangles sphériques, de position). Un cadran de hauteur basé sur une volvelle de Pierre d'Apian est en voie d'être construit. Je travaille aussi à faire un cadran de berger qui serait automatisé. De plus en plus, je recherche des artisans qui ont une expertise (soudeurs, marbriers, artistes, programmeurs, etc) et essaie de les stimuler à faire un cadran solaire. Je servais comme consultant pour fournir les lignes horaires et les détails nécessaires à la construction.

Pour le tracé des lignes horaires, j'ai utilisé les méthodes graphiques (épure) au début mais maintenant surtout le logiciel Shadows ».

YVES SAGET

Adresse : Quins - France

Site Web : www.artisan-de-la-pierre.fr



*Cadran solaire réalisé par Yves Saget
à Rodez, France.
(Photo mise à disposition par Yves Saget)*

« En tant que tailleur de pierre c'est en m'intéressant aux anciens traités de stéréotomie (science de la taille et de la coupe des matériaux) que j'ai découvert la gnomonique (l'art de concevoir, calculer et tracer des cadrans solaires). En effet, beaucoup de ces ouvrages ont des auteurs en commun puisque ces deux sciences font appel à la géométrie descriptive (regroupant les méthodes nécessaires à la résolution graphique des problèmes d'intersections entre volumes).

Dans la réalisation d'un cadran solaire, il y a la satisfaction de pouvoir jouer avec le soleil en anticipant son parcours sur n'importe quelle surface et ce avec des moyens aussi rudimentaires qu'une règle et un compas, même si dans le cadre de mes commandes j'utilise un logiciel spécialisé pour les cadrans verticaux et des logiciels de conception assistée par ordinateur pour les cadrans plus compliqués.

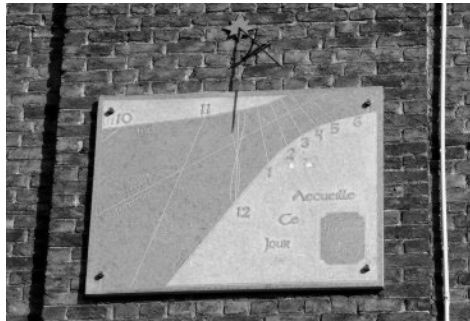
La partie création avec la découverte de personnes, d'envies, de lieux et d'histoires permettant de concevoir l'esthétique du cadran est un point important dans ma démarche ; cela se fait généralement par une rencontre mais Il m'arrive de réaliser des cadrans pour des contrées lointaines et c'est alors par mails que les échanges se font, suivis généralement d'un envoi par transporteur.

Pour les personnes souhaitant aller plus loin dans la démarche d'acquisition d'un cadran solaire, je propose aussi des stages pendant lesquels sont abordés les principes de base, le tracé et la gravure sur pierre ».

OLIVIER LISEIN

Adresse : Bruxelles - Belgique

Site Web : www.gnomonica.be



*Cadran réalisé en 2002 par Olivier Lisein dans la cour
intérieure d'une école d'Ixelles, Belgique.
(Photo mise à disposition par Olivier Lisein)*

Parcours :

- Physicien de formation, intéressé par l'astronomie.
- Initié à la gnomonique dans les années 1990 par un tailleur de pierre bourguignon, compagnon du tour de France.

Type de cadrans réalisés :

- Tracé des épreuves à partir des projections géométriques à la règle et au compas.
- Cadrans sud et déclinant vers l'ouest.

Zone d'intervention :

- Essentiellement à Bruxelles, Belgique.

REAL MANSEAU

Adresse : Drummondville - Québec - Canada

Site Web : www.astrosurf.com/realmanseau



*Cadran solaire réalisé par Real Manseau en 1977.
(Photo mise à disposition par Real Manseau)*

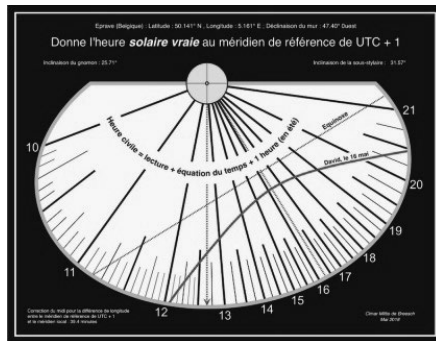
*« J'ai fondé le Club d'astronomie Drummondville en 1976 et
La Commission des Cadrons Solaires du Québec avec André
Bouchard en 1984.*

J'ai construit 14 cadrans solaires.

*En consultant les sites des cadrans solaires du Québec on
peut voir une partie des cadrans que j'ai fabriqués ainsi que
plusieurs autres sortes d'instruments ».*

JOHN GUEULETTE

Adresse : Bruxelles - Belgique
Email : john.gueulette@uclouvain.be



*Cadran solaire dessiné par John Gueulette
pour Eprave, Belgique.
(Photo mise à disposition par John Gueulette)*

*« Chercheur scientifique (radiobiologie) et musicien (orgue),
l'astronomie est une passion de jeunesse, qui retrouva
vigueur à l'âge de ma retraite.*

*Ce qui m'intéresse aujourd'hui ce sont les cadrans solaires,
surtout de comprendre leur fonctionnement en les "calculant"
au moyen d'épures dont le dessin nécessite une
compréhension claire des phénomènes astronomiques
concernés.*

La méthode graphique me permet d'obtenir le tracé des lignes horaires et arcs diurnes dans tous les types de cadrans plans (horizontaux, verticaux déclinants ou non, inclinés, analemmatiques, etc.). Elle me permet également de réaliser plusieurs astrolabes, qui requièrent d'aller encore plus avant dans la connaissance des phénomènes astronomiques sous-jacents.

Cette recherche donna lieu à l'écriture de divers fascicules et articles, que je me ferai un plaisir de faire parvenir à qui le souhaite ».

DIDIER COTTIER

Adresse : Montalieu-Vercieu - France

Site Web : www.ombrejaille.com



*Cadran solaire réalisé par Didier Cottier
à Domazan, France en 2016.
(Photo mise à disposition par Didier Cottier)*

« J'ai créé en 2012 l'Atelier 'Ombre-Jaille' signifiant mi-ombre, mi-lumière en patois dauphinois, réalisant ainsi un vieux rêve.

J'ai patiemment, avec application et motivation, acquis pas à pas le délicat et complexe savoir-faire de cette profession sous l'égide de Christiane Guichard et de Jeff Dana, fondateurs de l'Atelier Tournesol à St Martin le Vinoux (38).

Les calculs de mes horloges sont effectués sur support informatique.

Ce singulier et passionnant métier a pu se concrétiser dans le cadre d'une reconversion professionnelle découlant d'un licenciement économique.

Je suis titulaire d'un brevet d'aptitude de peintre en lettre et de peintre décorateur ainsi que d'un CFAP de verrier option vitrail.

Je suis appelé au chevet de certaines de nos mystérieuses horloges astronomiques en instance de restauration, je réalise également des cadrans solaires, sur tout support et de tout style pour les particuliers et les collectivités.

Je porte un attachement particulier aux horloges solaires de Jacques Liobard.

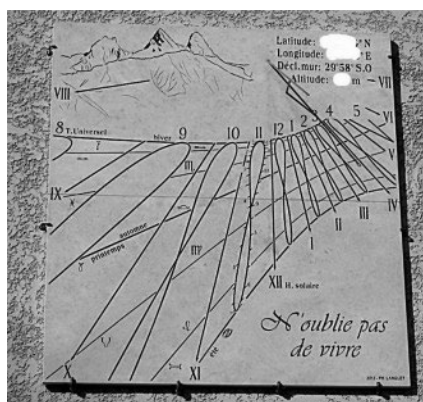
Je suis aussi l'un des rares cadraniers à proposer des cadrans solaires sur vitrail.

J'interviens suivant conditions, sur tout l'hexagone ».

PHILIPPE LANGLET

Adresse : France

Site Web : www.cadran-solaire.fr



*Cadran solaire réalisé par Philippe Langlet.
(Photo mise à disposition par Philippe Langlet)*

« Passionné d'astronomie depuis ma jeunesse, j'ai associé cette passion avec mon métier de graveur sur pierre, pour lequel j'ai obtenu le titre de 'Un des Meilleurs Ouvriers de France' en 1986.

Durant mon activité professionnelle (je suis en retraite depuis 2013), j'ai réalisé plus de 500 cadrans de tous types en France et à l'étranger. En 1997 j'ai créé mon propre site Internet et écrit un logiciel pour automatiser les calculs de mes cadrans ».

JASMIN GAUTHIER

Adresse : Trois-Rivières - Québec - Canada

Email : cadrans.solaires.qc@gmail.com



*Cadrans solaire réalisé par Jasmin Gauthier en 2016
à Trois-Rivières, Québec, Canada.*

(Photo mise à disposition par Jasmin Gauthier)

« Je suis président de la Commission des Cadrans Solaires du Québec depuis 4 ans.

J'ai réalisé à ce jour 4 cadrans solaires.

J'utilise une calculatrice pour les lignes horaires et vérifie les calculs avec le logiciel Shadows.

J'ai aussi comme mission le webmestre du site internet de la Commission des Cadrans Solaires du Québec ».

BERNARD SIMON

Adresse : Beaune - France

Site Web : www.lescadransdeconstant.com



*Cadran solaire réalisé par Bernard Simon
dans le Parc du Morvan, France.
(Photo mise à disposition par Bernard Simon)*

« Devenu Gnomoniste Cadranier par curiosité...

Face au cadran situé sur la cure de Servoz (Haute-Savoie, France), je ne comprenais pas son fonctionnement. Après des recherches difficiles, à une époque où Internet et les MOOC n'existaient pas, j'ai eu la chance de rencontrer P. Causeret, passionné d'astronomie. S'en est suivie une période d'instruction sur la révolution de la Terre autour du Soleil, sa rotation sur elle-même, son axe incliné et voilé, tout ce qui va

avoir une influence sur l'ombre produite par le style. Puis une période maquettes de divers cadrans allant du plus simple au plus compliqué.

Ayant dans mes bagages une formation complète de marbrier et quelques années de pratique, j'ai ressorti ma caisse à outils pour faire mes premiers cadrans. De fil en aiguille j'ai fini par m'inscrire à la Chambre des Métiers et devenir professionnel. Aujourd'hui je réalise des cadrans gravés, principalement dans la pierre dure de Bourgogne. Je travaille également avec des fresquistes ou des restaurateurs afin de créer ou remettre en fonctionnement des cadrans détériorés. Je détermine le tracé horaire par épures et logiciels.

Ma zone d'intervention : la France, avec incursion dans les pays limitrophes.

Mes plaisirs : Les cadrans atypiques, comme ce violon en pierre dont l'archet sert de style à un cadran polaire. Les interventions, en milieu scolaire ou autres, afin d'expliquer, à l'aide de reproductions en pierre, l'évolution des cadrans et les différentes heures qui ont existé.

Je suis membre de la Commission Cadrans solaires de la Société astronomique de France ».

ÉLISABETH REGAMEY

Adresse : Reverolle - Suisse

Site Web : www.cadransolaire.ch



*Cadran solaire réalisé par Élisabeth Regamey.
(Photo mise à disposition par Élisabeth Regamey)*

« J'ai découvert avec grand intérêt les cadrans solaires suite à de multiples randonnées dans les Alpes du Sud italiennes et françaises : Val Varaita, Mondovi, Queyras, etc.... Étant peintre en décor, j'ai intégré les cadrans dans mes réalisations murales. Je collabore avec mon mari qui est ingénieur et qui calcule le tracé des cadrans.

De par mon métier de peintre en décor je suis très concernée par la conservation du patrimoine dont les cadrans font partie. J'en ai restauré plusieurs.

Je réalise des cadrans verticaux directement sur les murs ou, si nécessaire, sur panneau de fibre ciment fixé sur le mur, mais je préfère les cadrans peints directement sur les murs. J'ai réalisé également des cadrans analemmatiques. Nous sommes aussi intervenus pour des réparations sur des styles abîmés. Mon mari fabrique les styles, ils sont généralement en laiton.

Je me suis formée à Bruxelles et en Italie pour les diverses techniques de peinture décorative, enduit à la chaux, techniques de peinture a fresco etc...

Calcul du cadran : pour le tracé de base on utilise Shadows pro, pour la mise en place (ou mise en situation) et réalisation du style il y a beaucoup d'épure, donc 30% épure et 60% Shadows Pro.

J'interviens en Suisse et dans les zones frontalières proches ».

FRANÇOIS KELLER

Adresse : Molsheim - France

Site Web : www.keller-sculpture.fr



*Cadran solaire réalisé par François Keller.
(Photo mise à disposition par François Keller)*

« Sculpteur et tailleur de pierre, c'est assez naturellement que je me suis intéressé aux cadrans solaires. Je réalise tout type de cadran solaire en pierre ou en terre cuite émaillée, dans tous les formats en fonction de la demande. Ces cadrans sont tracés à l'aide d'un logiciel spécialisé (Shadows) et personnalisés après un échange avec l'acheteur.

Basé en Alsace près de Strasbourg, je pose également les cadrans dans ma région. Pour les autres régions, un envoi par transporteur est tout à fait possible, le cadran étant emballé dans une caisse de protection pour le transport, des instructions de pose étant données avec le cadran ».

Conclusion

Nous vous remercions d'avoir suivi la formation proposée par cet ouvrage et espérons que vous l'avez appréciée.

N'hésitez pas à vous inscrire gratuitement au forum du MOOC cadrans solaires ouvert toute l'année à l'adresse <https://www.cadrans-solaires.info/forum>. Vous pourrez interagir avec d'autres apprenants et avec l'auteur, poser des questions, échanger des idées, proposer des améliorations.



*Cadran solaire à l'entrée du Sophia Country Club
à Sophia Antipolis, France, en 1992.
(Calculs et Photo Roger Torrenti)*

Solutions des quiz et des exercices

Quiz : Testez vos connaissances initiales

Question 1

Il y a 2000 ans environ, l'empereur Auguste faisait construire sur le Champ de Mars à Rome un « horologium », sorte de cadran solaire monumental dont le gnomon (indicateur) était constitué par :

- **Un obélisque**

Question 2

En combien de jours la Terre tourne-t-elle autour du Soleil ?

- **Entre 365 et 366**

Question 3

Combien de temps met la lumière pour aller du Soleil à la Terre ?

- **8 min**

Question 4

Lorsque l'on franchit, quelque part dans l'Océan pacifique (au niveau des île Fidji), le méridien du fuseau horaire UTC+12 (ou UTC-12) de l'ouest vers l'est :

- **On " gagne un jour " (on passe d'un jour donné au jour précédent)**

Question 5

Aux pôles, combien de temps peut fonctionner un cadran solaire ?

- **6 mois**

Question 6

Si l'on utilise une boussole pour déterminer le nord géographique, il ne faut pas oublier de corriger la lecture par la valeur de :

- **La déclinaison magnétique**

Question 7

Comment appelle-t-on l'endroit sur lequel les lignes horaires d'un cadran sont tracées ?

- **La table**

Question 8

Comment appelle-t-on la tige qui, par son ombre, indique l'heure sur un cadran solaire mural ?

- **Le style**

Question 9

Aux pôles, un simple bâton planté verticalement dans le sol (un gnomon) permet de réaliser un cadran solaire :

- **Équatorial**

Question 10

Comment appelle-t-on les spécialistes de la théorie, de la science, des calculs des cadrans solaires ?

- **Gnomonistes**

Question 11

Un gnomon d'or est :

- **Un triangle isocèle aux proportions particulières**

Question 12

Comment appelle-t-on les artisans-artistes spécialisés dans la réalisation, la confection des cadrans solaires ?

- **Cadraniers**

Question 13

Les cadrans les plus couramment dessinés sur les murs des bâtiments ont un style incliné selon :

- **L'axe de rotation de la Terre**

Question 14

Une méridienne est un type particulier de cadran solaire :

- **On y lit seulement le midi solaire**

Question 15

On peut (dans l'hémisphère nord) tracer un cadran solaire sur un mur plein nord :

- **Oui, mais il ne fonctionnera que le matin et le soir en été**

Quiz de la séquence 1

Question 1

Le tumulus de Newgrange en Irlande, construit il y a 5 000 ans, présente la particularité que le soleil pénètre dans sa chambre funéraire centrale seulement :

- **Au solstice d'hiver**

Question 2

Il y a 2 000 ans environ, l'empereur romain Auguste faisait construire sur le Champ de Mars à Rome un « horologium », sorte de cadran solaire monumental dont le gnomon était constitué par :

- **Un obélisque**

Question 3

Comment appelle-t-on les spécialistes de la théorie, de la science, des calculs des cadrans solaires ?

- **Gnomonistes**

Question 4

Comment appelle-t-on les artisans-artistes spécialisés dans la réalisation, la confection des cadrans solaires ?

- **Cadraniers**

Question 5

À quoi servaient les « cadrans canoniaux » qui ornaient les édifices religieux au Moyen Âge ?

- **À indiquer le début des actes liturgiques**

Question 6

Les cadrans solaires qui indiquaient des heures basées sur une division du jour en 12 parties égales sont appelés cadrans à heures :

- **Temporaires**

Question 7

De quel cadran solaire antique l'hemicyclum était-il une version tronquée ?

- **Du scaphé**

Question 8

Jusqu'à la fin du XIXe siècle, où trouvait-on très souvent un « chronomètre solaire » ?

- **Dans les gares ferroviaires**

Question 9

Quelle fraction de seconde est une nanoseconde ?

- **Un milliardième**

Question 10

Qu'appelle-t-on « cadran solaire négatif » ?

- **Un cadran qui se lit de l'intérieur d'un bâtiment : les rayons du soleil pénètrent au travers de fentes**

Exercice : Un peu d'astronomie

Elle faisait une pause à ce moment précis de la formation.

Elle était épatée de ces chiffres : la distance de la Terre au Soleil était d'environ 150 millions de kilomètres, ce qui faisait que la lumière du Soleil, à la vitesse de 300 000 km/s, mettait 8 minutes à nous parvenir !

Elle se demandait par ailleurs comment on avait pu mettre en évidence la précession des équinoxes due à un mouvement si lent de la Terre autour de son axe de rotation.

Elle n'avait pas tout à fait assimilé la raison pour laquelle un jour sidéral ne dure que 23 h 56 min 4 s mais avait bien noté les positions particulières de la Terre par rapport au Soleil conduisant aux équinoxes d'automne et de printemps et aux solstices d'hiver et d'été.

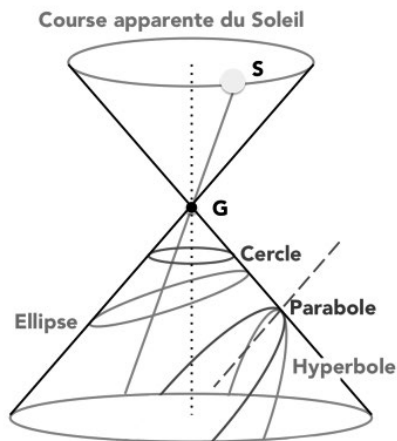
Elle avait pris la décision d'aller dans un pays proche de l'équateur pour connaître ces journées et ces nuits d'une durée de 12 heures tout au long de l'année et d'aller au-delà du cercle polaire antarctique au moment du solstice d'été pour vivre l'expérience des nuits de 24 h.

Exercice : Ombre portée par l'extrémité d'un gnomon

Soit S le Soleil et G l'extrémité d'un gnomon, la droite SG décrira un cône en 24 h (puisque le Soleil décrit un cercle et que G est fixe par définition). L'ombre dans le prolongement de SG décrira alors également un cône.

Sa trace sur une surface plane sera donc l'intersection d'un cône et d'un plan ce qui donne une « conique », et plus précisément selon l'orientation du plan (voir schéma ci-dessous) : un cercle, une ellipse, une parabole ou une hyperbole.

On retrouvera ces coniques sur les différents types de cadrans solaires et les différentes indications portées sur un cadran dans les séquences 3 et 4.



(Illustration Roger Torrenti)

Exercice : Une idée pour rajeunir et devenir riche...

La solution est donnée dans la vidéo ci-dessous...



Rajeunir de 1 an en 9h ? (1:45)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=EBUL5XU6u5I>



Exercice : Êtes-vous sûr de votre jour de naissance ?

La solution est donnée dans la vidéo ci-dessous...



Êtes-vous sûr de votre date de naissance ? (0:53)

Vidéo disponible sur la chaîne YouTube du MOOC
<https://www.youtube.com/watch?v=PdMtlwl3Dng>



Exercice : Convertir les écarts de longitude

5° 24' 50" s'écrit en degrés décimaux (sachant que 1° = 60' et que 1' = 60" ou encore 1° = 3 600") : $5 + 24/60 + 50/3\,600 = 5,41389^\circ$.

L'écart avec le méridien de référence du fuseau (15° E) est donc de $15^\circ - 5,41389^\circ = 9,58611^\circ$.

Puisque 360° correspondent à 24 h (la Terre fait un tour complet sur elle-même, soit 360°, en 24 h : durée du jour solaire moyen), 15° correspondent à 1 h et la conversion degré décimal -> heure décimale s'écrit $9,58611 / 15 = 0,639$ h.

Pour obtenir les minutes on multiplie 0,639 par 60 (puisque 1 h = 60 min) soit 38,344 min et pour obtenir les secondes (puisque 1 min = 60 s) on multiplie 0,344 par 60 soit 21 s environ.

Ce qui donne donc une correction positive (puisque le cadran est à l'ouest du méridien 15° E) de 0 h 38 min 21 s.

Notons que l'on peut retrouver ce résultat par le calcul suivant qui, ne nécessite pas le passage par les degrés décimaux mais exige cependant d'être très attentif aux signes des opérations...

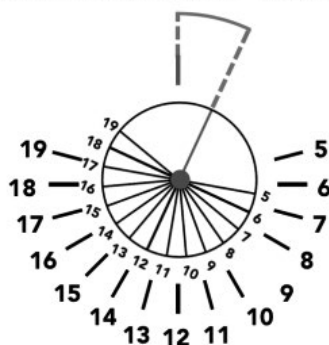
Puisque 15° = 60 min, 1° = 4 min (60/4), 1' = 4 s (4 . 60/60), et 1" à 4/60 s, la correction de longitude à apporter est donc de 10 . 4 min (40 min) - 24 . 4 s (96 s soit 1 min 36 s) - 50 . 4/60 s (3,333 s, arrondi à 3 s) soit 38 min 21 s.

On remarquera par ailleurs que c'est le raisonnement inverse qui servira, le cas échéant, à transformer un écart d'heure en écart d'angle horaire du Soleil.

Pour calculer par exemple à quel écart d'angle horaire correspond 2 h 21 min 15 s, la formule s'écrira $2 \cdot 15 + (21 / 4) + 15 / (4 \cdot 60) = 35,3125^\circ$.

Correction heure solaire - heure légale

**L'heure légale
se lit sur le
disque
intérieur**



*Il est possible dans un cadran solaire d'intégrer la correction de longitude afin de rapprocher l'heure lue de l'heure légale ; dans le cas de cadrans équatoriaux (voir séquence 4) on pourra même aisément intégrer toutes les corrections nécessaires afin de lire l'heure légale sur le cadran.
(Illustration Roger Torrenti)*

Exercice : Ne pas réveiller ses amis

Il faut tout d'abord déterminer l'heure légale en Inde par la formule que nous avons apprise dans la section « Comment passer de l'heure solaire à l'heure légale » : Heure légale = heure solaire + Équation du temps + 1 h (si été) + Correction de longitude.

Compte tenu de la période de l'année, la correction relative à l'équation du temps (repérée sur la courbe donnée dans la section « L'équation du temps ») est d'environ +4 min et il n'y a pas à tenir compte d'heure supplémentaire pour l'été.

La formule se réduit donc à : Heure légale = 11 h 52 min 20 s + 4 min + Correction de longitude, soit 11 h 56 min 20 s + correction de longitude.

Calculons maintenant la correction de longitude. Nous savons en consultant la carte proposée dans la section « Les fuseaux horaires » que l'Inde a choisi comme heure légale UTC + 5 h 30 min, ce qui correspond au fuseau 82° 30' (à distance égale du méridien 75° E, méridien central pour le fuseau UTC+5 et du méridien 90° E, méridien central pour le fuseau UTC+6).

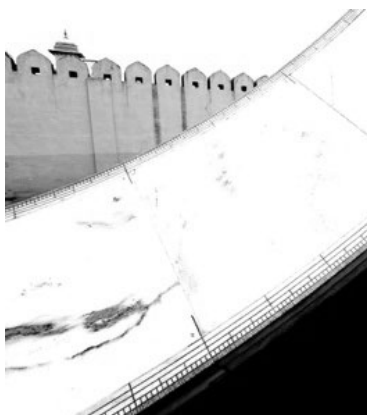
Vous aurez déterminé, par Google Maps, la longitude du Yantra Mandir de Jaipur : 75° 49' 30" E. Le site est donc situé à 6° 40' 30" (= 82° 30' - 75° 49' 30") à l'ouest du fuseau sur lequel est basé l'heure légale en Inde.

L'exercice précédent nous a appris à convertir les écarts de longitude en h-min-s : la correction de longitude à apporter est donc de 6 . 4 min (= 24 min) + 40 . 4 s (= 160 s soit 2 min

40 s) + $30 \cdot 4 / 60$ s (2 s) soit 24 min + 2 min 42 s ou encore 26 min 42 s, qu'il faudra compter positivement puisque le Yantra Mandir est à l'ouest du méridien de référence $82^{\circ} 30''$.

Si l'on revient à la formule ci-dessus, l'heure légale en Inde, lorsque le cadran solaire du Yantra Mandir indique 11 h 52 min 20 s sera donc de 11 h 56 min 20 s + 26 min 42 s soit 12 h 23 min environ (par souci de rigueur, nous ne préciserons pas les secondes sachant que nous n'avons utilisé qu'une valeur approximative de l'équation du temps).

La France ayant choisi comme heure légale UTC + 1 et l'Inde UTC + 5 h 30 min, il sera 4 h 30 min plus tôt en France soit 7 h 53 min. Si vos amis sont des lève-tard, il conviendra sans doute d'attendre un peu avant de leur faire part de votre émotion...



*Le cadran solaire équatorial du Yantra Mandir à Jaipur comporte des graduations extrêmement fines.
(Photo Roger Torrenti)*

Exercice : Trouver simplement la direction nord-sud

Il suffit de tenir un fil à plomb (ou plus simplement une ficelle avec un boulon attaché à son extrémité) à midi solaire : la direction de l'ombre du fil sera la direction nord-sud !

Et cela vous sera facile puisque vous connaissez la formule
Heure légale = heure solaire + Valeur de l'équation du temps
+ 1 h (si « heure d'été ») + Correction de longitude.

Il vous faudra donc surveiller votre montre ou votre « smart phone » et marquer la direction de l'ombre du fil à plomb à l'heure légale suivante : 12 h + Valeur de l'équation du temps
+ 1 h (si « heure d'été ») + Correction de longitude.

$$TL = TS + ET + 1h \text{ (si « heure d'été »)} + CL$$

avec

TL : heure légale

TS: heure solaire

ET : valeur de l'équation du temps

CL : correction de longitude

*Une équation simple à connaître par cœur, ainsi que la
méthode pour convertir des écarts de longitude en h-min-s.
(Illustration Roger Torrenti)*

Quiz de la séquence 2

Question 1

En combien d'heures la Terre tourne-t-elle sur elle-même (« jour sidéral ») ?

- ☐ Un peu moins de 24 h

Question 2

En combien de jours la Terre tourne-t-elle autour du Soleil ?

- ☐ Entre 365 et 366

Question 3

Combien de temps met la lumière pour aller du Soleil à la Terre ?

- ☐ 8 min

Question 4

Quel angle est compris entre 0° et 180° et est accompagné de la mention E ou O ?

- ☐ La longitude

Question 5

Le mot français sud vient du mot anglo-saxon Sund qui signifie :

- ☐ Soleil

Question 6

Si l'on utilise une boussole pour déterminer le nord géographique, il ne faut pas oublier de corriger la lecture par la valeur de :

- ☐ La déclinaison magnétique

Question 7

Les signes du zodiaque sont associés à des constellations :

- **Devant lesquelles le Soleil se situe sur la sphère céleste locale**

Question 8

Dans la sphère céleste locale le Soleil décrit, dans son mouvement diurne :

- **Un cercle**

Question 9

Lorsque l'on franchit, quelque part dans l'Océan pacifique (au niveau des île Fidji), le méridien du fuseau horaire UTC+12 (ou UTC-12) de l'ouest vers l'est :

- **On « gagne un jour » (on passe d'un jour donné au jour précédent)**

Question 10

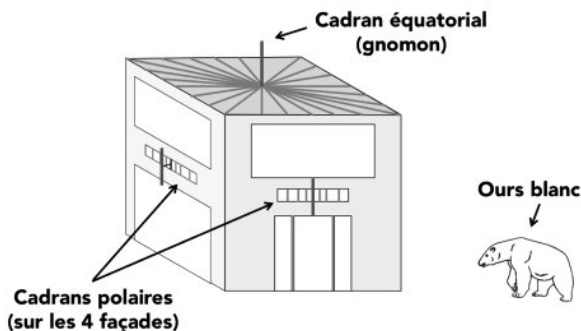
Laquelle des formules suivantes est correcte ?

- **Heure légale = heure solaire + Valeur de l'équation du temps + 1 h (si « heure d'été ») + Correction de longitude**

Exercice : Votre ami déménage

La maison que votre ami vient d'acquérir se trouve au pôle Nord, seul point du globe où une maison cubique peut avoir ses 4 faces dirigées vers le sud. Et l'ours est donc blanc... Ce que l'annonce ne précisait pas est que, pendant 6 mois de l'année (de l'équinoxe d'automne à celui de printemps), le propriétaire amateur de soleil allait souffrir car le pôle Nord restait sans soleil...

Vous devrez logiquement construire sur le toit un cadran équatorial (à style vertical, donc un gnomon) et sur chaque face, un cadran polaire (à style également vertical), chacun fonctionnant 6 heures par jour : le premier de 24 h à 6 h, le second de 6 h à 12h, etc. Vous pourrez en outre proposer à votre ami d'envisager de construire la même maison cubique au pôle Sud où il pourra résider les 6 mois où le pôle Nord est plongé dans l'obscurité. Et vous ajouterez qu'il ne s'étonne pas alors de bénéficier pleinement du soleil 6 mois de l'année avec toutes les fenêtres de sa maison orientées plein nord !



(Illustration Roger Torrenti)

Exercice : Le voisin est-il devenu fou ?

Non, il n'est pas fou, mais fait simplement preuve d'originalité, de créativité et on ne peut que le féliciter pour cela !

Il sait qu'à la latitude où sa maison est située, le Soleil, en plein été, se lève au nord-est et se couche au nord-ouest, éclairant ainsi son mur nord (on fait bien sûr l'hypothèse que l'horizon est bien dégagé autour de sa maison).

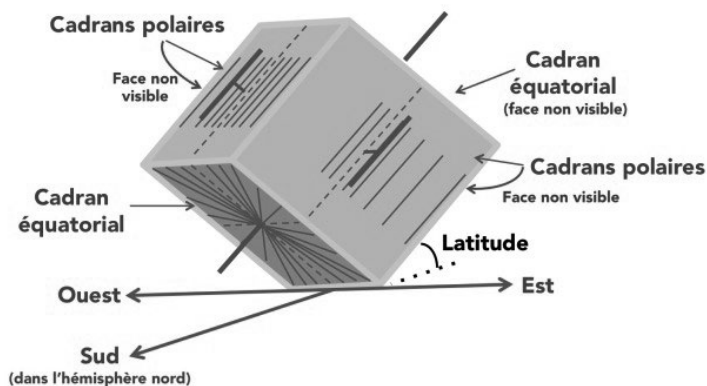
Ce mur sera donc éclairé un peu dans la journée et il peut y installer un cadran solaire, qui ne fonctionnera au mieux que 2 heures matin et soir autour du solstice d'été, et pas du tout en hiver, mais qui fonctionnera !

Et si vous désirez calculer précisément les durées du jour au cours de l'année pour une latitude donnée, reportez-vous à la section « Formules utiles » de la séquence 5 !

Exercice : Et si l'on inclinait le cube ?

Si le cube est incliné d'un angle avec l'horizontale égal à la latitude du lieu il devient un cadran beaucoup plus simple à tracer puisque sur deux faces nous aurons des cadrans équatoriaux et sur les quatre autres des cadrans polaires !

Il suffira de veiller à limiter les plages horaires sur chacun des cadrans en fonction de son orientation comme nous l'avons vu dans les sections consacrées aux cadrans équatoriaux et polaires et vous réaliserez rapidement un cadran simple d'aspect et au potentiel pédagogique indiscutable.



*Cadran cubique incliné d'un angle avec l'horizontale
égal à la latitude du lieu.
(Illustration Roger Torrenti)*

Quiz de la séquence 3

Question 1

À midi solaire à l'aide d'un gnomon, aux équinoxes, on peut aisément déterminer :

- La latitude du lieu

Question 2

Aux équinoxes, la trace de l'extrémité de l'ombre d'un gnomon sur le sol au cours d'une journée sera :

- Une droite

Question 3

Aux pôles, un gnomon devient un cadran :

- Équatorial

Question 4

La table d'un cadran équatorial est :

- Parallèle au plan de l'équateur terrestre

Question 5

Sur un cadran équatorial, les lignes horaires sont :

- Régulièrement réparties autour d'un cercle

Question 6

Un cadran solaire est dit polaire lorsque :

- Sa table et son style sont inclinés selon l'axe de rotation de la Terre

Question 7

Les cadrans les plus couramment dessinés sur les murs des bâtiments ont un style incliné selon :

- **L'axe de rotation de la Terre**

Question 8

Peut-on utiliser un cadran horizontal dessiné pour une latitude donnée dans un lieu situé à une autre latitude ?

- **Oui, en ajustant simplement l'inclinaison de la table**

Question 9

Les marques horaires d'un cadran analemmatique traditionnel sont situées :

- **Autour d'une ellipse**

Question 10

Le « cadran de berger » est du type :

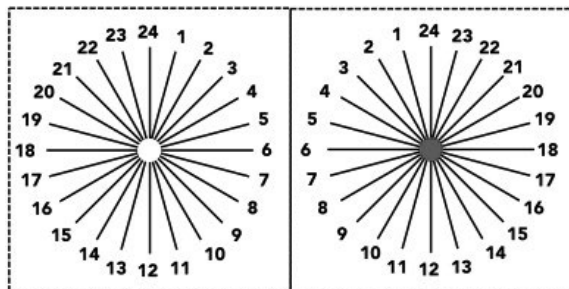
- **Cadran de hauteur**

Exercice : Réaliser un cadran universel en 2 min !

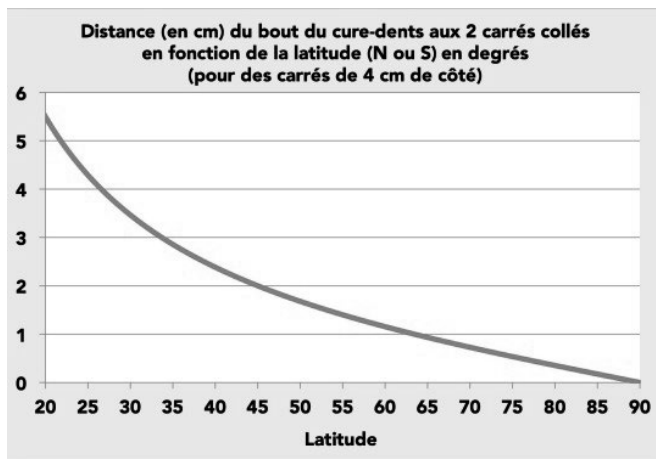
Vous aurez besoin d'une règle, d'une paire de ciseaux, d'un bâton de colle et d'un cure-dent... Vous devrez également connaître la latitude du lieu où vous vous trouvez : pour ce faire, cherchez le nom de votre commune ou de la commune la plus proche sur Wikipédia : on vous indiquera sa latitude.

Voici comment réaliser ce cadran « universel », au sens où il sera possible de l'utiliser dans toutes les régions du monde :

- Imprimer (sur un papier assez épais) et découper un rectangle de longueur 8 cm et de largeur 4 cm à partir de l'image ci-dessous,

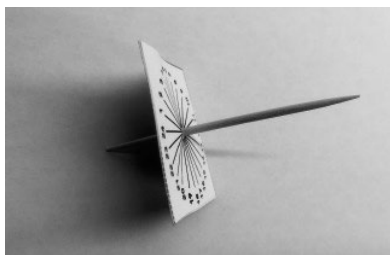


- Plier ce rectangle et coller les 2 carrés l'un contre l'autre (ils auront donc tous deux des côtés de 4 cm),
- Transpercer perpendiculairement le centre des 2 carrés avec un cure-dent : le carré au centre rouge devra être au-dessous lorsque le cadran sera posé sur une surface plane (si vous vous trouvez dans l'hémisphère sud c'est l'autre carré qui sera dessous),
- Régler la distance d'un bout du cure-dent (celui qui sera posé sur la surface plane) au centre des 2 carrés en fonction de la latitude où vous vous trouvez selon le tableau ci-dessous,



- Choisir une surface horizontale et orienter le bout du cure-dent reposant sur la surface plane vers le sud, avec la ligne horaire 12 h touchant le sol (le bout du cure-dent vers le nord dans l'hémisphère sud).

Vous pouvez maintenant lire l'heure solaire sur votre cadran !
Avez-vous mis moins de 2 min ?



*Un cadran solaire en 2' chrono ! Il n'est pas très précis
mais cette formation vous permettra de construire des
cadrans beaucoup plus précis ! (Photo Roger Torrenti)*

Exercice : Tracé à la montre...

Il convient d'avoir en mémoire la relation heure légale - heure solaire étudiée dans la séquence 2 :

$$TL = TS + ET + 1\text{ h (si « heure d'été ») } + CL$$

Avec :

- TL : heure légale (celle de nos montres)
- TS: heure solaire (lue sur le cadran)
- ET : valeur de l'équation du temps au jour considéré (à lire sur un schéma ou une table)
- CL : correction de longitude (positive si le cadran est situé à l'ouest du méridien de référence du fuseau horaire, négative s'il est situé à l'est de ce méridien)

Comme de nombreux pays européens, la Suisse a adopté pour temps légal UTC+1 : c'est pourquoi l'on désigne également l'heure UTC+1 sous le nom d'Heure normale d'Europe centrale (HNEC) ou (en anglais) de Central European Time (CET).

Ce fuseau horaire a pour méridien central 15° E. La correction de longitude à apporter est donc de 15° - 6° 9' soit 35 min 24 s (voir exercice 1 de la séquence 2).

En vous reportant à la courbe de l'équation du temps présentée dans la séquence 2, vous constatez que sa valeur est, mi-juillet, d'environ 6 min.

A 7 h (heure solaire), votre montre indiquera donc $TL = 7\text{ h} + 6\text{ min} + 1\text{ h} + 35\text{ min } 24\text{ s}$ soit 8 h 41 min 24 s.

Votre montre indique cette heure ?

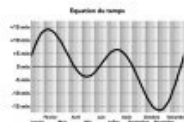
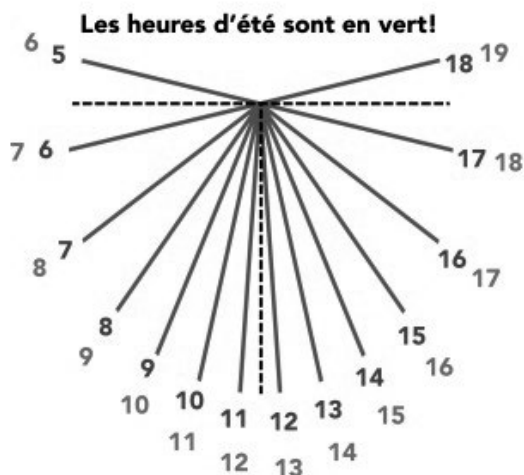
Immortalisez vite la ligne de 7 h sur le mur (elle sera la même tous les jours de l'année) et attendez simplement 9 h 41 min 24 s, 10 h 41 min 24 s, etc. pour marquer les heures suivantes.

Si le soleil se voilait dans la journée, vous recommencerez le lendemain ou les jours suivants pour tracer les lignes qui manqueraient à l'appel...

Exercice : Un cadran qui indique l'heure légale...

Reprenons la relation heure légale - heure solaire utilisée dans l'exercice précédent : $TL = TS + ET + 1h$ (si « heure d'été ») + CL

La solution au problème posé est très simple : on tracera par exemple la ligne de 7 h (au soleil) pour $TS = 7h + CL$, celle de 8 h pour $8h + CL$, etc. ! Il n'y a bien entendu plus de condition + 1h (si « heure d'été ») puisque votre cadran comporte une numérotation différente (de couleur) pour l'heure d'été.



(Illustration Roger Torrenti)

Exercice : En bon citoyen...

La différence de longitude entre les deux communes est de $23^\circ - 6^\circ = 17^\circ$ correspondant (voir l'exercice de la séquence 2 : « Convertir les écarts de longitude en h-min-s ») à 17 . (60 / 15) = 68 min soit 1 h 8 min.

Lorsqu'il sera 12 h au soleil dans la ville grecque située plus à l'est, il ne sera que 12 h - 1 h 8 min soit 10 h 52 min dans votre commune.

Il vous suffit donc de tracer la ligne horaire 10 h 52 min sur votre cadran. Vous le ferez par les différentes méthodes proposées précédemment :

- Avec votre montre (le plus simple !),
- Avec la formule donnant l'angle A d'une ligne horaire avec la ligne de midi : dans ce cas, la formule s'écrira $\tan A = \cos \text{LAT} \tan 17^\circ$ avec LAT la latitude de votre commune.

Quiz de la séquence 4

Question 1

On met quelquefois un œilleton à l'extrémité d'un gnomon pour :

- Permettre une meilleure lecture de la direction de l'ombre du gnomon

Question 2

Une méridienne peut être installée :

- A l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment

Question 3

Un cadran équatorial armillaire sera particulièrement adapté :

- À l'équateur

Question 4

La table d'un cadran polaire est inclinée par rapport à l'horizontale d'un angle égal :

- À la latitude

Question 5

On ne peut tracer sur un cadran polaire :

- Les lignes horaires 6 h et 18 h

Question 6

Aux pôles un cadran horizontal à style polaire devient un cadran :

- Équatorial

Question 7

On peut (dans l'hémisphère nord) tracer un cadran solaire sur un mur plein nord :

- **Oui, et il fonctionnera**

Question 8

Une fois un style polaire installé sur un mur vertical ou une surface horizontale on peut tracer les lignes horaires d'un cadran par un jour ensoleillé avec :

- **Avec une montre et la formule de conversion heure solaire - heure légale**

Question 9

Un cadran analemmatique ne peut pas s'utiliser :

- **À l'équateur au moment des équinoxes**

Question 10

Les marques horaires d'un cadran analemmatique sont réparties couramment autour :

- **D'une ellipse**

Notes

