



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>

Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Le **CLEA**, Comité de liaison enseignants et astronomes, est une association déclarée à but non lucratif (loi de 1901), fondée en 1977. Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (écoles d'été) et régionaux. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école, du collège et du lycée et, de manière générale, à tous les formateurs. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc.). Le **CLEA** favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes, hors de toute contrainte hiérarchique.

L'organe de liaison du **CLEA**, les **CAHIERS CLAIRAUT**, est une revue trimestrielle. On y trouve des articles de fond (astrophysique, histoire, philosophie, enseignement...), des comptes rendus d'expériences pédagogiques, des notes critiques de livres récents, des innovations en matière d'activités pratiques.

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés.

Le **CLEA** a reçu l'agrément national des associations éducatives complémentaires de l'enseignement public.

Présidents d'honneur

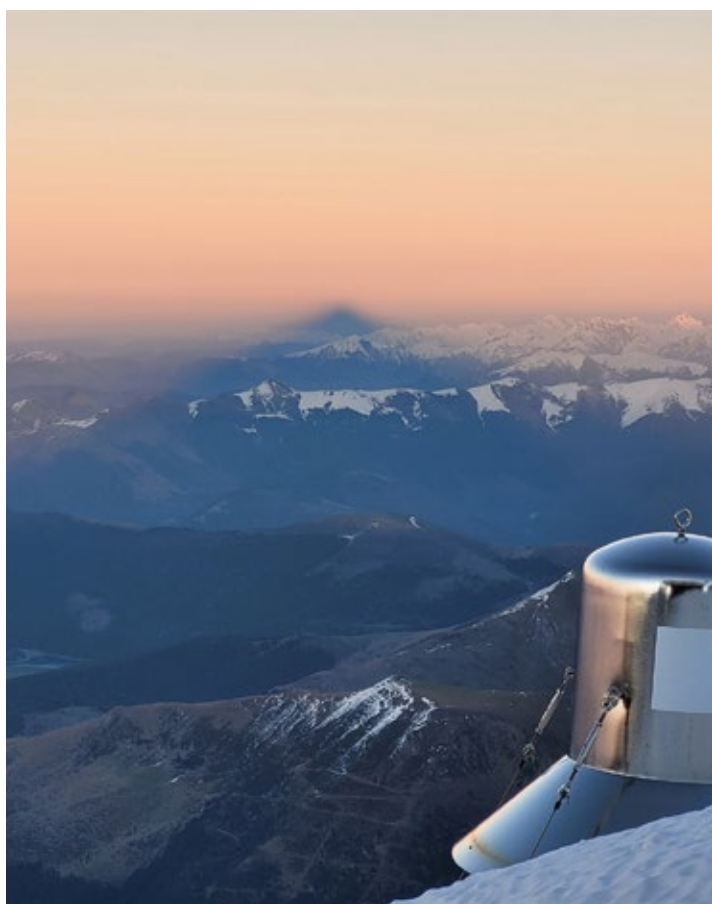
Lucienne Gouguenheim
Georges Paturel
Cécile Ferrari

Bureau du CLEA pour 2025

Président : Frédéric Pitout
Vice-présidente : Léa Griton
Secrétaire : Grégory Silva
Secrétaire adjointe : Alina Cristian
Trésorier : Jean-Louis Coustillet
Trésorière adjointe : Sylvie Thiault

Responsables des groupes

Cahiers Clairaut : Christian Larcher
Productions pédagogiques : Pierre Causeret
École d'été d'astronomie : Frédéric Pitout
Site web : Jean-Michel Vienney
Réseau de correspondants : Sébastien Dhérissard
et Floriane Michel



Merci à celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro des Cahiers Clairaut, nous citerons :

America Bañuelos, Sophie Bureau, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Jean-Marie Clément, Alina Cristian, Daniel Descout, Michel Dumont, Gaston Durand, Jean-Luc Fouquet, Olivier Gayraud, Aline Geyssant, Léa Griton-Noël, Véronique Hauguel, Élisabeth Hébert, François Hurter, Bernard Lacour, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Jérôme Mathey, Georges Paturel, Frédéric Pitout, Jean Ripert, Béatrice Sandré, Alain Vienne, Michel Vignand, Gilbert Walusinski.

L'ombre du pic du Midi de Bigorre sur les sommets pyrénéens photographiée depuis l'observatoire par Béatrice Sandré le 1er avril dernier à 20 h 22 (UTC + 2). Il est amusant de constater qu'à cette heure-là, les calculs montrent que le Soleil devrait être géométriquement sous l'horizon. Mais ce serait sans compter sur l'atmosphère terrestre qui, en déviant les rayons lumineux en provenance du Soleil (phénomène de réfraction), retarde son coucher d'un peu plus de trois minutes.

Les Cahiers Clairaut

Automne 2025

Éditorial

Dans ce numéro nous abordons le concept d'ombre et ses nombreuses applications en astronomie. Ombre et lumière sont intrinsèquement liées, il n'y a pas de lumière sans ombre. Au sens figuré ce concept est d'une extrême richesse ; il est souvent associé à la connaissance et à l'ignorance, à la vérité et à l'illusion, au bien et au mal, à la vie et à la mort...

Dans la littérature grecque cette notion apparaît dans « l'allégorie de la caverne » de Platon. Des hommes sont enchaînés dans une caverne depuis leur naissance, tournant le dos à la lumière venant de l'extérieur. Ils ne perçoivent pas les objets réels mais seulement l'ombre de ces objets manipulés pour les maintenir dans l'illusion. Cette « expérience de pensée » dénonce tous les préjugés et les idées toutes faites. Pour Platon la philosophie permet à l'Homme de passer de l'illusion des sens à la vérité de la connaissance intelligible. Cette allégorie trouve une nouvelle actualité avec l'ampleur des *fake news* transmises par les réseaux sociaux avec l'aide d'algorithmes pilotés par l'IA afin de mieux cibler les opinions personnelles des destinataires en jouant sur leurs émotions. La vérité devient négociable, nous entrons dans l'ère de la « post-vérité » qui devient notre « nouvelle caverne ».

En astronomie l'étude des ombres a permis de nombreuses découvertes : la forme et les dimensions de la Terre avec Ératosthène, la mesure du temps à partir des variations d'une ombre, la mesure de la distance de la Terre à la Lune à partir de l'ombre de la Terre sur la Lune, la hauteur des « montagnes » sur la Lune avec Galilée, et tout ce que vous découvrirez dans ce numéro.

Enfin quand on parle d'ombre on peut aussi avoir une pensée pour toutes *Les Figures de l'ombre* ; l'expression provient d'un film américain qui rend hommage à l'excellence du travail de nombreuses « femmes calculatrices » dans la réussite de la « conquête de la Lune ». Elle s'étend actuellement à l'ensemble de toutes les chercheuses scientifiques qui firent ou font de brillantes découvertes dans l'ombre.

Christian Larcher pour l'équipe

Sommaire

Actualités

Brèves d'observatoires et autres nouvelles

Frédéric Pitout 2

Coordonnées

Pourquoi prendre le pied du Soleil ?

Bernard Lacour 6

Dossier : Ombres dans l'Univers

11

Jeux

Jeux d'ombre

G. Durant, P. Descout, P. Causeret 12

Avec nos élèves

Deux projets autour des ombres

Olivier Gayraud 14

Avec nos élèves

Aujourd'hui, rouge sera mon ombre

Jean-Luc Fouquet 18

Article de fond

Ombre sur Mercure

Léa Griton-Noël 20

« Et si ? »

23

Article de fond

Longueur de mon ombre

Pierre Causeret 24

Article de fond

Soleil au zénith de La Réunion

Michel Vignand 28

Ombre dans les CC

30

Histoire

Ombre et latitude

Élisabeth Hébert 31

Mots croisés

34

Observation

Le ciel de l'automne 2025

Pierre Causeret 35

Astronomie et littérature

L'Astronomie Populaire de Flammarion

Aline Geyssant, Alain Vienne 36

Lecture de Kepler

Gilbert Walusinski 40

Article de fond

Énergie noire et matière noire

Georges Paturel 43

Math - Astro

Arithmétique et astronomie

Michel Dumont 45

Vie associative

Compte rendu EEA Alina Cristian & al. 47

Solutions mots croisés 48

Solution « Et si ? » 48



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>

DEUX PROJETS AUTOUR DES OMBRES

Olivier Gayrard

Cet article rend compte de deux projets menés dans un établissement scolaire, impliquant des élèves de collège et de lycée en lien avec le thème de l'ombre. Le premier projet a abouti à la réalisation d'un cadran solaire, désormais installé dans la cour de récréation du collège. Le second concerne une observation publique organisée dans la ville de Gaillac, préparée et animée par les élèves : la dernière éclipse partielle de Soleil.

Je ne souhaite pas revenir ici sur les phénomènes physiques mis en jeu, déjà très bien traités dans plusieurs articles de qualité parus dans les Cahiers Clairaut. Mon objectif est plutôt de décrire l'usage d'une démarche de projet. J'espère ainsi inciter d'autres enseignants à se lancer dans ce type d'aventure pédagogique enrichissante.

La démarche de projet : un équilibre entre action et formation

La démarche de projet, telle que définie par le sociologue Philippe Perrenoud, est une aventure collective orientée vers la réalisation concrète d'un objet, tel un cadran solaire, ou d'un événement, comme l'observation d'une éclipse. Elle mobilise les élèves autour de tâches variées, leur permettant de prendre des initiatives, de collaborer, d'expérimenter, tout en développant des compétences disciplinaires et transversales. Un tel projet, exigeant en temps et en coordination, n'a pu être mené à bien que dans le cadre souple et régulier offert par un club. Toutefois, elle comporte un dilemme central : faut-il privilégier la réussite du projet ou les apprentissages qu'il permet ? L'enjeu est de ne pas sacrifier l'un au profit de l'autre. Une tension permanente existe entre la logique d'action (être dans les temps pour « livrer la production ») et la logique de formation (prendre le temps d'apprendre, de faire des erreurs...). Lors de mes premières années au sein du club astro, j'ai personnellement ressenti cette contradiction comme une source de stress, notamment lors de concours (C Génial, Faites de la Science...). Deux attitudes m'ont permis de l'atténuer : d'une part, partager cette tension avec les élèves, en misant sur leur désir sincère de bien faire ; d'autre part, accepter que les objectifs initiaux puissent évoluer en cours de route.

Ici, les mathématiciens voyagent immobiles

Un cadran solaire est un instrument de mesure immobile qui indique le temps solaire par le déplacement de l'ombre d'un style sur une surface, la table du cadran, sur laquelle est tracée un ensemble de lignes. Mon objectif était d'apprendre aux élèves les bases de la gnomonique, l'art de calculer, tracer et construire des cadrans solaires. Les mathématiques sont ici de rigueur.

Mais quoi de mieux pour commencer que de voir vivre un cadran sur le terrain. Nous avons la chance d'avoir à Gaillac quelques cadrans solaires, dont un vertical sur enduit de chaux qui se voit à la Maîtrise, ancienne école privée (dans laquelle j'ai enseigné), aujourd'hui propriété privée. Ce cadran historique a été dernièrement restauré par M Benoît Didier, peintre décorateur. Lors de notre visite, pendant que je donnais des explications devant celui-ci, deux puis trois locataires sont sortis et se sont mêlés au groupe d'élèves, restés attentifs à l'échange, preuve que ce cadran continue d'intriguer et que l'intérêt pour les sciences et les arts demeure bien vivant. Cependant un cadran n'est pas qu'un objet scientifique, il comporte aussi des composantes technique, artistique et culturelle. Aussi chacun a pu mettre en avant son talent. Dans un premier temps, les élèves du club ont recherché des devises existantes, les ont classées en différents thèmes, puis ont réalisé un diaporama de présentation. Ce travail a ensuite été présenté dans deux classes de 5^e, lors d'un cours de français. Avec l'accompagnement de leur professeure (Mme Munier), un atelier d'écriture a été mis en place autour de la devise destinée à être peinte sur le cadran. Trois d'entre elles ont été sélectionnées. Les élèves ont ensuite consacré une heure de club à interroger un maximum de camarades dans la cour de récréation et de professeurs afin de désigner la devise finale. La voici : *Le temps passe, le savoir est éternel*. La professeure d'arts plastiques (Mme Maly) a guidé les élèves dans la conception et la fabrication de la table, en tenant compte des contraintes techniques liées à la fonction du cadran. Un panneau contreplaqué de marine extérieur de 22 mm d'épaisseur a été acheté pour l'occasion, de la peinture pour volets en bois, résistante aux UV et intempéries, ainsi qu'une autre peinture noire pour les lignes horaires. Les élèves ont souhaité une iconographie riche et variée, des représentations de symboles astronomiques et d'allégorie du temps. Mais nous avons pris du retard et les dessins sont restés au stade des brouillons. Les élèves ont alors fait appel à une élève de classe de première, Iris,

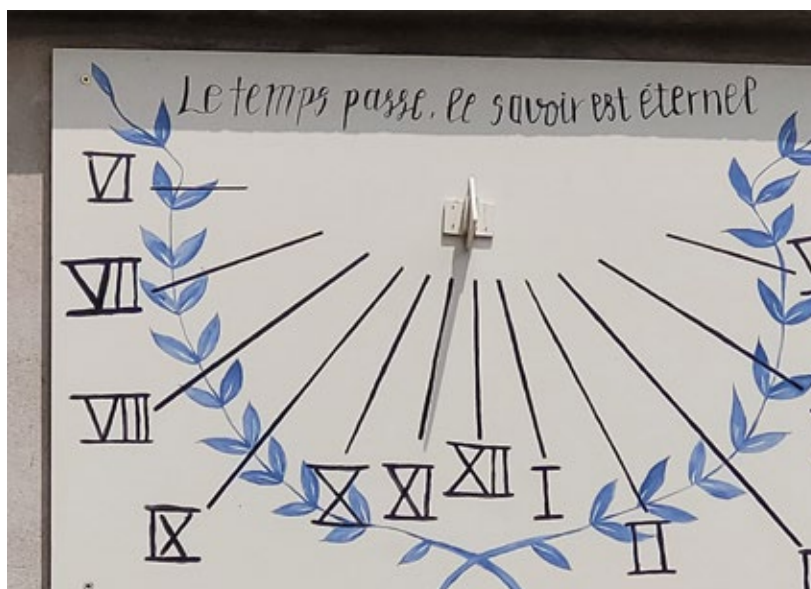


Fig.1. Notre cadran une fois installé.

faisant l'option art plastique. L'évocation de la réussite est illustrée par la couronne de feuilles d'olivier. Cette dernière rappelle aussi le symbole de paix, l'un des piliers qui forge notre établissement (figure 1).

Après avoir fait fixer au-dessus du mur de la cantine notre cadran solaire, j'ai eu plusieurs fois à répondre à la question des lignes horaires qui ne sont pas symétriques. En effet le mur en question n'est pas « plein » sud, et il est nécessaire de mesurer la déclinaison gnomonique, c'est-à-dire de déterminer l'angle entre le plan du mur et le plan méridien (qui contient la direction nord-sud). Cette

mesure est essentielle pour tracer correctement les lignes horaires d'un cadran solaire vertical. Une méthode accessible à laquelle j'avais pensé en amont est la méthode dite « de la planchette ». Cette méthode utilise des tasseaux de bois et un fil à plomb. Cependant de nombreux élèves étant en classe de 6^e et 5^e, il m'est apparu que cela serait trop complexe. Aussi j'ai eu recours à l'application de Sundial¹ (figure 2). Mais je souhaitais rendre cette étape du projet plus concrète. Pour cela, j'ai reproduit le même cadran équatorial que celui réalisé auparavant par les élèves en contreplaqué, mais en le fabriquant cette fois en plexiglas.

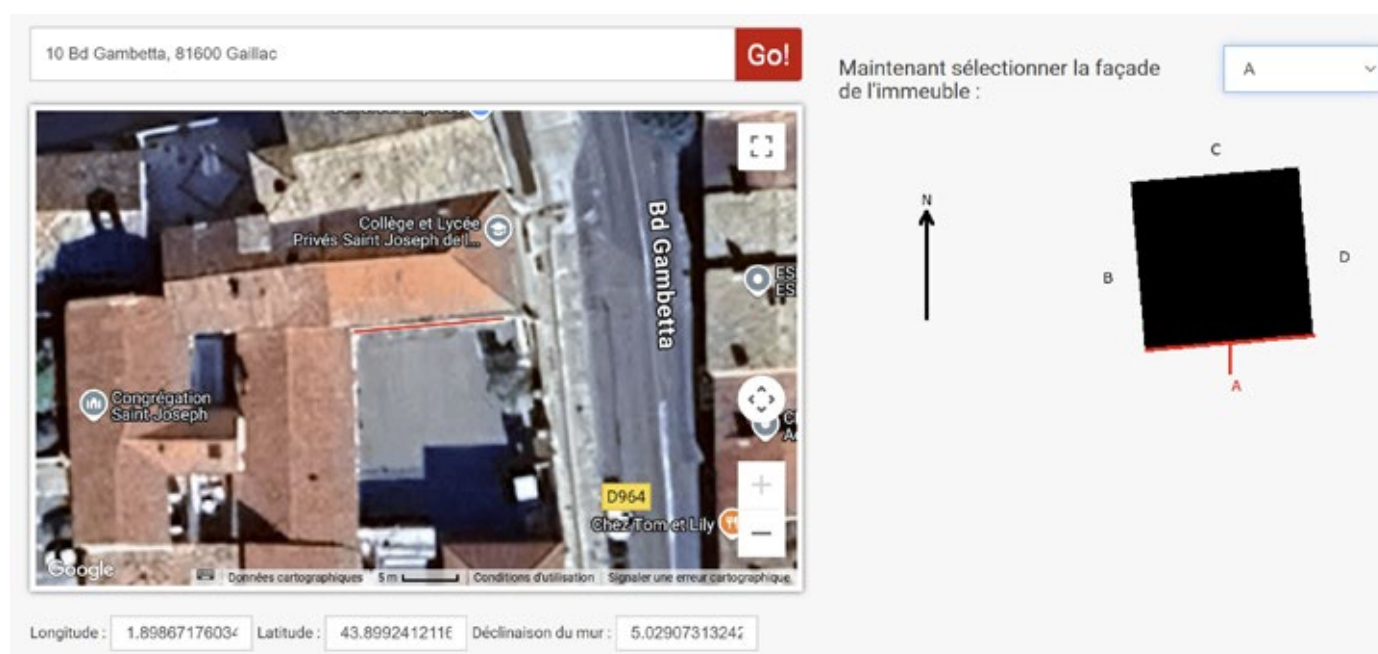


Fig.2. Copie d'écran de l'application Sundialzone pour la détermination de la déclinaison gnomonique. Il suffit de sélectionner l'endroit où l'on désire fixer son cadran solaire, puis de faire une ligne le long du mur choisi.

Un cadran solaire horizontal ou vertical peut être considéré comme la projection, sur une surface donnée et selon l'axe des pôles, d'un cadran équatorial. Ceci étant dit, le tracé du cadran devient plus accessible, à condition d'utiliser une lampe². L'objectif ici n'était pas de dessi-

ner l'épure du cadran final, mais de provoquer la prise de conscience de l'importance cruciale de l'orientation de notre mur sud. Pour cela, nous avons modélisé un mur fictif orientable à l'aide d'une simple porte montée sur ses charnières. Le cadran transparent, incliné selon un angle

égal au complémentaire de la latitude locale par rapport à l'horizontale, a été positionné selon une « méridienne » fictive perpendiculaire à la porte ouverte. Le dispositif, installé sur une plaque de verre, permettait d'ajuster par en dessous l'orientation de la lampe de façon à ce que l'ombre du style se réduise à un point. En faisant pivoter la porte vers « l'est » ou « l'ouest », les élèves ont pu observer concrètement comment les lignes horaires se déforment en fonction de l'orientation du mur (figure

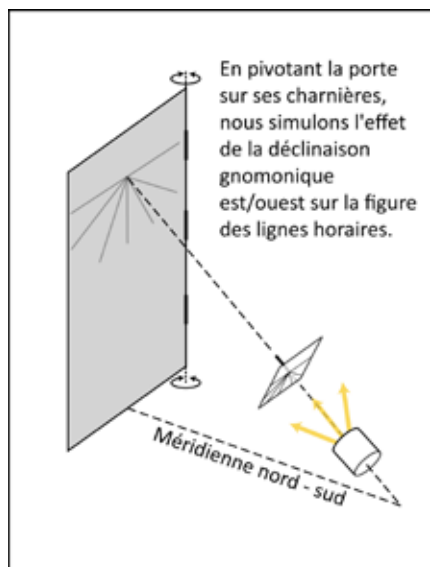


Fig.3. Le dispositif utilisé pour simuler différentes projections selon la déclinaison gnomonique du support.

Le dilemme formation/réussite a été ici assumé : si le cadran est bel et bien fonctionnel et esthétiquement réussi, c'est aussi parce que le processus a permis aux élèves de se confronter à des obstacles, de négocier, de s'organiser, et finalement d'apprendre en agissant. Finalement, travailler sur le phénomène des ombres, c'est un peu comme accompagner les élèves en projet : ils expérimentent, hésitent, essayent... mais accompagnés par leur professeur, ils finissent toujours par trouver la bonne position pour que la lumière fasse sens.

Message de M. Benoît Didier, gnomoniste et membre de la SAF, qui nous avait aidés dans la préparation de la visite des cadrans solaires de la ville de Gaillac.

Chers élèves du Club Astro Saint Jo

Vous avez réalisé un beau cadran solaire que vous avez couronné d'une très belle devise.

Le baron Charles Edmond de Rivières (archéologue tarnais et auteur des premiers recensements de devises horaires de France) aurait eu plaisir à découvrir la vôtre.

Je fais passer le lien à notre archiviste et aux membres de l'association astronomique de France (SAF) qui sauront apprécier vos futurs talents de gnomoniste et, je n'en doute pas votre complicité à promouvoir cet art mathématique.

Il n'est personne à qui la vue d'un cadran solaire n'ait inspiré de graves réflexions, devant notre vie si courte n'oublions pas le prix du temps. Charles Edmond de Rivières 1889 « Inscriptions et devises horaires ».

Félicitations

Observation publique de l'éclipse partielle de Soleil du 29 mars 2025

Le samedi 29 mars 2025, une éclipse partielle de Soleil — phénomène relativement rare — était visible. Cette configuration, un samedi entre 11 h et 12 h 30, a offert une opportunité idéale pour les élèves du club d'astronomie de partager leur passion avec leurs familles et les habitants de Gaillac. Mon objectif pédagogique initial était d'intro-

duire les bases de la mécanique céleste nécessaires à la compréhension des éclipses. L'observation en direct du Soleil à l'aide de la lunette fournie par le dispositif « Astro à l'École », équipée d'un filtre solaire pleine ouverture, a constitué le point de départ de cette démarche. Très vite, nous avons ressenti le besoin d'outils supplémentaires pour relier ce que nous voyions dans l'instrument aux explications théoriques. La conception de maquettes s'est imposée comme un prolongement naturel de cette re-

cherche. En tant que modèles scientifiques, ces supports ont joué un double rôle fondamental : outils de compréhension, en permettant de représenter et d'expliquer les mécanismes des éclipses, et outils de communication, facilitant la transmission de ces savoirs au grand public. Le

jour de l'éclipse, le va-et-vient entre observation directe et modélisation a permis non seulement de valider les représentations construites, mais aussi de renforcer chez les participants une posture active d'investigation.



Observation en H-alpha.



Maquette Lune Terre Soleil.



Observation avec un SolarScope.



Une autre maquette Soleil Terre Lune.

Fig.4. Quelques ateliers pris en charge par les élèves.

Dans cette seconde démarche, les élèves ont acquis de nouvelles compétences dépassant ainsi mon objectif initial. Si les élèves ont à nouveau travaillé en équipe dans la préparation et le déroulement de l'événement, ils ont dû aussi se répartir les rôles de manière efficace, faire preuve d'écoute active les uns envers les autres comme envers les visiteurs, communiquer avec aisance avec un public varié, parfois nombreux, en adaptant leur discours aux enfants comme aux adultes, s'exprimer avec confiance et clarté, en public. Pour beaucoup d'élèves, c'était la première fois qu'ils prenaient la parole en public : il a fallu gérer le trac, mais aussi cultiver la concentration et la présence face au public. Ils ont montré une grande motivation personnelle et collective, portée par l'enthousiasme de transmettre un savoir. Ils sont ressortis valorisés, fiers d'eux-mêmes, renforçant ainsi leur estime de soi. Ce type de projet met en lumière la richesse des apprentissages transversaux que nous pouvons susciter chez nos élèves, et combien les disciplines scientifiques peuvent aussi être un terrain fertile pour le développement global de la personne.



Fig.5. L'éclipse partielle du Soleil du 29 mars 2025 vue depuis la place de la Libération, Gaillac.

¹ <https://www.sundialzone.com/fr/sundial.php>

² D'après une idée du *Ciel à portée de main, 50 expériences d'astronomie*, P. Causeret, J.L. Fouquet, L Sarrazin-Vilas, Belin.

³ <https://www.shadowspro.com/fr/telecharger-shadows.html>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>

LA LONGUEUR DE MON OMBRE

Pierre Causeret, Esbarres

Quelle est la longueur de mon ombre ? Elle varie en fonction de l'heure, de la saison et aussi de la latitude. Voici quelques activités pour réfléchir à la question.

Au cours de la journée

À partir de l'école primaire

Pour débiter une recherche sur le sujet, on peut commencer par s'intéresser à l'ombre d'une figurine type Lego® ou Duplo® sur une surface horizontale, formée par une source lumineuse comme une lampe de poche. On remarquera facilement que la longueur de l'ombre dépend de la hauteur de la source lumineuse et que sa direction est à l'opposé de la source. On peut prolonger l'expérience à l'extérieur par une journée ensoleillée en observant l'ombre d'une personne. On s'aperçoit que cette ombre change de direction et de longueur en la dessinant à la craie toutes les heures par exemple.

Première remarque,

**l'ombre est plus courte
quand elle est dirigée vers le nord¹.**

Mais pourquoi ? La maquette qui suit permet de répondre à la question en faisant appel à la rotation de la Terre sur elle-même. Il suffit d'une lampe (le Soleil), d'un globe terrestre et d'un personnage assez petit fixé sur un carré représentant son horizon (figures 1 et 2).

La lampe étant allumée, on demande à un élève de faire tourner la Terre pour que l'ombre soit la plus courte possible, en s'aidant des cercles tracés. La meilleure solution est de placer l'ombre au nord, le Soleil est donc au sud.



Fig.1. La maquette avec lampe, globe et horizon. Ici, le globe terrestre a son axe vertical mais on peut également utiliser un globe classique avec un axe incliné.



Fig.2. Horizon (6 cm de côté) et personnage (2 cm de haut). Sur cet horizon, on a tracé des cercles concentriques, les axes nord-sud et est-ouest et noté les points cardinaux. L'horizon est fixé sur le globe, le nord dirigé vers le pôle Nord.

Lors des observations à l'extérieur, on a pu remarquer que l'ombre est du côté *ouest* le matin (Soleil à l'*est*) et côté *est* le soir (Soleil à l'*ouest*). Avec la maquette, on peut demander de placer le personnage le matin (ombre à l'ouest), puis le midi (ombre au nord) et enfin le soir (ombre à l'est). On trouve ainsi le sens de rotation de la Terre (sens direct ou inverse des aiguilles d'une montre vu du nord).

On vérifie également que l'ombre la plus courte se trouve au milieu de la journée (midi solaire).

Au lycée

On peut proposer de représenter la fonction qui, à l'heure, fait correspondre la longueur de l'ombre un jour donné. Pour que le calcul ne soit pas trop compliqué, on se place le jour de l'équinoxe, quand le Soleil se trouve dans le plan de l'équateur terrestre. On cherche la longueur L de l'ombre d'un bâton vertical de 1 m sur un sol horizontal. Ce type de bâton est souvent appelé gnomon.

On note ϕ la latitude de l'observateur, h la hauteur du Soleil et H l'heure, ou plus précisément l'angle horaire : on prend le midi solaire comme origine du temps et on fait varier H de -12 à 12 en heure, ou de $-\pi$ à π en radians (angle rouge de la figure 4).

On a alors :

$$L = 1 / \tan h \text{ et } \sin h = \cos \phi \times \cos H$$

(démonstration dans l'encadré page suivante).

¹ Les explications données ici sont valables au nord du tropique du Cancer. Pour les autres latitudes, il faudra adapter le discours.

Avec un tableur ou un petit programme, on peut calculer L pour les heures choisies ou tracer la courbe représentative en effectuant les calculs de minute en minute par exemple (figures 5 et 6).

Et si vous ne mesurez pas 1 m, vous aurez la longueur de votre ombre en multipliant votre taille en m par la longueur de l'ombre du bâton de 1 m (tableau 1).

Encadré 1 Les calculs

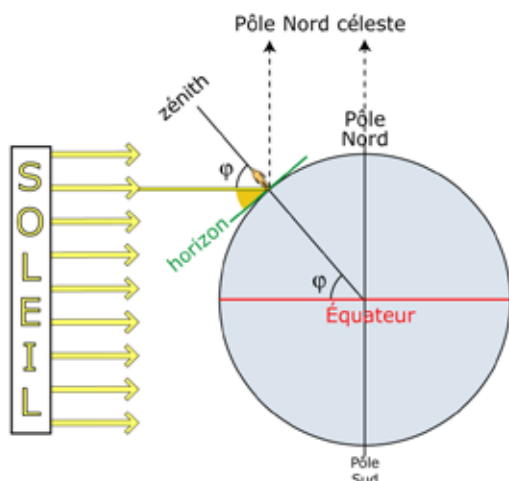


Fig.3. Pour l'observateur, la hauteur du Soleil à midi le jour de l'équinoxe (angle orange) est le complémentaire de la latitude.

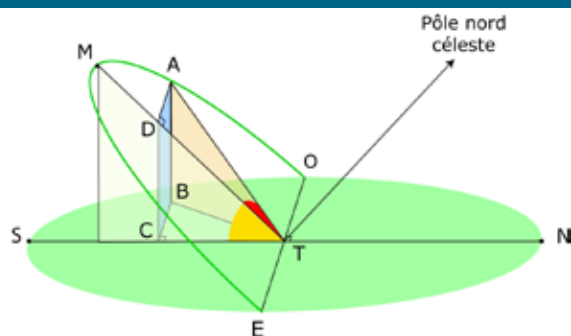


Fig.4. Le disque vert est l'horizon. M est la position du Soleil à midi et A, celle du Soleil à l'heure considérée.

On pose $TO = TA = TM = 1$.

L'angle orange (hauteur du Soleil à midi) est le complémentaire de la latitude φ .

L'angle rouge est l'angle horaire du Soleil H.

On peut calculer en fonction de φ et de H :

a. TD. b. DC. c. AB. d. Le sinus de l'angle h (BTA)

On trouve :

a. $TD = \cos H$; b. $\sin CTD = DC/TD$

d'où $DC = TD \sin CTD = TD \cos \varphi = \cos H \cos \varphi$.

c. $\sin h = AB = DC = \cos H \cos \varphi$.

Heure solaire	7 h	10 h	12 h	14 h	17 h
H (en h)	-5	-2	0	2	5
L (bâton de 1 m)	5,80	1,45	1,15	1,45	5,80
L (personne de 1,80 m)	10,4	2,61	2,07	2,61	10,4

Tab.1. Longueur de l'ombre d'un gnomon de 1 m et d'une personne de 1,80 m à l'équinoxe à la latitude de 49° N.

Si on veut représenter la longueur de l'ombre à une autre date, il faut connaître la déclinaison δ du Soleil (l'angle

entre le plan de l'équateur et la direction du Soleil). La formule donnant la hauteur h est un peu plus compliquée :

$$\sin h = \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \cos H$$

On peut alors représenter la longueur de l'ombre à n'importe quelle heure pour n'importe quel jour (figure 7).

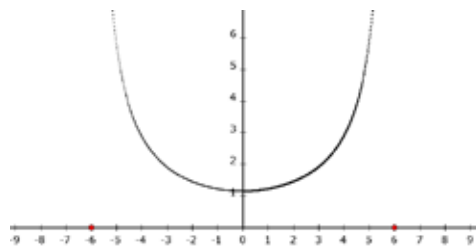


Fig.5. Longueur de l'ombre d'un gnomon de 1 m à la latitude de 49° N le jour de l'équinoxe (un point par minute). Les points rouges sur l'axe des abscisses indiquent les heures de lever et de coucher du Soleil ; on y observe deux asymptotes verticales, la longueur de l'ombre tendant vers l'infini.

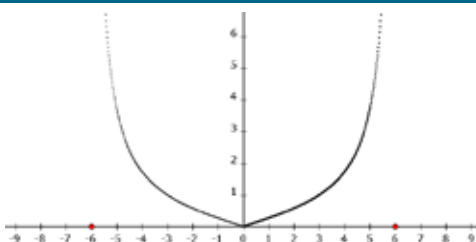


Fig.6. Longueur de l'ombre à l'équateur le jour de l'équinoxe. Le Soleil passe au zénith à midi, la longueur de l'ombre est nulle pour $H = 0$.

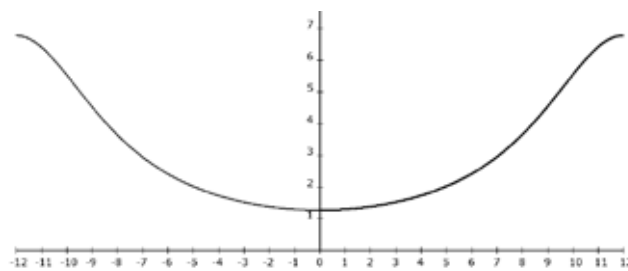


Fig.7. Longueur de l'ombre à la latitude de 75° N le jour du solstice d'été. Le Soleil ne se couche pas, on est au nord du cercle polaire arctique.

Courbe décrite par l'extrémité de l'ombre

On peut s'intéresser à la forme de la courbe décrite par l'extrémité de l'ombre du gnomon. Au cours de la journée, on voit le Soleil se déplacer le long d'un parallèle de la voûte céleste – d'un grand cercle le jour de l'équinoxe (figure 8). Si on appelle O l'extrémité du gnomon et S le Soleil, la droite (OS) décrit un cône – réduit à un plan le jour de l'équinoxe.

Ce dernier cas, l'équinoxe, est le plus simple, l'intersection de deux plans étant une droite, l'extrémité de l'ombre suit toujours une droite ce jour-là.

En dehors de ces deux jours par an, elle suit l'intersection d'un cône et d'un plan : c'est ce qu'on appelle une conique, donc une ellipse, une parabole ou une hyperbole. Au nord du cercle polaire arctique ou au sud du cercle polaire antarctique, les jours où le Soleil ne se couche pas, on obtient une ellipse.

Sinon, ce sera un arc d'hyperbole (avec le cas limite de la parabole quand le Soleil se trouve à l'horizon à minuit).

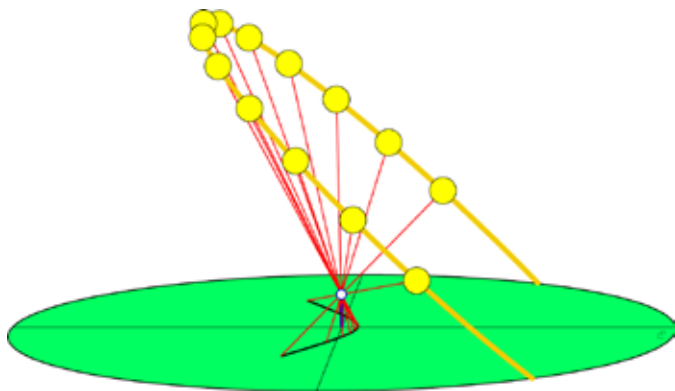


Fig.8. L'extrémité de l'ombre du gnomon décrit ici un arc d'hyperbole.

Au cours de l'année à midi

De l'école primaire au collège

Il est intéressant de suivre les variations de la longueur de l'ombre d'une personne ou d'un bâton à midi solaire tout au long de l'année. Le matériel le plus simple pour cela est une méridienne horizontale (figure 9).



Fig.9. Méridienne horizontale constituée d'une planchette et d'un gnomon. Elle doit être orientée nord sud. On peut y noter la position de l'extrémité de l'ombre toutes les semaines ou tous les mois aux alentours du midi solaire (voir encadré), il suffit qu'il fasse beau. En réalité, il n'est pas nécessaire d'être très précis sur l'heure du midi solaire, la hauteur du Soleil varie peu au milieu de la journée.

Comment trouver l'heure légale du midi solaire sans calcul ?

On peut obtenir cette heure sur le site ssp.imcce.fr, onglet visibilité des astres, en indiquant son lieu d'observation et la date. C'est l'heure de passage du Soleil au méridien qui est donnée en temps universel. Il faut ajouter 1 h en heure d'été ou 2 h en heure d'hiver pour avoir l'heure de la montre.

Si on commence en début d'année scolaire, on voit l'ombre s'allonger jusqu'au solstice d'hiver fin décembre pour raccourcir ensuite.

Pour comprendre la relation entre la hauteur du Soleil et la température, on pourra faire l'expérience du chocolat décrite dans le numéro 161 des Cahiers Clairaut (disponible en ligne).

Si l'on veut connaître la hauteur du Soleil, on peut matérialiser un rayon solaire en tendant une ficelle du sommet du gnomon à l'extrémité de l'ombre et utiliser un rapporteur. Sinon, l'angle se calcule par sa tangente avec simplement deux mesures.

Au collège

Pour comprendre pourquoi la hauteur du Soleil à midi varie tout au long de l'année, on pourra utiliser une maquette montrant la révolution de la Terre autour du Soleil avec son axe incliné par rapport au plan de son orbite (figure 10).

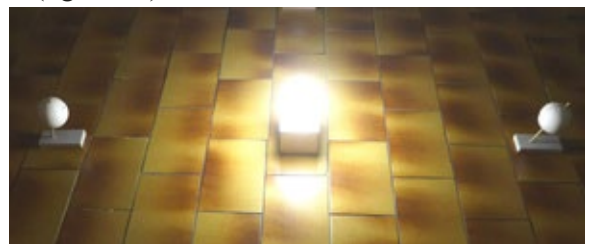


Fig.10. Maquette décrite dans le hors-série n° 12 des Cahiers Clairaut Astronomie à l'école.

Nous allons nous intéresser ici à deux positions particulières, les solstices d'hiver (21 décembre, parfois le 22) et d'été (21 juin, parfois le 20). Un simple schéma montre que l'ombre d'un gnomon à midi au solstice d'hiver est beaucoup plus longue qu'au solstice d'été (figure 11).

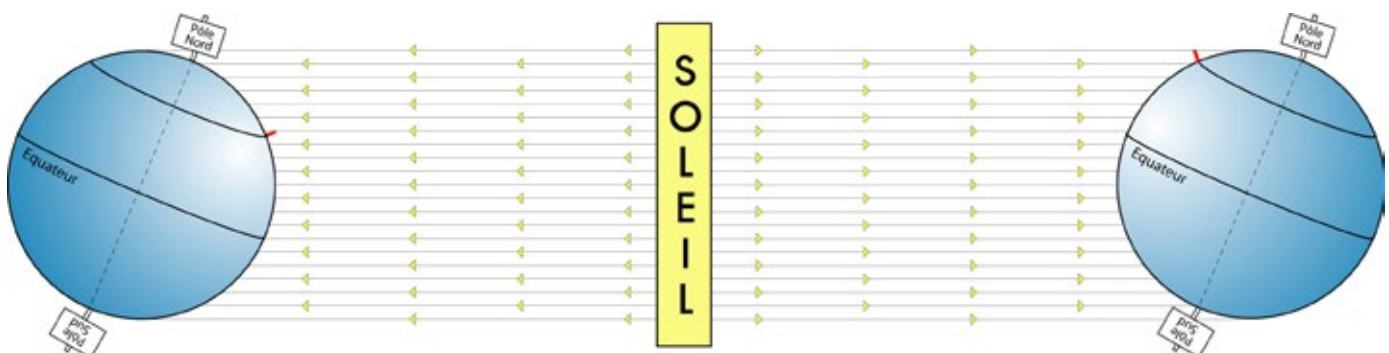


Fig.11. La Terre représentée aux solstices. On peut mesurer sur la figure la longueur de l'ombre du bâton rouge à midi à gauche au solstice d'été et à droite au solstice d'hiver. On trouve environ 3 mm à gauche et près de 2 cm à droite (bien que la rotondité de la Terre fausse un peu le résultat), pour une latitude de 47° N (latitude moyenne en France métropolitaine).

On obtiendra un résultat plus précis par le calcul. À la latitude de 47° N, l'ombre d'un bâton de 1 m mesure 44 cm au solstice d'été et 2,81 m au solstice d'hiver (voir encadré n° 2). Pour une personne de 1,80 m, on obtient 79 cm et 5,05 m.

En France métropolitaine, notre ombre est au moins 6 fois plus longue à midi au solstice d'hiver qu'au solstice d'été !

Au lycée

Comme dans le premier cas, il est possible de représenter graphiquement la hauteur du Soleil à midi en fonction de la date. Nous avons vu qu'à l'équinoxe, cette hauteur est égale au complémentaire de la latitude soit $\pi/2 - \varphi$ (figure 3).

À une autre date, il suffit d'ajouter la déclinaison du Soleil (notée δ), positive quand il est au nord du plan de l'équateur, négative au sud.

On peut trouver cette déclinaison sur le site imcce.ssp.fr (onglet éphémérides de position) ou la calculer avec une formule approchée. La figure 12 donne la hauteur h du Soleil à midi solaire en fonction du nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe d'automne. Elle a été réalisée avec ces trois formules :

1. $L = 1 / \tan h$
2. $h = \pi/2 - \varphi + \delta$

avec φ = latitude et δ = déclinaison du Soleil

3. $\sin \delta = \sin \varepsilon \times \sin (2\pi J / 365,25)$

avec ε = obliquité de la Terre = $23,45 \times \pi/180$

et J = nombre de jours écoulés depuis l'équinoxe de printemps. Cette dernière formule est approximative car elle ne tient pas compte de l'excentricité de l'orbite terrestre.

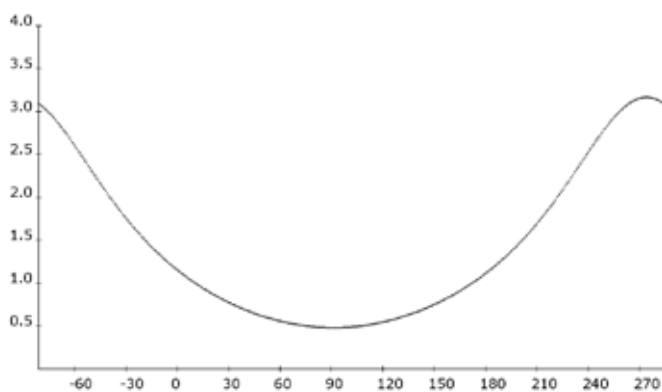
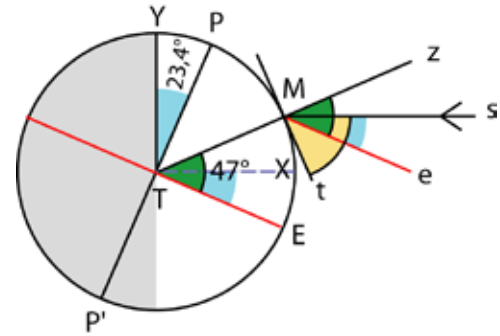


Fig.12. Évolution de la longueur de l'ombre à midi solaire d'un gnomon de 1 m tout au long de l'année à la latitude de 49° N.

Encadré 2

Les calculs

Au solstice d'été à midi



P représente le pôle Nord, T, le centre de la Terre et M est l'observateur à midi.

L'axe de la Terre PP' est incliné de $23,4^\circ$ par rapport à la perpendiculaire au plan de son orbite (TY).

(Ms) représente un rayon lumineux en provenance du Soleil.

[Mz) est la verticale et [Mt) indique l'horizon sud. On cherche la hauteur du Soleil tMs .

PTX est le complémentaire de $PTY = 90^\circ - 23,4^\circ = 66,6^\circ$

ETX est le complémentaire de $PTX = 90^\circ - 66,6^\circ = 23,4^\circ$

NB : PTY et ETX ont des côtés perpendiculaires. On a trouvé qu'ils avaient même mesure.

$eMs = ETX = 23,4^\circ$

$eMz = ETM = 47^\circ$

$tMe = 90^\circ - eMz = 90^\circ - 47^\circ = 43^\circ$

$tMs = tMe + eMs = 43^\circ + 23,4^\circ = 66,4^\circ$

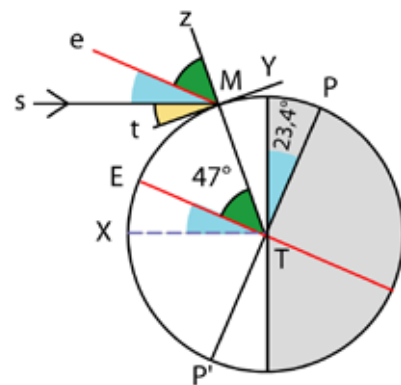
$L = 1 / \tan(66,4^\circ) = 0,44$.

On trouve une longueur de 44 cm.

La formule générale pour une latitude φ est :

$tMs = 90^\circ - \varphi + 23,4^\circ = 113,4^\circ - \varphi$

Au solstice d'hiver à midi



Les calculs sont identiques pour eMs , eMz et tMe

$tMs = tMe - eMs = 43^\circ - 23,4^\circ = 19,6^\circ$

$L = 1 / \tan(19,6^\circ) = 2,81$.

La formule générale pour une latitude φ est :

$tMs = 90^\circ - \varphi - 23,4^\circ = 66,6^\circ - \varphi$

(d'après le hors-série n° 10 des Cahiers Clairaut, Maths et astronomie).



Cette page de la revue ne sera disponible à la lecture de manière gratuite seulement 3 ans après sa publication.

Si vous avez besoin de ces informations, vous pouvez adhérer au CLEA et vous abonner à la revue trimestrielle en version papier ou pdf ou acheter seulement ce numéro des Cahiers Clairaut en ligne :

<https://ventes.clea-astro.eu/>