LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 134 - Juin 2011 7 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Numéro 134 - été 2011

ISSN 0758-234X

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.

Présidents d'honneur :
Jean-Claude Pecker
Lucienne Gouguenheim,
Georges Paturel

Bureau du CLEA pour 2011

Présidente : Cécile Ferrari
Trésorier : Jean Ripert
Trésorière Adjointe : Roseline Jamet
Secrétaire : Christian Larcher
Secrétaire Adjoint : Jean-Luc Fouquet

Responsables des groupes

Vie associative : Jean-Michel Vienney
Cahiers Clairaut : Christian Larcher
Productions Pédagogiques : Pierre Causeret
Communication : Charles-Henri Eyraud
École d'Été d'Astronomie: Danièle Imbault

Responsables du site :
Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud

Merci à tous celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce Cahiers Clairaut, nous citerons : Thibaut Alleau, Raphaël Beaulieu, Benjamin Bertin, Francis Berthomieu, Pierre Causeret, Daniel Collongues, Christine Dalloubeix, Charles-Henri Eyraud, Samuël Gay-bellile, Michèle Gerbaldi, Véronique Hauguel, Jean-Jacques Hillairet, Daniel Kunth, Christian Larcher, Georges Lecoutre, Stéphane Le Gars, Pierre Magnien, Bruno Meunier, Jean-Brice Meyer, Yorick Noël, Gerano Olivieri, Luc Richard, Jean Ripert, Alice Tahir, Daniel Toussaint, Arnaud Vandehaeck, Elias Vandermeersh.
Les auteurs recevront plusieurs numéros 134, afin de faire connaître la revue autour d'eux.
Nous nous excusons auprès de ceux qui nous ont envoyé des articles que nous n'avons pas encore publiés.

Grand cadran vertical déclinant est de 26°, de forme circulaire, daté de 1881, rue de la Préfecture à Dijon. La photo a été prise le 6 mai à 13 h 40, soit quelques minutes après midi au Soleil (12 h 04 en heure solaire) et l'ombre du style est quasiment verticale.
Photo Pierre Causeret

Les Cahiers Clairaut

Été 2011 n° 134

Éditorial

Le thème de ce numéro publié au moment du solstice d'été 2011 nous permet de revenir aux méthodes primitives de mesure du temps à l'aide des cadrans solaires.
Le temps est un "grand maître" dont la nature est indéfinissable mais qui se mesure. Les réflexions sur le concept de temps sont très anciennes ; elles indiquent toutes que le temps n'est concevable qu'associé au mouvement, au changement, à l'évolutif et au répétitif. Tout mouvement présuppose l'idée de temporalité et c'est à partir du mouvement apparent des astres que furent définies les grandes divisions du temps : l'année, le mois, le jour…
Pour mesurer le temps, il est commode de le spatialiser. L'ombre du style des cadrans solaires, les aiguilles des horloges, décrivent des portions mesurables d'espace.
Le temps est indispensable pour prévoir l'évolution temporelle des phénomènes, par exemple pour connaître à quelle date la planète Neptune se retrouvera pour la première fois dans la même position dans le ciel qu'au moment de sa découverte en 1846.
La connaissance du temps permet aussi un retour sur une histoire passée, par exemple celle de l'émergence de l'astrophysique en France entre 1870 et 1914.
L'astrophysique peut remonter beaucoup plus loin dans le passé car regarder loin dans l'espace c'est regarder tôt dans l'histoire de l'Univers. Avec "la lumière fossile" il est possible, pour les observateurs actuels, de "voir" en direct, l'Univers tel qu'il était environ 380 000 ans après le Big-Bang. Des questions cependant se posent : cette "image du passé" enregistrée par le satellite Planck correspond-t-elle vraiment à la réalité ? Quel crédit peut-on accorder aux "images" de l'invisible ? Les difficultés d'interprétation sont multiples car la lecture de cette première "photographie" de la "lueur fossile" nécessite un double codage.
Les images astronomiques sont souvent esthétiques, mais cette caractéristique est-elle utile à la démarche scientifique ? Quelle que soit la réponse nous pourrons toujours admirer la beauté d'un ciel bleu ou la mystérieuse lueur bleutée produite dans l'eau par effet Cerenkov.

"Comment je vois le monde" écrivait Albert Einstein dans les années trente. Comment le voyons-nous aujourd'hui ?

Christian Larcher, pour l'équipe.

Article de fond
Les images sont-elles trompeuses ?
Daniel Kunth p 2

Curiosité
Premier tour de piste pour Neptune
Pierre Magnien p 6

Thème : CADRANS SOLAIRES p 9

Notions de base
Pierre Causeret p 10

Compléments
Pierre Causeret p 13
Mots croisés cadrans solaires p 14

Avec nos élèves
Cadran analemmatique
Francis Berthomieu p 15

Avec nos élèves
Cadran sphère
Véronique Hauguel p 19

L'horosphère du collège d'Aix en Othe
Daniel Toussaint p 22

Avec nos élèves
Ateliers cadrans solaires au collège de Caluire
Nathalie Rif, Charles-Henri Eyraud p 23

Histoire
Une courte histoire des cadrans solaires
Charles-Henri Eyraud p 28

Avec nos élèves
L'effet Cerenkov
Jean-Brice Meyer et ses élèves p 30

Histoire
L'astronomie physique à l'observatoire de Paris (1870 – 1914)
Stéphane Le Gars p 34

Ciel d'été
Pierre Causeret p 39

Vie de l'association
Urbain Le Verrier
René Cavaroz p 40

Dernière minute
Une exoplanète en vue ! p 40

Solutions mots croisés p 40

ARTICLE DE FOND

Les images sont-elles trompeuses ?

Daniel Kunth, Institut d'Astrophysique de Paris

L'Université des Sciences en Ligne (Unisciel) créée sous l'impulsion du Ministère de l'Enseignement Supérieur a pour vocation de proposer des ressources pédagogiques dans le domaine des sciences fondamentales. Il s'agit souvent de courtes vidéos où l'on voit des chercheurs débattre entre eux sans la présence d'un animateur. C'est ainsi que J.F. Colonna, mathématicien, professeur à l'école Polytechnique et Daniel Kunth astronome à l'Institut d'Astrophysique de Paris ont échangé sur le statut des images scientifiques(1). Nous avons demandé à Daniel Kunth de bien vouloir nous faire part de son point de vue.

De l'importance des images scientifiques

Les astronomes sont des producteurs d'images. En contact direct avec l'Univers, ils le sont par le truchement quasi-exclusif de la lumière. C'est à partir des images que nous cherchons à comprendre le monde.

La période actuelle se caractérise par la production d'une avalanche d'images que ce soit au télescope lorsque nous parlons "d'observation visuelle", d'autres supports (photographiques, numériques) voire des situations plus conceptuelles (simulations par ordinateurs, publications scientifiques). Notons tout de même, qu'entre chercheurs, l'image "couleur" joue un rôle limité. Elle est surtout une aide à la perception et le support nécessaire en vue de la conceptualisation. Quand le profane feuillette des publications de spécialistes, il demeure extraordinairement déçu : peu d'images, mais des courbes, des graphes, des équations et beaucoup de texte forment l'essentiel des articles scientifiques.

Encore que dans les plus récentes publications de l'astrophysique, le nombre d'images a crû considérablement. Nous, professionnels, restons soucieux d'une certaine forme d'image. Que ce soit celle d'une nébuleuse, d'une galaxie ou qu'elle résulte de calculs théoriques, l'image concourt à valider la qualité de la mesure puis à élaborer une vision plus profonde de l'Univers et à l'appréhender. L'image donne un cadre pour penser l'objet. Pour ce faire, nous traquons le détail de plus en plus fin, et surtout l'invisible.

Pourquoi l'invisible? Car en réalité, le domaine dit "visible" n'est qu'un domaine restreint du spectre électromagnétique. Si même nous continuons à parler de "vision", nous mettons en œuvre la totalité du spectre électromagnétique, depuis les rayons X jusqu'à l'infrarouge, en passant par les couleurs de l'arc-en-ciel, qui à elles seules cristallisent notre capacité à "voir".

La science ne peut se passer de cette "vision" dans tous les sens du terme. Que serait, pour nous, l'Univers si nous n'avions pour le connaître que l'usage de l'ouïe et du toucher ?

Pourrions nous imaginer les étoiles, le cosmos?

Le sens de la vision est donc fondamental pour approcher la réalité y compris dans la discipline qui mobilise la simulation numérique. Les équations qui, par exemple, régissent les mouvements des planètes peuvent être introduites dans un ordinateur et les résultats de ces calculs forment une expérimentation "virtuelle". Cette nouvelle approche, de par les progrès de l'informatique lors des dernières décennies, est source de résultats de plus en plus nombreux. Il revient à notre intelligence d'essayer d'en faire une synthèse et de les montrer.

L'image s'impose naturellement avec les dangers qui lui sont associés.

De quel danger parlons nous?

Fig.1. *La galaxie NGC 2997 photo NASA.*

Les images de nébuleuses sont belles et colorées mais opèrent comme un leurre, car le public pourrait avoir le sentiment erroné qu'elles sont ce qu'il verra dans le ciel.
Il est d'ailleurs difficile de repérer de quelle manière le public ressent une image. L'image transmet les défauts de l'instrument qui les produit comme les aigrettes des étoiles brillantes ou encore la dimension apparente des étoiles qui laissent croire qu'on perçoit leur véritable diamètre. Les galaxies spirales et leurs contours flous n'induisent-elles pas un sentiment de fuite et d'évasion ? Ni la profondeur, ni les dimensions des objets cosmiques ne sont déchiffrables en tant que telles sur les images et nombre d'interprétations erronées en découlent.

Fig.2. *Sur cette image, des étoiles qui semble presque se toucher alors qu'elles sont à des distances considérables les unes des autres.*

Beaucoup de gens, y compris parfois les scientifiques eux-mêmes, prennent les images pour la réalité. Or l'image n'est pas la réalité ! Elle procède d'une invention, d'une mise en scène. Il ne s'agit certes pas d'épouser ici un point de vue "relativiste" en avançant que l'image dépend d'une culture ou d'une réalité dite "sociologique", mais plutôt de l'état d'une technique qui, à un moment donné, permet qu'un protocole particulier soit mis en place.
Il suffit d'ailleurs de chausser des lunettes à verres teintés de rouge pour voir le monde autrement que si l'on chaussait des lunettes bleues, jaunes ou polarisées. Tout le monde a déjà vécu cette expérience. Au moyen de choix et de protocoles très précis, nous obtenons des images pensées à l'avance qui contiennent potentiellement des découvertes fortement anticipées (et qui n'excluent évidemment pas les surprises et découvertes fortuites, dites "par sérendipité"). L'adéquation entre la pensée et l'image obtenue est à l'origine de la "découverte" et de la consolidation des hypothèses qui servent de socle à une théorie.
La réalité n'est reconstituée qu'à partir de ces vues partielles, analysées, interprétées, mises bout à bout afin de rechercher une globalité. D'une manière analogique et en forçant la comparaison, chaque image est comme la dualité onde-corpuscule qui ne dit rien de plus d'un photon, que la dualité canard-marmotte ne nous dit de cet animal si atypique qu'est l'ornithorynque.

Du codage des images scientifiques

La situation se complique encore lorsque les longueurs d'onde que nous recevons se situent en dehors du spectre visible. Et dans un futur peut-être proche, nous aurons aussi à "montrer" les ondes gravitationnelles. Le public à cet égard, manque cruellement d'information.
Jean-François Colonna, avec qui j'échangeais ces points de vue, faisait remarquer à quel point la simulation numérique produit de "belles images". Il se fait un plaisir de les placer sur Internet afin que tous puissions en profiter, bien qu'il n'ait pas le temps de toutes les commenter.
Les commentaires restent néanmoins essentiels. J'ai ce sentiment toujours très vif en voyant l'image de la Terre, obtenue depuis un satellite. Elle est devenue si banalisée que personne ne songe plus que nous sommes les premières générations à "voir" cette planète ronde, isolée et si bleue. Cette image souligne à quel point nous sommes responsables de notre planète. Image saisissante, fruit de la conquête spatiale du siècle dernier.

Une des difficultés majeures liée à l'interprétation concerne le codage des couleurs.
Il est vrai que loin d'une tromperie avérée, nous sommes souvent en situation d'égarer involontairement le public. L'infrarouge est invisible et pour montrer les images en infrarouge de planètes ou de galaxies, il faut produire des cartes "analogiques". Soit en ayant recours à des courbes de niveaux qui expriment les variations d'intensité pour une longueur d'onde donnée, soit en révélant les variations de longueurs d'onde d'un point à l'autre de l'objet en utilisant à cette fin les couleurs du visible. Ce procédé vaut pour tous les domaines, que ce soient les rayons X, la radio ou les rayons gamma.

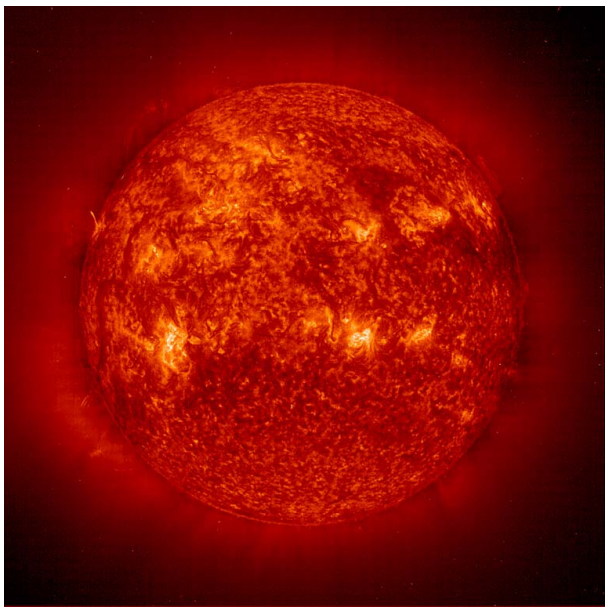


Fig.3. *Comme l'image ne le suggère pas, le Soleil en ultraviolet (30,4 nm) par SOHO image NASA.*

Les images numériques sont, quant à elles, des séquences de valeurs et afin de les montrer aux collègues, à ses élèves ou au public, des choix sont nécessaires, y compris dans le domaine des formes.

Pour les couleurs, les questions auxquelles on doit répondre peuvent apparaître absurdes, ponctuait Jean François Colonna : quelle est la couleur des chiffres ? Quelle est la couleur du chiffre 3 ? Bleue, rouge ? Le choix reste arbitraire, mais nécessaire, afin de produire l'image de notions parfois très abstraites comme par exemple, la pression de l'air au-dessus de la table qui se trouve devant nous.
Malheureusement, il arrive que ces choix, pour arbitraires qu'ils soient, induisent des fausses représentations (des objets ou des formes qui n'existent pas dans la réalité).

D'une manière plus précise, lorsque nous montrons le rayonnement fossile, cette lueur émise 380 000 ans après le Big Bang, nous procédons à un double codage. Le premier est une traduction dans le visible d'un rayonnement reçu dans le domaine des ondes radio et l'autre vient de la nécessité de représenter des fluctuations d'intensité qui, d'un point à un autre, n'excèdent pas 1/100 000. Comment visualiser des écarts aussi faibles, mais pour autant significatifs pour l'évolution ultérieure de notre Univers ?
Les astronomes ont décidé de coder en bleu les régions les moins intenses et en rouge les autres. Mais pour le public, ce contraste est immense. Le bleu est presque à l'opposé du rouge. Chacun pense que le bleu est très froid et le rouge très chaud alors que les différences sont minimes et que c'est en fait ici l'inverse qui se produit.

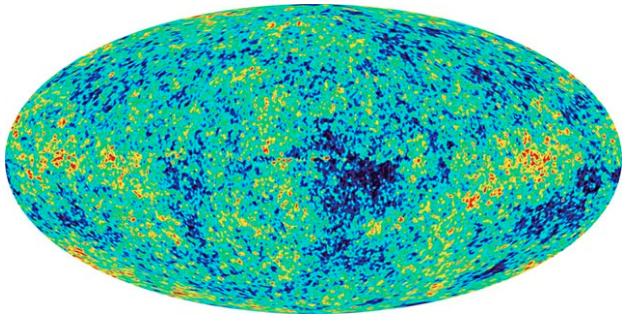


Fig.4. *Image du rayonnement fossile en radio Image NASA.*

La réalité non représentable

Le choix des formes est tout aussi problématique. Afin de montrer ce que l'on croit être l'intérieur d'un photon, il faut choisir une forme. Mais à quoi ressemble un photon ? Car en fin de compte, la réalité est mieux représentée par un objet mathématique (tenseur, matrice) que par une forme analogique, mais elle demeure pour chacun d'entre nous "non - représentable mentalement".
Tout se joue dans les choix que nous opérons et qui sont confrontés à une reconstitution mentale à priori. Il y a des choses que l'on *croit voir* parce qu'on *veut* les voir. Chacun se souvient des images de Mars transmises par la sonde Viking 1 en 1976, ou certains croyaient reconnaître un visage (figure 5).

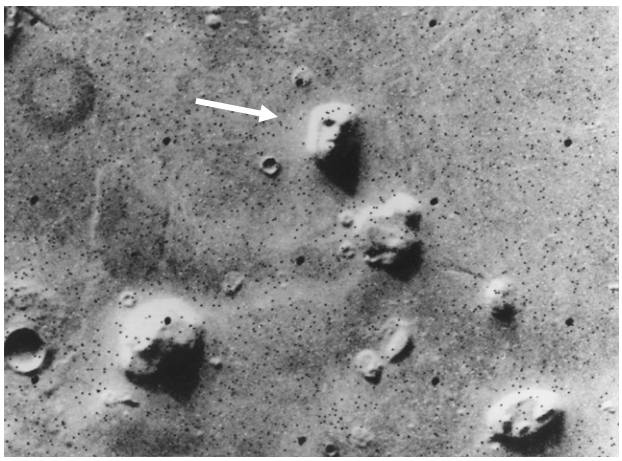


Fig.5. *Image du 25 juillet 1976 prise par la sonde Viking 1. Certains y ont vu un visage (flèche) photo NASA.*

Lorsque la résolution de l'image a augmenté, le visage a bien entendu disparu. Vigilance et travail vont de pair. L'image n'est souvent que support à l'intuition tout en nécessitant une validation permanente que seul le travail scientifique peut offrir dans ce contexte.

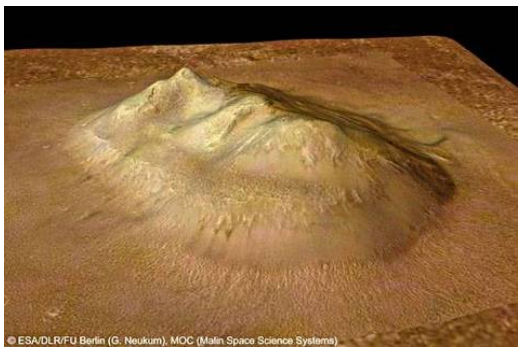


Fig.6. *Le "visage de Mars" dans la région de Cydonia pris par Mars Express, photo ESA.*

Chacun s'émerveille à la vue d'une comète, d'une nébuleuse, mais les rapports affectifs et émotionnels diffèrent d'une personne à l'autre. À l'inverse, on ne peut agir sans émotion, la pensée seule ne suffit pas. Déjà au début du XIX^{e} siècle, le grand cosmologiste E. Hubble, à qui l'on doit la loi de l'expansion de l'Univers, publiait des photos de galaxies sans nécessité évidente pour les besoins de sa démonstration. Leur présence réalise pourtant un lien affectif entre l'expérience et la théorie qu'elle sous-tend. Elle éclaire le lecteur et permet d'enclencher d'autres processus associatifs (ici la "fuite" des galaxies) que la pure donnée chiffrée ne peut à elle seule susciter.

Fig.7. *Galaxie NGC 1232.*

Si finalement les scientifiques recourent aux images, c'est sans doute parce que plus la science se développe, plus elle devient contre intuitive. Elle échappe au bon sens commun. L'exemple le plus frappant concerne le comportement des particules de la mécanique quantique. Il nous faut accepter d'aller dans des registres d'abstraction de plus en plus profonds. Certains s'y sentent très à l'aise, d'autres pas.

Images au service de la science ou de l'art ?

La plupart des images de science sont-elles belles et esthétiques ? J'ai parfois cru, au moins pour l'astronomie, que ces images s'apparentent à l'art. Aujourd'hui je n'accepte plus cette idée. Si esthétique il y a, il faut accorder à l'art un statut différent. L'art procède d'abord d'une pensée. L'artiste pense. Il ne cherche pas nécessairement à produire une œuvre qui soit "jolie" ou esthétique. À l'inverse, une image pour si belle qu'elle soit, et c'est souvent le cas en astronomie, n'est pas une production artistique pour autant. Le scientifique se donne le but de comprendre la nature d'un objet et les lois physiques qui le gouvernent, indépendamment de sa qualité d'homme. L'artiste tend surtout à exprimer son *monde intérieur* par le truchement éventuel de l'objet, et ce n'est pas forcément l'objet qui l'intéresse mais *in fine* son monde intérieur qu'il exprime et projette. *Sa vision du monde l'emporte sur le monde.*

Certains scientifiques tentent parfois (c'est le cas de J-F Colonna) de détourner les images qu'ils produisent pour développer ce qui serait comparable à une œuvre d'art. Ils recherchent au-delà des modèles numériques qu'ils produisent l'œuvre potentielle qu'ils recèlent. C'est le cas, peut-être, des images fractales de B. Mandelbrot. Mais je reste personnellement très sceptique sur ce risque d'amalgame et constate en tous cas que ces approches restent minoritaires parmi les scientifiques et largement ignorées de la majorité des artistes. Plus fructueuse, me semble être la démarche conjointe d'un artiste et d'un scientifique autour d'un projet factuel, qu'ils abordent en commun et où chacun respecte l'identité de l'autre.

De la nécessité de transmettre et de communiquer

Les professionnels, paradoxalement, ne voient jamais les images qui fascinent au plus haut point le public et les astronomes amateurs. Techniquement, leurs télescopes dotés de miroirs géants ont des focales tellement grandes que la région du ciel qu'ils enregistrent est très petite, contrairement aux lunettes d'amateurs, dont le grand champ embrasse la totalité des objets les plus brillants du ciel. De surcroît, l'astronome obtient des clichés numériques (ou photographiques) codés en noir et blanc, obtenus à travers des filtres colorés différents et/ou recalculés selon un processus souvent très complexe. L'objet céleste devient d'une certaine manière, tout comme l'objet quantique, une réalité à laquelle nous avons nous-mêmes donné forme.

Les images professionnelles sont donc très éloignées de celles produites pour des motifs pédagogiques. Celles que l'on montre dans les magazines ou lors d'exposés de vulgarisation scientifique sont retravaillées dans des codes couleurs proches de la vision normale.

Ce besoin d'image procède d'un double enjeu :
- En interne, il permet de visualiser les calculs de nos ordinateurs. Les astronomes ou des physiciens des particules récupèrent des milliards de valeurs numériques qu'il s'agit de comprendre, visualiser et synthétiser. Mais un simple "listing" demeurerait incompréhensible, y compris pour le scientifique lui-même qui doit, dès lors, forger parallèlement de nouveaux logiciels, afin d'explorer ces valeurs numériques délivrées en "blocs" ou "cubes" de données.
Les astronomes explorent de cette manière toutes les "temporalités" (évolution temporelle de l'Univers depuis le Big Bang), les températures d'un astre, sa composition. Ils peuvent également simuler l'évolution de galaxies dans le temps et dans l'espace, avec des milliards de particules virtuelles, chacune figurant une simple étoile. Les équations que l'on introduit dans ces modèles sont bien plus intelligentes que nous et finissent par nous montrer des choses que nous n'anticipions pas au départ.
- En externe, l'enjeu est de rendre intelligible la science qui se fait. Sans ces supports visuels, les sciences seraient opaques au plus grand nombre. Les images servent à illustrer les applications les plus essentielles de la vie courante, là ou les mathématiques sont essentielles, comme l'usage du GPS, le scanner, l'IRM, etc.
Les astronomes ont depuis longtemps décidé d'ouvrir leur pratique au plus grand nombre. Ils sont certes aidés par la beauté de l'Univers, et très souvent amenés à justifier leur activité. À quoi sert l'astronomie, me demande-t-on souvent ? J'aime répondre que nous observons les astres parce qu'ils sont là. Sans autre raison. L'Homme, depuis l'aube des temps, n'a jamais accepté de vivre dans un monde qu'il ne connaît pas, voire ne maîtrise pas. Il y a d'autres arguments bien sûr, et ce n'est certes pas un hasard si les services de communication passent beaucoup de temps à produire des images. La NASA est un bon exemple de cette attitude destinée à rassurer le contribuable et à doter le peuple américain d'une légitime fierté quant à la place des USA dans le concert des nations. Les Européens ont plus de mal à se plier à cette obligation de faire savoir. Mais la compétition internationale s'amplifiant sans cesse, de nombreux chercheurs savent le poids d'un communiqué de presse dans la diffusion de leurs résultats et y recourent.

Trompeuses mais nécessaires ?

L'image est évidemment nécessaire. Mais il reste toujours un hiatus entre nos images et le réel. Car nos sens restent bien en deçà de la capacité de notre cerveau à se représenter le réel. C'est bien la raison pour laquelle les mathématiques ont été inventées. Sans doute nous manque-t-il un ou plusieurs sens qui nous permettraient de "voir" beaucoup plus encore !
(1) La vidéo de l'échange se trouve à l'adresse :
http://www.unisciel.fr/pg/groups/7187/les-images-scientifiques-sontelles-trompeuses-/ ■

CURIOSITÉ

PREMIER TOUR DE PISTE POUR NEPTUNE

Pierre Magnien

Il y a un peu plus de 164 ans, Galle, sur les indications d'Urbain Le Verrier, observait pour la première fois la planète Neptune. On peut alors se demander à quelle date cette dernière aura fini de boucler son premier tour depuis sa première observation.

Introduction

Au début du XIX^{e} siècle, l'astronome français Alexis Bouvard avait détecté des écarts entre la position calculée et celle qui était observée pour la planète Uranus. Ces perturbations inexpliquées pouvaient être comprises si on faisait l'hypothèse qu'une planète au-delà d'Uranus pouvait en être la cause.

En 1843, l'astronome anglais John Couch Adams et, en 1846, le français Urbain Le Verrier calculèrent chacun de leur côté et par des méthodes distinctes, la position probable de cette hypothétique planète. Elle fut effectivement observée le 23 septembre 1846, à Berlin, par l'astronome allemand Johann Gottfried Galle à 1° de la position calculée par Le Verrier et à 12° de celle obtenue par Adams. Cette recherche avait été sollicitée par Le Verrier qui voulait obtenir confirmation de ses calculs.
On peut alors se demander à quelle date cette lointaine planète aura bouclé son premier "tour de piste" depuis sa découverte.

Calcul à partir de la période sidérale de Neptune

Pour conduire ce calcul, il faut connaître avec précision cette durée de révolution. Comme le montre le tableau suivant, les données disponibles aujourd'hui varient en fonction de la source.

T_{SA} (ans)	Source
164,793	Vagabonds de l'espace – K.R. Lang / C.A. Whitney – Springer Verlag
164,81	Planètes & satellites – A. Brahic - Vuibert
164,767	Dictionnaire de l'astronomie – P. de la Cotardière - Larousse
164,774	IMCCE
164,79132	JPL

Dans la suite de notre texte, la période sidérale de Neptune sera exprimée en années tropiques[1].

Pour faire les calculs, nous allons travailler en jours juliens. Rappelons de quoi il s'agit. Pour relier entre eux les phénomènes astronomiques qui se produisent à des dates très différentes, les astronomes ont pris l'habitude d'utiliser la **date julienne** qui compte les jours un à un depuis le 1er janvier – 4712[2]. Elle est donc exprimée en jours et fractions de jour. A l'aide de la formule ci-dessous, convertissons en jours la période sidérale de Neptune T_{SA}, exprimée en années, pour avoir T_{SJ} en jours, et traduisons les différentes valeurs du tableau :

$$T_{SJ} \text{ (en jours)} = T_{SA} \text{ (en années)} \times 365{,}24220$$

Source	T_{SA} (ans)	T_{SJ} (jours)
Lang / Whitney	164,793	60189,3579
Brahic	164,81	60195,5670
P. De La Cotardière	164,767	60179,8616
IMCCE	164,774	60182,4182
JPL	164,79132	60188,7443

Exprimons l'instant de la découverte en date julienne D_1. On connaît l'heure, exprimée en temps solaire moyen[3], de la découverte par Galle qui observait depuis Berlin[4]. Sa valeur de 12 h 0 min 14,6 s, après conversion, donne alors 23 h 08 min en temps universel TU[5].

En utilisant un des nombreux sites Internet permettant cette conversion d'une date du calendrier en date julienne, nous obtenons pour la date julienne D_1 de la découverte : $D_1 = 2395563{,}464$ jours

Ajoutons-lui la durée, exprimée en jours, d'une année sidérale de Neptune pour obtenir la date julienne de l'instant D_2 où cette planète aura terminé son premier tour depuis sa découverte. On fait ce calcul pour chaque valeur de T_{SJ} du tableau :

Source	T_{SJ} (jours)	D_2 (jours juliens)	D_2 (calendrier grégorien)
Lang / Whitney	60189,3579	2455752,822	10/07/2011 – 07 h 43
Brahic	60195,5670	2455759,031	16/07/2011 – 12 h 44
P. De La Cotardière	60179,8616	2455743,326	30/06/2011 – 19 h 49
IMCCE	60182,4182	2455745,882	03/07/2011 – 09 h 10
JPL	60188,7443	2455752,208	09/07/2011 – 16 h 59

On constate une importante dispersion - un peu plus de deux semaines - qui ne permet pas de fixer précisément la date cherchée, celle-ci dépendant de la valeur retenue pour la période de révolution sidérale de Neptune.

Mais il y a une autre raison : du fait des perturbations périodiques – principalement dues, pour Neptune, à Uranus – l'intervalle de temps entre deux passages par la même longitude écliptique héliocentrique que l'on rattache à la période sidérale –voir définition au paragraphe suivant - évolue dans le temps selon un cycle de plusieurs milliers

[1] Intervalle de temps séparant deux passages du Soleil à l´équinoxe moyen. L'année tropique vaut, actuellement, environ 365,2422 jours.

[2] Cette façon de compter les jours découle de la *période julienne* créée par Joseph Scaliger au XVI[e] siècle. Il donna le nom de "période julienne" à un intervalle de 7 980 ans, obtenu en faisant le produit des trois nombres 28, 19 et 15. Il convint également que la période julienne commencerait en l'an 4712 avant notre ère.

[3] Le 0 h était à midi.

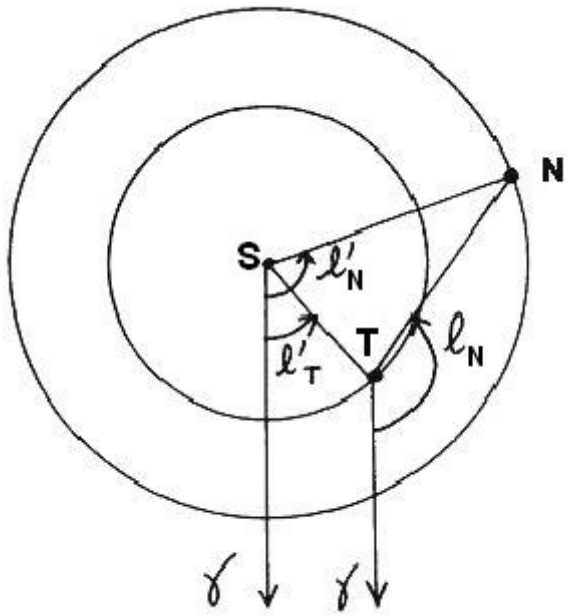
[4] D'après la brochure sur Neptune éditée par l'Observatoire de Paris à l'occasion de cet événement

[5] L'échelle de temps TU (Temps Universel) n'existait pas en 1846. Elle dérive de l'échelle GMT (Greenwich Mean Time) créée en 1884. À cette époque l'instant 0 h était à midi et c'est en 1925 qu'on se décale de 12h pour correspondre avec minuit. En 1928, pour éviter les confusions, cette nouvelle échelle et son décalage est dénommée TU.

d'années. Actuellement la période de Neptune augmente avec une "vitesse" importante puisqu'elle vient de passer par sa valeur moyenne. On pourra lire sur la question l'article très complet de M. Jean Meeus et René Bourtembourg dans le numéro de juin de la revue "L'Astronomie" publiée par la SAF.

Pour éviter cette difficulté on peut utiliser une autre méthode — moins pédagogique mais plus précise — qui va s'appuyer là encore sur les ressources de calcul du site Internet de l'IMCCE.

Calcul à partir de la longitude écliptique héliocentrique de Neptune



En effet, après avoir fait un "tour de piste" autour du Soleil, Neptune va retrouver, vue du Soleil, la même position par rapport aux étoiles. Elle aura alors la même longitude écliptique héliocentrique. Rappelons, à l'aide de la figure ci contre, ce que définit ce terme.

Vue depuis la Terre la direction de la planète Neptune fait un angle l_N avec celle du point vernal γ. l_N est appelée longitude écliptique géocentrique. La longitude écliptique héliocentrique va être définie de la même manière mais en considérant l'angle que font les directions SN et Sγ : sur la figure ce sera l'angle l'_N.

Lorsqu'une planète a effectué un tour complet autour du Soleil, par rapport aux étoiles, elle retrouve la même longitude écliptique héliocentrique.

En utilisant les ressources du site de l'IMCCE, nous allons rechercher l'_N de Neptune pour le 23/09/1846 vers 23 h TU (en équinoxe 2000) et déterminer ensuite pour quelle date, autour du 10 juillet 2011, cet angle reprend la même valeur.

Le 23 septembre 1846 vers 23h 08 TU, la planète Neptune avait une longitude écliptique héliocentrique l'_N telle que : **l'_N = 329° 06' 09,4"**

Date	l'_N (Équinoxe 2000)
07/07/2011	329° 04' 14"
08/07/2011	329° 04' 36"
09/07/2011	329° 04' 57"
10/07/2011	329° 05' 19"
11/07/2011	329° 05' 41"
12/07/2011	**329° 06' 02"**
13/07/2011	329° 06' 24"

On voit que le 12 juillet[6] *la planète Neptune retrouvera la même longitude écliptique héliocentrique que lors de sa découverte. On peut donc considérer que cette date correspond à l'achèvement par la planète de son premier tour de piste – en repère héliocentrique – depuis sa première observation.*

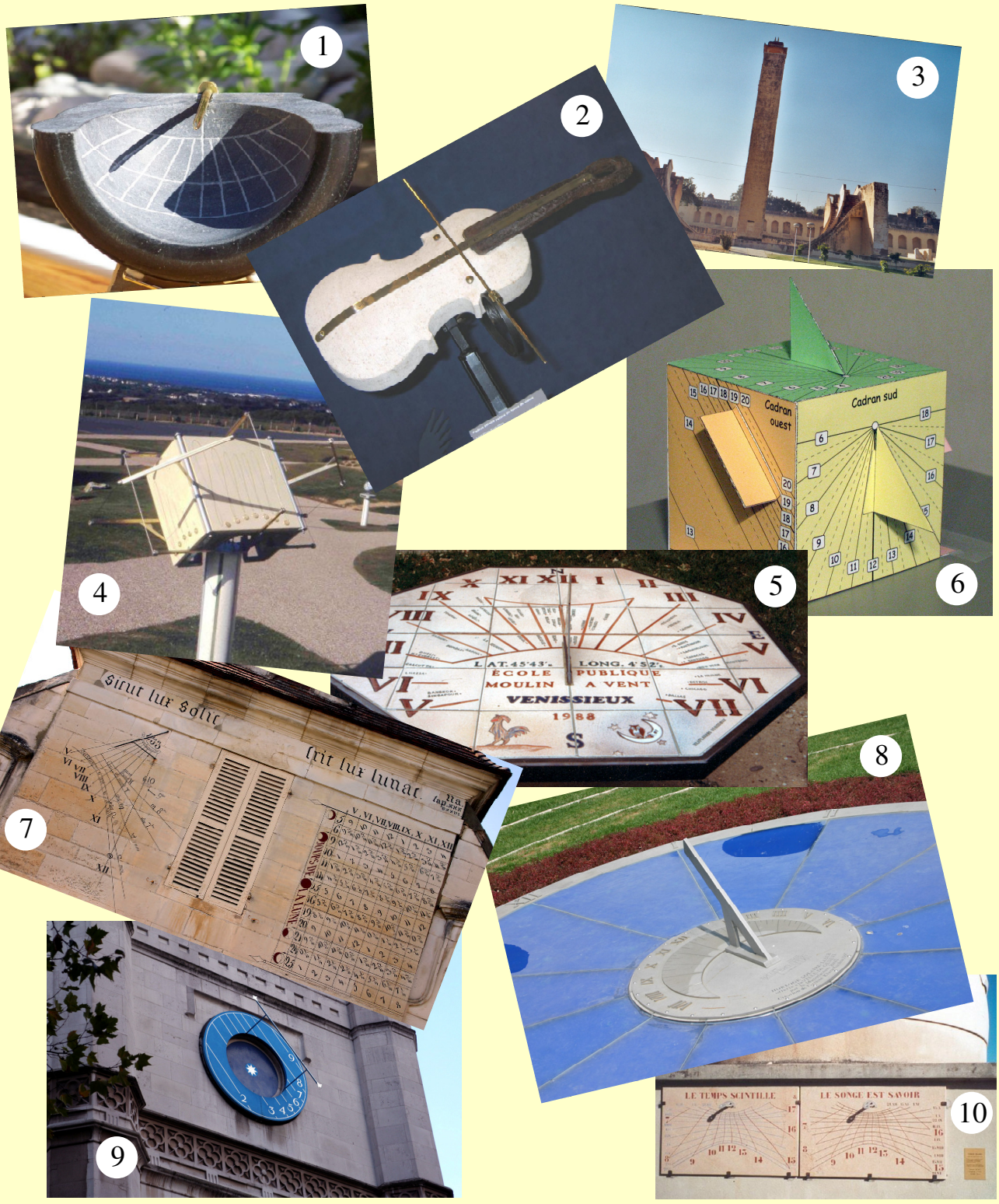
Le 12 juillet 2011 Neptune terminera son premier tour dans le Système Solaire depuis sa découverte.

Un tel événement devrait se fêter ! Pourquoi pas à l'occasion de l'opération "Nuits des étoiles" dont l'édition 2011 aura lieu les vendredis 5, samedi 6 et dimanche 7 août 2011 ?

Je remercie, pour terminer, M. Patrick Rocher (IMCCE – Observatoire de Paris) avec lequel j'ai échangé plusieurs courriers électroniques et qui m'a aidé à clarifier quelques points délicats relatifs aux différents calculs concernés par cet article. ■

[6] Si on veut une égalité "parfaite" pour la longitude écliptique héliocentrique on pourra calculer sur le site de l'IMCCE la valeur de cet instant : mardi 12/07/2011 à 19 h 54 ! Les "constantes" du mouvement des différentes planètes variant incessamment, une telle précision n'a pas beaucoup de sens !

THÈME : CADRANS SOLAIRES



1. scaphée (reproduction) ph. B. Simon ; **2.** Cadran en forme de violon, l'archet servant de style (cadransdeconstant.com) ; **3.** cadran équatorial, Jaïpur (Inde) ph. Marie Thérèse Benoit ; **4.** Cadran tryptique bifilaire, Parc de Ludiver, La Hague (Manche) réalisation : Jean-Michel Ansel, Atelier d'Hélios ; **5.** Cadran horizontal, Vénissieux, Rhône, réalisation : Emilio Vilaplana ; **6.** Cadran cubique en carton comportant 5 faces graduées (revue Cosinus n°85) ; **7.** Cadran vertical accompagné d'une table de correction pour l'utiliser avec la Lune (Chateau de Béru 89) ; **8.** Cadran horizontal à Genève, ph. P. Causeret ; **9.** Cadran solaire plein ouest à Londres ph. P. Causeret; **10.** double cadran solaire donnant l'heure T.U. (corrigé de l'équation du temps et de la longitude). Observatoire des Hautes Plates (21), ph. P. Causeret.

Cadrans solaires, notions de base

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

Le mouvement apparent du Soleil

Au cours de la journée, nous voyons le Soleil tourner autour d'un axe parallèle à l'axe de la Terre, plus ou moins haut dans le ciel suivant la date (voir les Cahiers Clairaut 126 et 129). Ce mouvement apparent, dû à la rotation de la Terre sur elle-même, va nous permettre de nous repérer dans le temps. On définit tout d'abord midi au Soleil comme le moment où le Soleil se trouve dans le plan du méridien, c'est à dire dans le plan vertical nord-sud. Pour partager le jour en 24 heures égales, on suppose le mouvement apparent du Soleil régulier et on partage sa trajectoire apparente en 24 parties (figure 1). Vu de l'extérieur de la Terre, il est midi sur le méridien contenant le Soleil et chaque méridien correspond à une même heure (figure 2). Le midi solaire étant l'origine de l'heure solaire, on devrait le noter 0 h. Nous avons choisi, comme on le fait souvent, de prendre 12 h, plus en rapport avec l'heure légale.

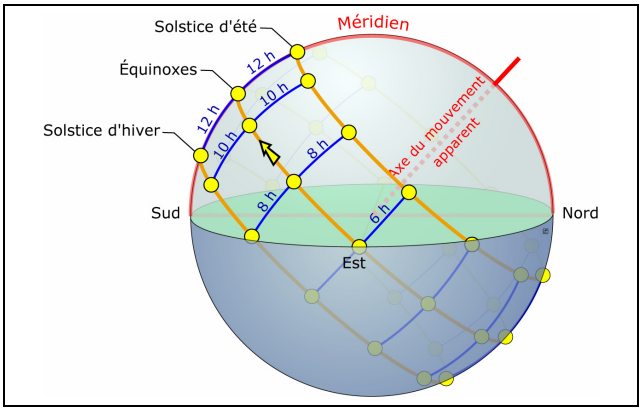


Fig1. *Heure solaire et mouvement apparent du Soleil. À midi solaire, le Soleil est dans le plan du méridien, plus ou moins haut suivant la saison.*

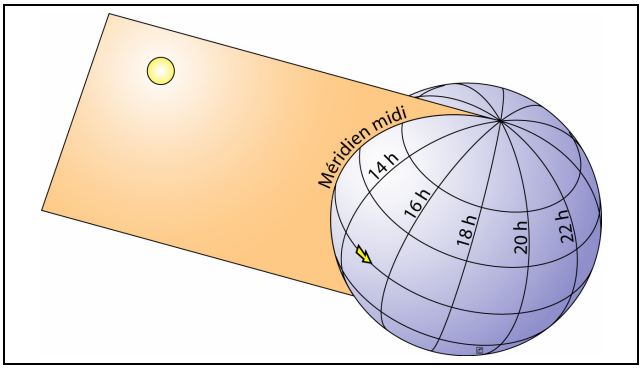


Fig. 2. *Heure solaire et rotation de la Terre. Dans le plan du méridien contenant le Soleil, il est midi.*

Les méridiennes

Il s'agit du plus simple des cadrans solaires puisqu'une méridienne ne donne l'heure qu'à midi. Elle permettait de venir régler sa montre quand les mécanismes étaient encore peu précis. On observe l'ombre d'un point (ou la tache lumineuse d'un rayon de Soleil ayant traversé un œilleton) sur une surface habituellement verticale ou horizontale. La ligne du midi est l'intersection de la surface et du plan du méridien contenant le point (ou l'œilleton). C'est une ligne horizontale nord-sud pour une méridienne horizontale. La position de l'ombre ou de la tache lumineuse sur la ligne méridienne permet en plus d'obtenir la date.

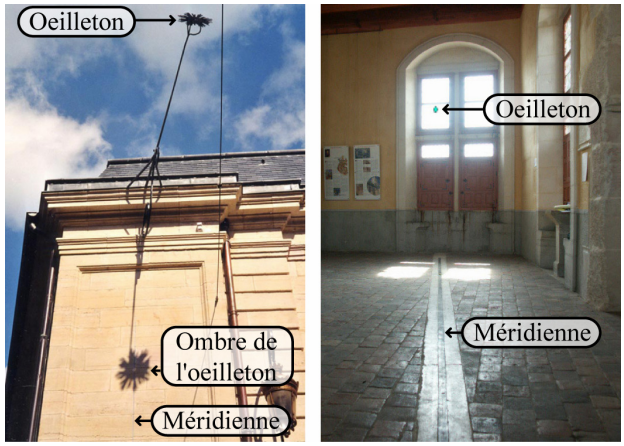


Fig.3. *Méridiennes, verticale à gauche et horizontale à droite (Dijon, Palais des Ducs de Bourgogne).*

Gnomon ou style polaire ?

Pour marquer les heures au cours de la journée, on peut imaginer suivre l'ombre d'un bâton vertical, appelé habituellement "gnomon". Aucun problème à midi quand le Soleil est au sud, l'ombre est au nord. Mais à d'autres heures, la direction de l'ombre n'est pas la même en hiver et en été (figure 4).

Pour que l'ombre du Soleil indique la même heure quelle que soit la saison, il existe deux solutions :

- la première consiste à incliner le bâton qui fait ombre pour qu'il soit parallèle à l'axe de la Terre, qui est aussi l'axe du mouvement apparent du Soleil (figure 5). Dans ce cas-là, on parle de "style polaire" (le style désigne la tige qui fait ombre) ;

- la deuxième solution consiste à déplacer le style en fonction de la date. Il s'agit du cadran analemmatique expliqué dans un autre article de ce numéro.

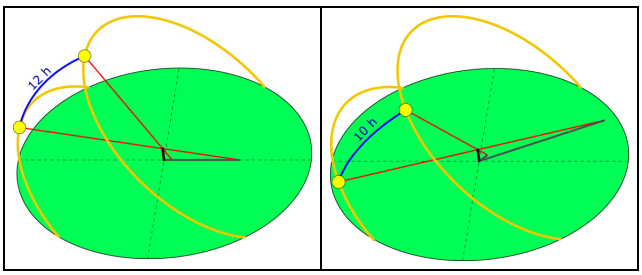


Fig.4. *Ombre d'un gnomon à 12 h et à 10 h.*
À 12 h, tout se passe dans le plan du méridien et l'ombre est au nord. À 10 h, les positions du Soleil à différentes dates et le gnomon ne sont pas dans le même plan : la direction de l'ombre n'est pas la même en été et en hiver.

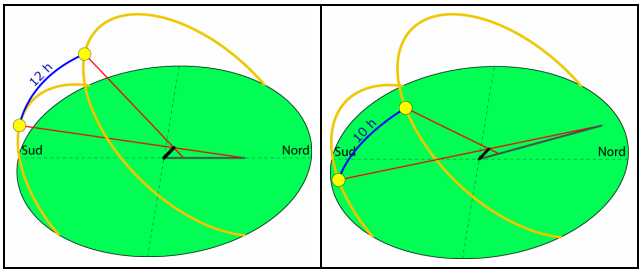


Fig.5. *Ombre d'un style parallèle à l'axe de la Terre à 12 h et à 10 h. À 12 h, Soleil et style sont toujours dans le plan du méridien et l'ombre est au nord. À 10 h, les positions du Soleil et le gnomon sont dans un même plan : on obtient alors une même direction de l'ombre quelle que soit la date, intersection de ce plan et du plan du cadran (plan horizontal ici).*

Les cadrans plans à style polaire

Une fois la position du style fixée (style polaire ici), il reste à graduer la table du cadran. Le cadran le plus simple à concevoir est un cadran installé au pôle Nord, avec un style qui suit l'axe de la Terre et une table horizontale. Comme la Terre tourne régulièrement sur elle-même en 24 h[7], il suffit de graduer la table tous les 15° (360° : 24) et on obtient un partage du temps en heures égales. Si on transporte ce cadran à une autre latitude, il fonctionnera toujours aussi bien. Ce type de cadran s'appelle cadran équatorial car sa table est parallèle au plan de l'équateur (figure 6).

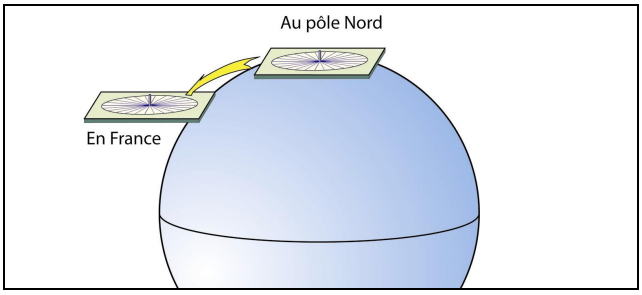


Fig.6*. Cadran équatorial installé au pôle Nord puis transporté à nos latitudes. Le Soleil étant au nord du plan de l'équateur au printemps et en été, on utilise la face supérieure nord du cadran à ces moments-là. Mais la face inférieure doit aussi être graduée pour l'automne et l'hiver.*

[7] La période est donnée ici par rapport à l'axe Terre Soleil.

La table d'un cadran équatorial n'est pas horizontale (sauf aux pôles) ni verticale (sauf à l'équateur).

Fig.7. *Cadran équatorial à Beaune.*

La réalisation d'un cadran horizontal ou vertical est un peu plus délicate car les angles ne sont pas égaux. Une technique consiste à utiliser un cadran équatorial auxiliaire gradué tous les 15° (figure 8).

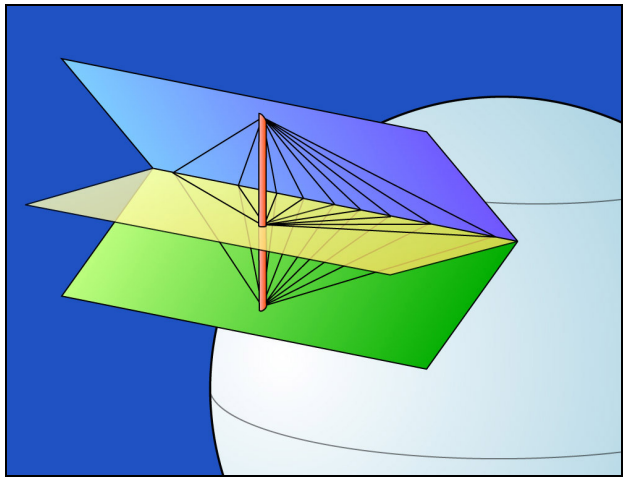


Fig.8. *Passage d'un cadran équatorial (en jaune) à un cadran vertical (en bleu) ou horizontal (en vert). Le style (orange) est toujours parallèle à l'axe de la Terre.*

On peut aussi utiliser des formules de trigonométrie ou des logiciels de tracé de cadrans (voir page 13). Un cadran vertical peut être non déclinant (orienté plein sud), déclinant est ou déclinant ouest. Le calcul du tracé des lignes est alors un peu plus délicat.

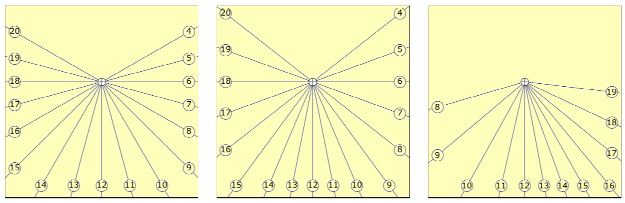


Fig.9. *Lignes horaires pour un cadran équatorial à gauche (angles de 15°), un cadran horizontal au milieu (angles inégaux mais axe de symétrie) et un cadran "déclinant ouest 26°" à droite (angles inégaux sans axe de symétrie).*
Les trois sont calculés pour une latitude de 47°.

Pour tracer correctement un cadran solaire, il faut connaître sa latitude ainsi que l'orientation du mur

pour un cadran vertical. Cette mesure doit être précise pour que le tracé soit juste. La fixation du style parallèle à l'axe de la Terre doit aussi être réalisée avec soin.

Fig.10. *Cadran vertical déclinant 26° ouest.*

Les lignes diurnes

Au cours d'une journée, l'ombre de l'extrémité du style (ou d'un autre point particulier du style) suit une trajectoire qui dépend de la date. Ces "lignes diurnes" sont souvent tracées pour les solstices et équinoxes. Pour l'équinoxe, c'est une droite. Pour les autres dates, il s'agit toujours de coniques (hyperbole, parabole ou ellipse) ; à nos latitudes, ce sont des hyperboles si le cadran est horizontal ou vertical (figure 11).

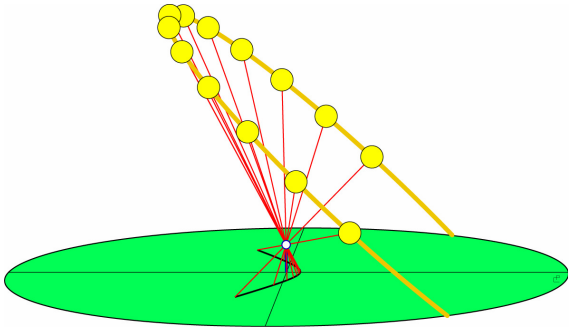


Fig.11. *Les segments rouges, joignant le Soleil du 21 juin au point blanc, engendrent un cône. L'ombre du point blanc suit l'intersection de ce cône avec le plan horizontal ; c'est donc ce qu'on appelle une conique, ici une hyperbole. Aux équinoxes, le Soleil est dans le plan de l'équateur, les lignes rouges sont dans un même plan et la trace de l'ombre du point blanc est une droite (orientée est ouest pour un cadran horizontal).*

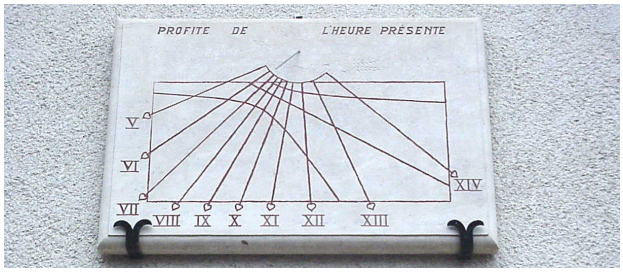


Fig.12. *Cadran vertical déclinant est, avec lignes diurnes pour les équinoxes (la droite) et les solstices (les deux arcs d'hyperbole).*

Les cadrans de hauteur

Au cours de la journée, la hauteur du Soleil varie mais différemment suivant les saisons. Elle peut donc nous donner l'heure à condition de connaître la date. Les cadrans de hauteur sont basés sur ce principe. Le plus connu est la montre de berger. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est que l'on n'a pas besoin de connaître le nord pour utiliser ce type de cadran. Par contre, il faut connaître la date.

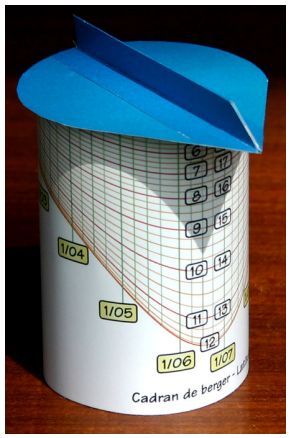


Fig.13. *Montre ou cadran de berger en carton. Il est réglé ici pour le 20 juin, il est 9 h 40 (cadran paru dans le n°118 de la revue Cosinus).*

Heure solaire et heure légale

Un cadran solaire donne l'heure solaire. Quand on veut retrouver l'heure de la montre, trois corrections sont à effectuer :

1. Heure d'hiver, heure d'été.
2. Correction en longitude : notre heure légale est réglée sur le méridien de Greenwich. L'heure solaire est en avance si on est à l'est de ce méridien, en retard sinon.
3. L'équation du temps (voir page 13).

Heure légale et heure solaire

HL = HS + décalage en longitude + EdT + 1 ou 2 h

HL = heure légale
HS = heure solaire vraie locale (en comptant 12 h pour midi au Soleil).
Décalage en longitude en minutes : il est égal à la longitude en degrés multipliée par 4 (on a un décalage de 24 h pour 360° soit 1 h pour 15° ou 4 min pour 1°). On compte la longitude négative à l'Est de Greenwich et positive à l'Ouest.
EdT = Équation du temps (donnée page 13)
On ajoute 2 h si on est à l'heure d'été, 1 h sinon.

Autres types de cadrans

La surface graduée n'est pas obligatoirement plane (sphère, cylindre…), on peut intégrer les corrections de longitude et d'équation du temps dans les lignes horaires, on peut observer l'intersection de l'ombre de deux fils… Il existe une multitude de types de cadrans solaires. ■

Complément 1

Pour tracer un cadran solaire

Des formules

On appelle AH l'angle horaire du Soleil ; celui-ci vaut 0° à midi, 15° à 11 h et 13 h, 30° à 14 h et 10 h… φ est la latitude du lieu.

Pour un cadran horizontal

$\tan z = \sin \varphi \times \tan AH$

z est l'angle entre la ligne horaire cherchée et l'axe nord sud.

Pour un cadran vertical non déclinant (plein sud)

$\tan z = \cos \varphi \times \tan AH$

z est l'angle entre la ligne horaire cherchée et la verticale.

Pour un cadran vertical déclinant

$$\tan z = \frac{\cos \varphi}{\cos d \times \cot an\, AH + \sin d \times \sin \varphi}$$

d est la déclinaison du mur (angle entre le sud et la perpendiculaire au cadran).
z est l'angle entre la ligne horaire cherchée et la verticale.

Des logiciels

Solarium est un logiciel gratuit réalisé par Pierre Dallet, membre de la commission des cadrans solaires de la Société Astronomique de France (sur le site de l'ENS).

Shadows est sans doute le logiciel le plus connu. Il en existe une version gratuite pour les cadrans les plus simples et une version payante, plus complète (www.shadowspro.com/fr).

Cadsol est un logiciel libre de tracé de cadrans (http://www.cadsol.fr).

Complément 2

Temps vrai et temps moyen

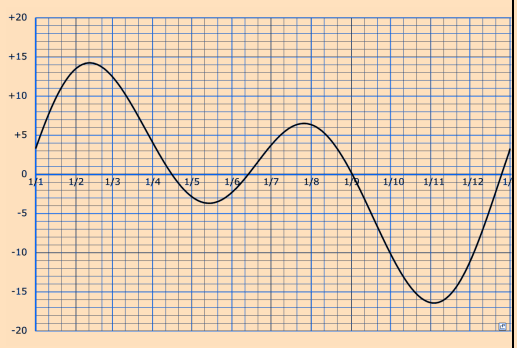
L'équation du temps

Le jour solaire vrai, intervalle de temps entre deux passages successifs au méridien supérieur, varie de 23 h 59 min 38 s à 24 h 0 min 30 s (voir CC 126 p 11).

Si on voulait fabriquer une montre donnant la même heure qu'un cadran solaire, il faudrait qu'elle accélère ou ralentisse suivant la date, ce qui n'est pas très facile à réaliser.

On a donc inventé un temps solaire moyen, correspondant à un jour solaire moyen de 24 h 0 min 0 s. Il correspondrait à l'heure solaire vraie si la Terre tournait à vitesse constante autour du Soleil avec son axe perpendiculaire au plan de l'orbite.

La différence entre le temps solaire moyen et le temps solaire vrai s'appelle équation du temps.



Graphique de l'équation du temps.

Les différentes heures

Heure solaire vraie : heure au Soleil. C'est une heure locale, basée sur le passage du Soleil au méridien.

Heure solaire moyenne : heure d'un Soleil moyen.

Temps moyen = Temps vrai + Équation du temps

Heure GMT (Greenwich Mean Time) : c'est le temps moyen de Greenwich, qui fut longtemps l'heure de référence. On utilise maintenant le temps universel coordonné, UTC, assimilable au GMT pour les cadrans solaires mais différent pour le physicien.

Heure légale en France : c'est l'heure UTC (donc à peu de chose près l'heure moyenne de Greenwich) à laquelle on ajoute 1 h (heure d'hiver) ou 2 h (heure d'été).

Complément 3

Tracé de l'axe nord-sud (méridienne)

Pour réaliser un cadran solaire, il est indispensable de déterminer avec précision l'axe nord-sud (sauf pour les cadrans de hauteur). Voici deux méthodes.

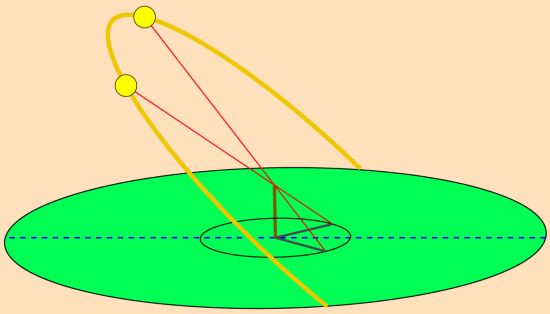
Méthode n° 1

Sur une surface parfaitement horizontale, on observe l'ombre d'un bâton vertical.

On note le matin à un moment donné la position de l'extrémité de l'ombre.

On trace un cercle centré sur la base du bâton passant par ce point et on attend l'après-midi de retrouver une ombre de la même longueur.

La bissectrice de l'angle formé par les deux ombres donne la direction nord-sud.



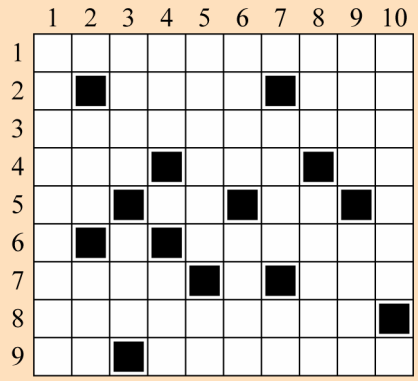
Méthode n° 2

Moins naturelle, mais plus rapide. On détermine l'heure légale du midi solaire, soit avec la formule de la page 12, soit grâce à Internet : sur le site de l'IMCCE (imcce.fr), on demande les heures de lever et coucher du Soleil pour le lieu et le jour voulu (dans éphémérides).

L'IMCCE donne alors l'heure du passage du Soleil au méridien à la seconde près (attention, c'est en heure TU, il faut ajouter 1 h ou 2 h pour avoir l'heure légale). C'est l'instant du midi solaire.

L'ombre d'un bâton vertical ou d'un fil à plomb à midi solaire vous donnera alors précisément l'axe nord-sud.

Mots croisés cadrans solaires



Horizontalement

1. La science des cadrans solaires.
2. Plateau pour radio astronome. Plus régulier que l'heure d'un cadran solaire.
3. Tel un cadran gradué tous les 15°.
4. Obtins. Pour cadre ou sot, suivant le sens. Au début de l'hiver.
5. Direction de la ligne de 16 h sur un cadran horizontal à Alger. Lu sur la ligne horizontal d'un cadran vertical non déclinant. Négation.
6. Horaires sur un cadran, ce sont des segments en temps vrai ou des courbes en temps moyen.
7. Il avait son cadran solaire au Machu Picchu. Ce que fait la dernière heure sur une devise courante de cadran solaire.
8. Zarbula est un des plus célèbres.
9. Se mesure en MHz. Les journées doivent l'être pour utiliser son cadran solaire.

Verticalement

1. Son heure diffère de celle d'un cadran de la longitude multipliée par 4 min.
2. Relatif. Demi cochon.
3. Tel le vaisseau de Jules Verne partant pour la Lune. Capteur d'astronome.
4. Changea. Diurne sur un cadran, il indique la date.
5. L'évolution le fera peut-être disparaître un jour. Symbole léger.
6. Peut remplacer le Soleil. On y a fait de belles lunettes astronomiques.
7. Son homme n'a pas d'étoile. Vu sur un cadran solaire un peu après midi.
8. Relatif. Fréquence radio.
9. On y trouve des Navajos. Dans ce département, l'heure solaire moyenne n'a que quelques minutes d'avance sur l'heure TU.
10. Peut gêner l'utilisation d'un cadran solaire.

Pierre Causeret (*solution page 40*) ■

AVEC NOS ÉLÈVES

Le cadran analemmatique

Francis Berthomieu

Cadran solaire facile à utiliser, le cadran analemmatique est plus complexe à comprendre. Francis Berthomieu nous propose ici une explication sans calcul.

Qu'est-ce que c'est ?

Le cadran analemmatique est un cadran solaire particulièrement adapté à des espaces publics qui trouve une place privilégiée dans une cour de récréation. Il est plan, horizontal, sans danger (pas de style agressif et donc potentiellement dangereux) et propice à éveiller la curiosité. Il s'agit d'un tracé elliptique, souvent joliment décoré, portant une graduation horaire. Le petit axe de l'ellipse comporte une graduation qui indique des dates et souvent aussi une curieuse courbe en 8. Sa réalisation peut donner l'occasion de travaux pluridisciplinaires : de l'astronomie bien sûr, mais aussi de belles constructions géométriques, et évidemment de multiples travaux d'arts plastiques pour sa décoration (*figure 1*).

Fig.1. *Une école dans l'île de Ré.*

Enfin, son utilisation est ludique : l'utilisateur se place à l'endroit convenable sur la graduation des dates et c'est sa propre ombre qui donne l'heure solaire en se projetant sur la graduation horaire (figure 2). Passer de cette heure à celle de la montre implique alors diverses corrections, que nous n'évoquerons pas ici[8].

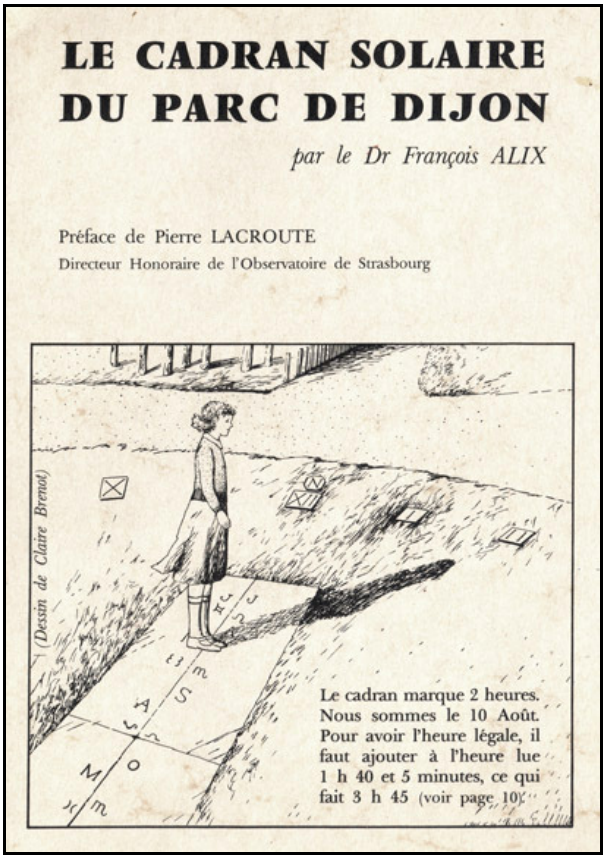


Fig.2. *Lecture de l'heure sur un cadran analemmatique.*

Comment le tracer ?

Il faut disposer d'une assez grande surface horizontale, bien exposée au Soleil. On doit connaître la latitude φ du lieu de construction (pour l'exemple traité ci-dessous, φ vaut 48°). Il faut choisir le centre O du cadran et tracer la ligne méridienne qui passe par O, orientée exactement selon l'axe nord-sud (voir encadré page 14). On trace en O la perpendiculaire à cette méridienne. C'est une ligne droite orientée ouest-est. On doit aussi décider de la dimension du cadran, qui s'étendra sur une distance R de part et d'autre de la méridienne.

[8] Voir l'article sur les cadrans solaires, notions de base

Tracé d'un cadran analemmatique

✓ Tracer un cercle de centre O et de rayon R. Ce cercle coupe la ligne ouest-est en W à l'ouest et en E à l'est.
Un rapporteur permet ensuite de tracer la demi-droite passant par O et faisant un angle φ avec l'axe WE. Elle coupe le cercle en P.

✓ Projeter P sur la méridienne : on obtient le point N.

✓ Projeter P sur le segment WE : on obtient le point F'.

✓ Placer le point F, symétrique de F' par rapport à O.

✓ Il n'y a plus qu'à tracer l'ellipse dont F et F' sont les foyers et qui passe par N (on pourra par exemple utiliser la méthode dite "des jardiniers"). Elle passe aussi par W et E. Soit S l'autre intersection de cette ellipse avec la méridienne.

✓ Graduer le cercle en 24 divisions égales, comme indiqué sur la figure 3 (angles au centre de 15°).

✓ À partir de chacun des points de cette graduation, tracer les parallèles à NS : elles coupent l'ellipse en 24 points, qu'il faut numéroter de 0 h à 23 h, à partir du point S, et dans le sens des aiguilles d'une montre. Sous nos latitudes, on pourra se limiter aux horaires diurnes, mais sous des latitudes supérieures, il pourra être indispensable d'aller au-delà.

✓ Il ne reste plus qu'à indiquer les positions qu'il faudra occuper sur l'axe NS (la ligne des dates) au cours de l'année pour que l'appareil soit opérationnel. La figure 5 indique la position correspondant aux équinoxes (pour les 20 mars et 23 septembre, jours d'équinoxes, c'est le point O), mais aussi les positions correspondant au 1er jour de chaque mois de l'année construites ainsi : on trace à partir du foyer F des demi-droites faisant avec l'axe WE les angles indiqués sur la figure 4 (il s'agit de la déclinaison δ du Soleil à ces dates-là). Les points d'intersection avec l'axe NS indiquent les positions que doit occuper, à ces dates, l'observateur (ou un gnomon vertical) pour que son ombre, projetée sur la graduation horaire, donne l'heure solaire.

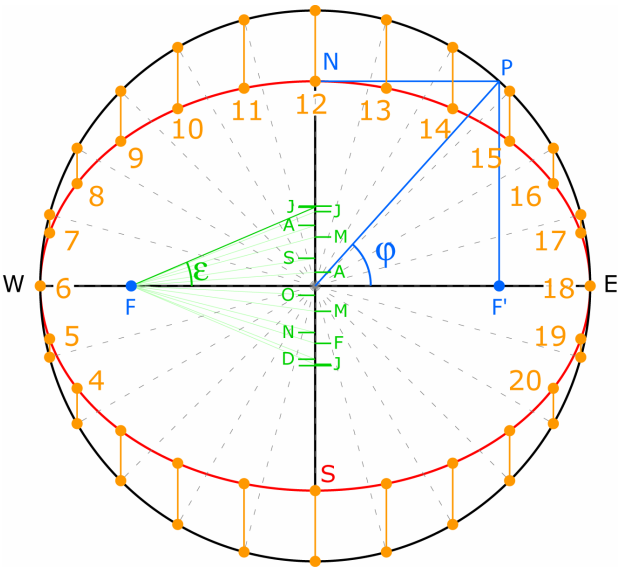


Fig.3. Construction des tracés

Le tableau ci-dessous donne la déclinaison δ du Soleil pour ces 12 dates ainsi que la valeur de "l'équation du temps" à ces dates, qui nous sera utile plus tard.

date	δ (°)	EdT. (min)
01/01/2011	-23,1	4
01/02/2011	-17,3	14
01/03/2011	-7,9	12
01/04/2011	4,3	4
01/05/2011	14,9	-3
01/06/2011	21,9	-2
01/07/2011	23,2	4
01/08/2011	18,2	6
01/09/2011	8,6	0
01/10/2011	-2,9	-10
01/11/2011	-14,2	-16
01/12/2011	-21,7	-11

Fig.4. *Déclinaison du Soleil (δ) et équation du temps (EdT)*

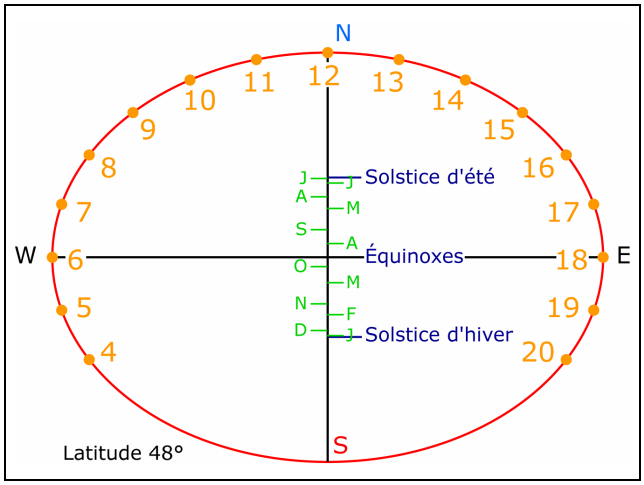


Fig.5*. Le tracé terminé, avec les dates inscrites.*

Comment ça marche ?

Si l'utilisation de ce cadran est simple et sa construction un peu plus délicate, comprendre son principe de fonctionnement est sensiblement plus difficile, puisqu'il faut avoir une bonne vision spatiale de la géométrie et donc bien visualiser en 3D ce qui se passe.

Le plus simple des cadrans solaires est le cadran équatorial. Nous en donnons ici une maquette facile à réaliser et qui nous sera utile pour étudier le principe du cadran analemmatique. C'est un disque de carton, gradué pour simplifier en 12 secteurs de 30°, représentant de deux en deux les 24 heures d'un jour solaire moyen. Son axe est matérialisé par une pique à brochette. Celle-ci est ajustée pour faire avec l'horizontale un angle égal à la latitude du lieu de l'expérience. On retrouve bien sûr ce même angle entre le plan du disque et la direction verticale.

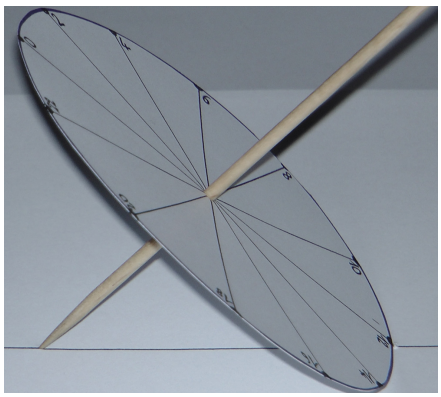


***Fig.6**. Le cadran équatorial.*

Placé au soleil et orienté convenablement (l'axe doit être placé dans le plan méridien du lieu, dirigé vers la Polaire et la ligne 12 h en direction du nord), l'ombre de l'axe de ce cadran indique l'heure solaire locale.

Supposons qu'il est midi (heure solaire locale) le jour du solstice d'été (de juin). Le Soleil se trouve donc au-dessus du cadran et dans le plan méridien. Considérons le rayon de Soleil passant par le point du cercle gradué correspondant à la graduation 12 h (figure 7). Ce rayon passe aussi par le point **E** de l'axe. Il fait avec le plan équatorial du cadran un angle de 23,4° : c'est la déclinaison du Soleil en ce jour particulier du solstice d'été. Tout au long de cette journée, alors que le Soleil semble tourner d'est en ouest autour de l'axe du cadran, cet angle restera le même. Et à toute heure (solaire) ***h*** de la journée, le rayon de Soleil passant par le point du cercle gradué correspondant à la graduation associée à cette heure ***h*** passera aussi par le même point **E** de l'axe.

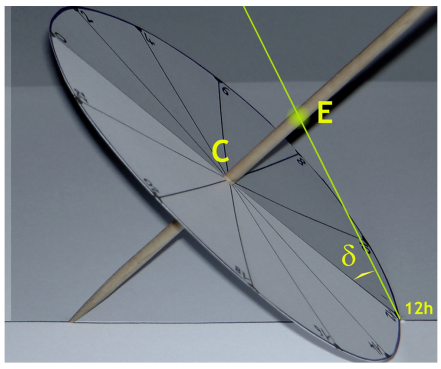


***Fig.7.** Rayon solaire du 21 juin à midi (δ est la déclinaison du Soleil).*

De même, le jour du solstice d'hiver, le Soleil se trouve au dessous du cadran et ses rayons font tout au long de la journée avec le plan équatorial un angle de -23,4° : c'est sa déclinaison, négative. Et à toute heure (solaire) ***h*** de la journée, le rayon de Soleil passant par le point du cercle gradué qui correspond à la graduation ***h*** passe aussi par un même point **H** de l'axe.

Les figures 8a et 8b matérialisent cette propriété pour les jours du solstice d'été (à 6 h, 12 h et 16 h) et du solstice d'hiver (à 12 h et 16 h, à 6 h le Soleil n'est pas levé !), mais elle est valable pour chaque jour de l'année, avec cependant un nouveau point particulier du segment EH pour chaque date.

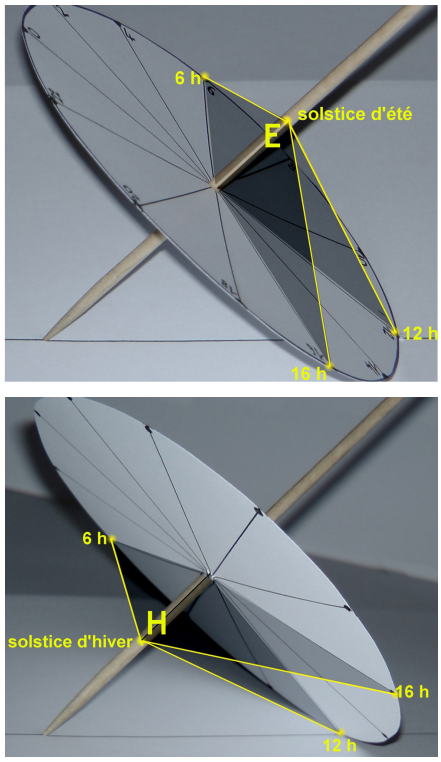


***Fig.8.** Rayons solaires du 21 juin et du 21 décembre à différentes heures.*

La figure 9 montre le segment sur lequel se déplacera ce point très particulier de l'axe, en suivant les variations de déclinaison du Soleil tout au long de l'année. Du solstice d'été au solstice d'hiver, le point de l'axe particulier à chaque jour glissera de E vers H, occupant le centre C du cadran le jour de l'équinoxe d'automne (en septembre). Ensuite, il remontera de H vers E, passant à nouveau en C le jour de l'équinoxe de printemps (en mars).

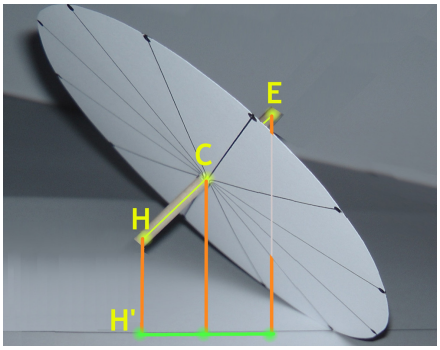


***Fig.9.** Projection des points H, C et E sur le plan horizontal.*

Projetons maintenant les points H, C et E sur le plan horizontal, et imaginons que l'on plante verticalement trois stylets rectilignes aux points obtenus. On peut alors se poser diverses questions, comme : où serait l'ombre du stylet HH' à l'heure ***h*** du jour du solstice d'hiver ?

À l'heure solaire ***h***, l'ombre du point H, nous l'avons vu plus haut, est portée exactement sur la graduation du cercle indiquant l'heure ***h***. Or, puisque la zone d'ombre d'un stylet vertical est nécessairement dans le plan vertical qui contient ce stylet et le Soleil, cette ombre passera, sur le sol horizontal, par la projection sur ce plan du point du cercle indiquant l'heure ***h.*** La figure 10 illustre cette propriété pour le solstice d'hiver à 16 h (solaire).

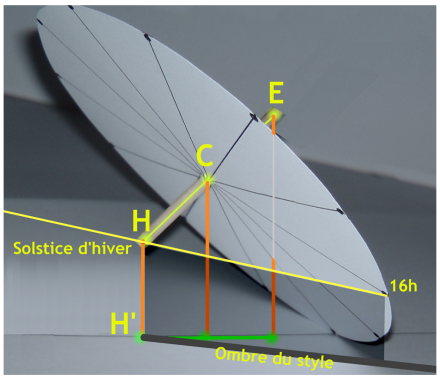


Fig.10. *Position de l'ombre du stylet le 21 décembre à 16 h.*

Nous pouvons alors énoncer une assertion vérifiée pour tous les jours de l'année et toute heure de la journée :

"Plantons un style vertical à la verticale du point particulier du segment HE correspondant à la déclinaison du Soleil pour ce jour. À une heure donnée, son ombre portée sur le sol passera par la projection verticale de la graduation du cadran équatorial circulaire qui indique cette même heure".

Dès lors, la mystérieuse construction du cadran analemmatique devient plus compréhensible : l'ellipse graduée n'est autre que la projection du cercle gradué sur le sol horizontal. Les points de la méridienne indiquant des dates sont les projections au sol des points du segment HE correspondant à ces dates…

Le reste n'est que géométrie !

Et la "courbe en huit" ?

La compréhension de ce tracé présuppose la connaissance de la notion "d'équation du temps" : à midi "solaire", il n'est pas "midi de temps moyen". Pour chaque jour de l'année, il faut apporter une correction Δt pour passer de "l'heure solaire" à "l'heure de temps moyen" : cette correction est appelée "équation du temps". Le tableau de la figure 4 nous donne sa valeur (en minutes) pour le premier jour des douze mois de l'année. Cette durée Δt correspond à un angle α de rotation du Soleil autour de l'axe du cadran, sachant qu'un degré d'angle correspond à 4 minutes de temps.

On peut alors corriger la position du style vertical sur le cadran analemmatique en faisant en sorte que son ombre se projette sur la graduation 12 h du cadran, non pas à midi "solaire" mais à "midi de temps moyen". Le schéma indique comment trouver la position du style correspondant au 1er février.

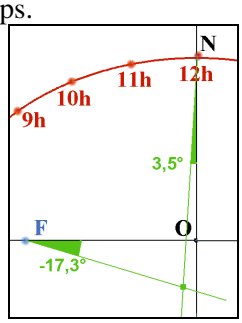


Fig.11. *Comment modifier la position du style (ou de la personne qui fait ombre) pour corriger de l'équation du temps à midi.*

En répétant cette construction pour tous les jours de l'année, on obtient la fameuse « courbe en huit », nommée, courbe de temps moyen et souvent, analemme. C'est cette courbe qui donne son nom au cadran. Une remarque pour finir : la correction de l'équation du temps par ce moyen n'est valable que pour midi !

On préfère souvent dessiner sur la partie centrale du cadran une courbe en 8 plus large, obtenue en traçant pour différentes dates en abscisse la valeur de l'équation du temps et en ordonnée la déclinaison du Soleil. On obtient la courbe suivante : on situe la date de lecture sur la courbe ; l'abscisse du point donne la valeur de l'équation du temps.

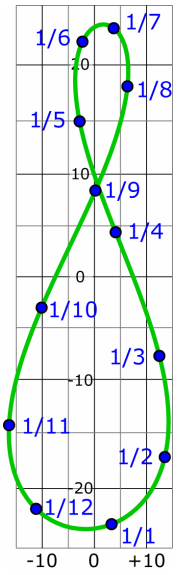


Fig.12. *Courbe donnant l'équation du temps par simple lecture.*

Fig.13. *Le cadran du Cannet des Maures avec sa courbe de l'équation du temps.* ■

AVEC NOS ÉLÈVES

Le cadran sphère

Véronique Hauguel, Rouen

L'auteure présente ici le cadran sphère qu'elle utilise lors d'ateliers qu'elle anime avec des élèves d'écoles primaires ou de collèges. Ces ateliers sont l'occasion d'une initiation au repérage sur Terre et à l'astronomie d'une manière plus générale.

S'orienter sur Terre

Dans un premier temps, on initie les élèves à la manipulation de la boussole avec son aiguille qui est la seule à ne pas bouger ! On peut jouer à se déplacer dans l'espace dans différentes directions, dans la direction des 4 points cardinaux mais aussi dans les 28 autres directions de points cardinaux composés de la rose des vents (figure 1).

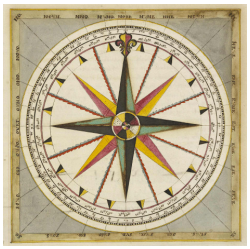


Fig.1. *Une rose des vents avec ses 32 directions dans le Traité de navigation de Deno-ville. (http://assprouen.free.fr)*

Tenir *horizontalement* la boussole fait prendre conscience du cercle horizon. Il faut préciser que le nord indiqué par la boussole est le nord magnétique, en général différent du nord géographique[9].

Une fois que les élèves se sont repérés dans le lieu, on apporte un globe terrestre fixé sur un support, l'inclinaison de son axe étant réglable (figure 2).

On veut placer le globe tel qu'il est sous nos pieds avec un personnage dans la même position que nous, debout sur Terre et regardant vers le sud. Pour cela, on commence par repérer avec les élèves l'équateur terrestre, les 2 pôles et l'axe de la Terre ainsi que l'endroit où l'on est. On place le personnage sur le globe à l'aide de la patafix car la gravitation y est trop faible… Il y a aussi un petit problème d'échelle, le personnage a les pieds grands comme la France !

Sachant que partout sur la Terre, on se tient verticalement en position debout, on fait tourner et coulisser la sphère sur le support pour que le personnage soit vertical, tête vers le haut. On l'oriente pour qu'il regarde vers le sud du globe terrestre. Enfin, on tourne toute la maquette pour que le personnage regarde vers le sud du lieu, en reprenant la boussole si nécessaire.

On demande alors à chaque élève de se placer vers le sud comme le personnage et on fait remarquer que l'on est placé sur la Terre exactement comme le personnage sur le globe terrestre.

Fig.2*. Le globe terrestre peut coulisser sur un support. Il est incliné comme il est sous nos pieds, avec la France au-dessus.*

Le petit personnage tient sur la mappemonde par de la patafix collée sous ses pieds.

L'inclinaison de l'axe est donc liée à la latitude et n'a rien à voir avec l'angle de 23° des globes de nos salles de classe.

Fig.3. *Le globe est fixé sur un méridien gradué. Il est réglé ici pour la latitude de 50°.*

En manipulant le personnage, on peut travailler sur la géographie en recherchant continents ou pays dans différentes directions, ou sur le climat en repérant pays chauds et pays froids. Par exemple, si on se dirige vers l'ouest, on trouve l'océan Atlantique puis l'Amérique.

9 L'écart actuel en France est au maximum de 3°.

Comme c'est le ciel ici qui nous intéresse, on présente la voûte céleste, l'*équateur céleste* comme prolongement de l'équateur terrestre dans le même plan, éventuellement le *tropique du Cancer* et le *tropique du Capricorne* qui étaient des cercles sur la sphère céleste avant de l'être sur le globe terrestre.
En prolongeant l'*axe de la Terre*, on repère le point où l'axe coupe la voûte céleste, endroit tout proche de l'*étoile Polaire* encore pour longtemps. La nuit, s'il fait beau, cette étoile indique le nord. Le cercle qui passe par les pôles et le *zénith* (point situé à la verticale de l'observateur) est le *méridien local.*
Pour les élèves qui connaissent la latitude et les angles, on peut montrer simplement par observation des graduations ou par dessin géométrique que la hauteur de l'étoile Polaire est la latitude du lieu.

En restant encore un petit moment sur Terre, on peut refaire la manipulation en imaginant vivre au pôle Nord ou bien dans un pays proche de l'équateur et observer dans chacune de ces situations où sont situés l'équateur et l'axe de la Terre par rapport à l'horizon.

***Fig 4**. Au pôle.*

On imagine que l'on est au pôle Nord. Le personnage est vertical.
Où est l'horizon, l'équateur céleste ? Quelle est la direction de l'axe de la Terre ? Où est l'étoile Polaire?
L'axe de la Terre fait un angle de 90° avec l'horizon (latitude 90°).

***Fig.5.** À l'équateur :*
On imagine que l'on est dans un pays situé à l'équateur (le Ghana par exemple, qui est à la même longitude que la France). On reprend la même démarche : le personnage doit être vertical et regarder vers le Sud.
On se pose les mêmes questions : sur la position de l'horizon, de l'équateur céleste, de l'axe de la Terre et de l'étoile Polaire. L'axe polaire fait un angle nul avec l'horizon (latitude 0°).

Lumière du Soleil et ombre

La maquette est à nouveau réglée pour la France. En intérieur, il est aisé de visualiser le mouvement apparent du Soleil avec un spot ou une lampe de poche, par exemple le jour de l'équinoxe.

Précisons qu'il fait jour quand le Soleil est au-dessus de l'horizon et qu'il fait nuit quand il est en dessous.
On place la lampe allumée à l'est du personnage, face à l'équateur. On lui fait faire un arc de cercle jusqu'à l'ouest, tout en restant dans le plan de l'équateur. Le Soleil se lève alors à l'est et se couche à l'ouest en passant par une position où il est au plus haut quand il passe au méridien.
Le personnage a une ombre tout au long de la journée. On peut observer comment elle évolue en taille et en direction.
On peut recommencer en prenant un Soleil plus haut dans le ciel correspondant à un jour de printemps ou d'été (sans jamais dépasser le tropique du Cancer…) puis avec un Soleil qui suit une trajectoire en dessous de l'équateur pour un jour en automne ou en hiver (sans jamais aller en dessous du tropique du Capricorne). Dans ces deux cas, on observera aussi la taille des ombres.
En extérieur un jour de Soleil, on peut faire l'expérience en observant sa propre ombre et celle du personnage sur le globe bien réglé et bien orienté.

***Fig.6.** Si le Soleil se déplace d'est en ouest en passant par le sud à midi solaire, l'ombre va d'ouest en est en passant par le nord à midi solaire.*

Cadran sphère

Dans le système géocentrique, celui des cadrans solaires, le Soleil fait le tour de la Terre en 24 heures. Comme un tour fait 360°, on peut graduer l'équateur en 24 heures (ou deux fois 12 heures) en secteurs de 15°. Il reste à choisir où placer l'origine de la graduation.
Quand la Terre est éclairée par le Soleil, elle est partagée en 2 hémisphères, un éclairé et l'autre dans l'ombre. La limite jour-nuit est un cercle qui coupe l'équateur en 2 points diamétralement opposés. Le Soleil est dans le plan médiateur de ces deux points.
Le globe terrestre réglé comme précédemment (à la bonne latitude et correctement orienté) est un cadran solaire à condition d'avoir gradué l'équateur en heures tous les 15°. Il existe deux manières de graduer.

Méthode 1

On utilise un méridien mobile que l'on dirige vers le Soleil (figure 7). On ajuste sa position pour qu'il n'y ait pas d'ombre ni d'un côté ni de l'autre du méridien. On lit alors l'heure sur la graduation de l'équateur.

Fig.7. *Cadran sphère à Vernon avec méridien mobile.*

Quand le Soleil est au méridien, il est midi solaire. Il suffit donc de prendre la graduation 12 sur le plan du méridien local. On gradue ensuite vers l'est de 12 à 1 (figure 8).

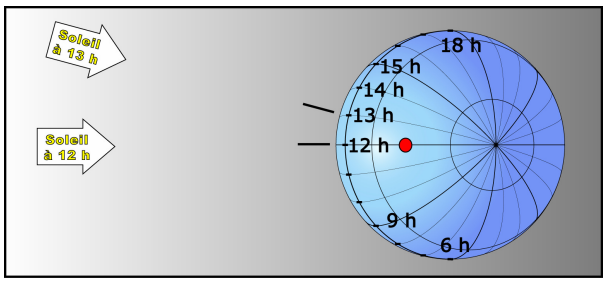


Fig.8. *Les graduations sont indiquées sur l'équateur.*

Méthode 2

Pour éviter d'avoir un méridien mobile, ce sont les points situés à la limite ombre/lumière de l'équateur qui indiquent l'heure du Soleil. Il faut décaler la graduation de 6 heures (en plus ou en moins) par rapport à la graduation de la méthode précédente (figures 8a et 8b). En effet, le Soleil est situé sur un méridien qui coupe l'équateur à une graduation décalée de 6 heures par rapport à la graduation du cercle jour/nuit. Cette méthode est ingénieuse et très pédagogique mais moins précise.

Les cadrans sphères anciens sont des boules de pierre qui représentent le globe terrestre sans océans ni continents dessinés. Avec les matériaux actuels il est possible de faire un globe terrestre qui puisse supporter les intempéries[10]. Ce cadran solaire est particulièrement intéressant car, en plus de donner l'heure, il montre partout dans le monde la position du Soleil à l'instant où on l'observe. On peut ainsi savoir où il fait jour et où il fait nuit, dans quels pays le Soleil se lève ou dans lesquels il se couche, etc.

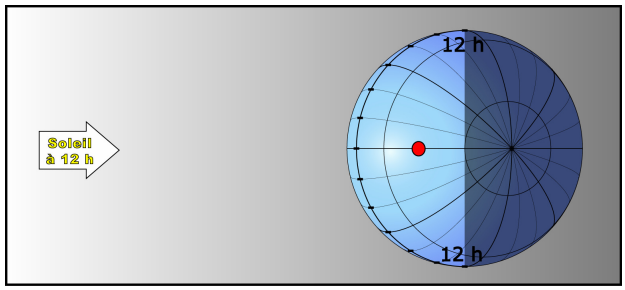


Fig.8a. *Pour un personnage situé sur la tache rouge, il est midi. L'heure est indiquée à la limite jour nuit.*

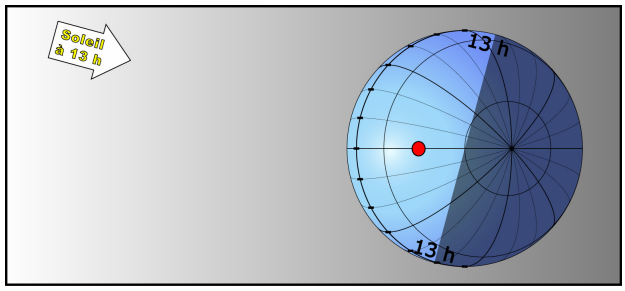


Fig.8b. *Une heure plus tard, il est 13 h pour le point rouge (on note habituellement 1 h).*

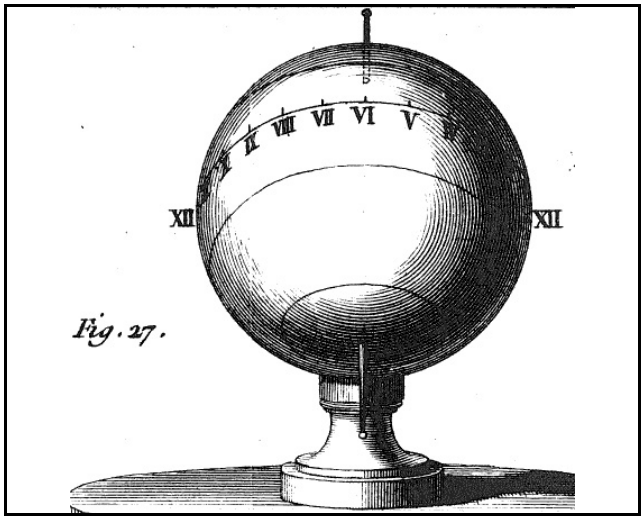


Fig.9. *Figure extraite de l'ouvrage d'Ozanam "Récréations mathématiques et physiques" (1694) présentant un cadran sphère avec les graduations de la méthode 2.*

Fig.10. *Maquette avec les 2 graduations. On utilise celle du haut avec la ligne de l'ombre et celle du dessous avec le méridien mobile.*
L'ombre de la pointe du méridien mobile permet de connaître le jour de l'année. ■

[10] Voir l'article suivant de Daniel Toussaint

L'horosphère du collège d'Aix-en-Othe

Daniel Toussaint

Dans les années 85, en impliquant les ateliers du collège dans des PAE à caractère astronomique, nous avons construit un cadran solaire sphérique à volet que nous avons appelé horosphère pour rappeler ses propriétés : c'est un globe terrestre qui donne l'heure.
Son intérêt pédagogique est double : d'une part, il permet de voir d'un coup d'œil la position de l'hémisphère éclairé par le Soleil et de son centre, d'autre part, il permet de comprendre la notion d'angle horaire et d'heure solaire.

Principe de l'horosphère et mise en station du globe

Une maquette faite avec deux globes terrestres montre que, s'ils ont la même orientation, ils seront éclairés de la même façon par une source lumineuse assez lointaine (figure 1). En conséquence, si on place un globe terrestre au Soleil, il suffit de l'orienter comme la planète Terre pour qu'il ait le même éclairement qu'elle.

Fig.1. *Deux globes au Soleil.*

Comme pour un télescope, la mise en station du globe se fait en trois étapes : le support est prévu pour que l'axe sud-nord soit incliné d'un angle égal à la latitude d'Aix-en-Othe, l'orientation du support amène cet axe dans le plan vertical du méridien d'Aix, et enfin la rotation du globe autour de son axe polaire permet d'amener le plan méridien d'Aix sur la boule dans le plan méridien du globe terrestre.
Puis on serre la vis de blocage placée sous le globe car sa mise en station est définitive. La seule partie mobile est le volet qui doit pouvoir suivre le mouvement apparent du Soleil.

Lecture de l'heure solaire sous le volet et de la date sous le curseur troué

Le volet mobile qui permet de lire l'heure solaire n'a qu'un seul degré de liberté : on peut le tourner à la main autour de l'axe des pôles. Son ombre portée sur le globe est plus ou moins large (photos 2 et 3). On doit faire tourner ce volet jusqu'à ce que cette ombre soit fine : elle se trouve alors dans le plan méridien qui passe par le Soleil. L'angle entre ce plan et le plan méridien d'Aix-en-Othe donne l'heure solaire d'Aix-en-Othe : la lecture se fait sur l'équateur qui est gradué directement en heure solaire.

Quand le volet est placé dans la position où il donne l'heure solaire, on peut avoir une idée de la date en déplaçant manuellement le curseur blanc troué jusqu'à l'obtention d'une tache de lumière sur le globe. Cette tache indique la position du point qui a le Soleil au zénith. Par exemple, on peut voir que, au début de l'hiver, le Soleil suit le tropique du Capricorne. Si on pose un petit bonhomme debout sur le globe, il permet aux élèves de s'imaginer à sa place et de comprendre qu'ils ne risquent pas de voir le Soleil au zénith à Aix-en-Othe (contrairement à l'idée reçue qu'il est midi si on a le Soleil au-dessus de la tête).

Fig.2. *Le cadran est installé mais il faut encore tourner le méridien pour avoir l'heure.*

Fig.3. *Le méridien est réglé, son ombre est minimale, il est 13h. On voit aussi que le Soleil est sur le tropique du Capricorne, c'est le solstice d'hiver.*

Retour sur la fabrication du globe

L'utilisation de l'horosphère est très facile, mais sa réalisation ne l'est pas : il faut construire un globe terrestre qui puisse résister aux intempéries. C'est en faisant appel aux compétences d'un moniteur de canoë que le globe a été réalisé en résine polyester et fibres de verre. Mais il fallait d'abord fabriquer un moule hémisphérique creux. Nous avons réalisé ce moule en démontant un lampadaire et en coulant du plâtre autour de son globe. Mais le séchage du plâtre a duré plus de trois mois… ce qui a laissé aux élèves le temps de s'intéresser à d'autres types de cadrans solaires !

■

AVEC NOS ÉLÈVES

Ateliers "Cadrans solaires"
au Collège Charles Sénard, Caluire

Nathalie Rif (Collège Charles Sénard, Caluire), Charles-Henri Eyraud (Institut français de l'éducation, ENS de Lyon)

Au cours des années scolaires 2006 - 2007 et 2007 - 2008, deux ateliers scientifiques et techniques ont été conduits par une équipe pluridisciplinaire au collège Charles Sénard à Caluire (Rhône). Ils ont permis à deux groupes d'une douzaine de collégiens de fabriquer deux cadrans solaires pour leur collège, le premier vertical installé sur un mur et le second analemmatique dans une partie arborée mais bien exposée de la cour de l'établissement.

Au cours de ces deux années, la démarche pédagogique a sensiblement été la même. Au premier trimestre, nous avons concentré nos efforts sur une sensibilisation des élèves aux phénomènes astronomiques grâce à la mise en place d'observations et de maquettes. La deuxième partie de l'année fut davantage axée sur la fabrication des cadrans individuels (chaque élève a construit son cadran "portable") et du cadran collectif, mural ou analemmatique.

La démarche pédagogique dans le cadre d'un atelier scientifique et technique

Le travail avec un groupe d'élèves dans le cadre de ce type d'atelier — qu'il soit scientifique ou artistique — est très intéressant pour différentes raisons.

La première est que les élèves s'inscrivent volontairement ; on peut donc imaginer que leur curiosité et leur motivation sont fortes.

L'atelier, même si le nombre d'élèves est limité, est ouvert à tous les collégiens quel que soit leur niveau. Nous avons d'ailleurs privilégié l'inscription des élèves de l'Unité Pédagogique d'Intégration (actuellement Unité Locale pour l'Inclusion Scolaire). Ainsi, notre groupe fut très hétérogène et, au delà des apprentissages disciplinaires, la sensibilisation au respect des singularités de chacun était une de nos priorités.

L'engagement se fait sur l'année scolaire. Le travail s'inscrit donc dans une durée confortable tant pour les enseignants que pour les élèves.

Enfin, la conception et l'organisation des séances peuvent être élaborées par une équipe pluridisciplinaire. Les notions de faire et progresser ensemble constituent une expérience très riche pour tous les acteurs de l'atelier.

Étude des phénomènes astronomiques

Avant la réalisation des cadrans solaires, il nous est apparu essentiel que les jeunes observent et comprennent les phénomènes astronomiques tels que le mouvement apparent du Soleil, l'alternance des jours et des nuits et celle des saisons. Quelques rappels historiques incontournables (système géocentrique et héliocentrique) leur ont également été apportés afin qu'ils prennent conscience des relations entre l'évolution de la pensée humaine et les découvertes scientifiques.

Séance 1 : recueil des représentations initiales des élèves

Tous les élèves avaient vu ou entendu parler des cadrans solaires. Ils savaient tous que c'est un objet de mesure du temps. Toutefois, dans leurs représentations initiales, le fonctionnement du cadran s'apparentait au fonctionnement d'un réveil, l'ombre du gnomon donnant l'heure comme l'aiguille sur une montre. Les élèves ignoraient pour la plupart le nombre de graduations et le lien exact entre l'heure indiquée et le mouvement du Soleil par rapport à l'horizon. Des questions intéressantes sont soulevées lors de cette première séance : comment fait-on lorsqu'on change d'heure, comment en construit-on… ?

Séances suivantes : mise en place d'observations

Trois types d'observation ont été organisés.

1. Paysage et mouvement relatif du Soleil par rapport à l'horizon.

Matériel : feuille A3, support rigide, crayon.
Les élèves doivent représenter sur leur feuille les éléments de paysage sur environ 180°, (en tendant un bras à gauche et un bras à droite pour fixer les limites), et en particulier "le fond lointain" avec des éléments remarquables (tour, sommet, arbre…).
Ensuite trois observations seront faites à trois moments de la journée. Les élèves doivent dessiner le Soleil à l'endroit précis où il se trouve par rapport au paysage dessiné.

Fig.1. *Relevé du mouvement du Soleil par rapport au paysage.*

2. Le "saladier" (3 groupes de 4 élèves)

Matériel : saladiers transparents, gommettes jaunes, petits personnages.
On colle à la première heure de cours puis régulièrement toutes les heures une gommette, de façon que l'ombre de la gommette tombe au centre de la sphère du saladier. Avec un tout petit personnage, on peut expliquer que le rayon de Soleil aboutit dans l'œil de l'observateur ; on repère ainsi le mouvement du Soleil sur la voûte céleste par rapport au paysage.

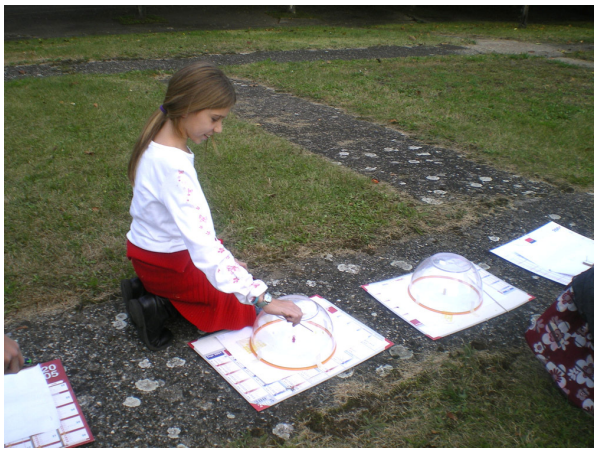


Fig.2*. Observations avec le saladier.*

3. Le relevé solaire

Matériel : petit gnomon (clou de 36 mm), feuille A3 sur support rigide, crayon à papier et niveau de maçon pour la classe.
La consigne est de marquer à heures régulières l'extrémité de l'ombre du clou. Le relevé d'ombres est exploité sur place en fin de journée en notant la forme décrite par l'extrémité de l'ombre, en observant qu'à un moment de la journée, l'ombre est la plus courte et en relevant la direction indiquée. Il sera réutilisé ensuite après les rappels historiques et les modélisations avec l'ensemble des courbes diurnes annuelles tracées avec le logiciel Solarium (figure 8).

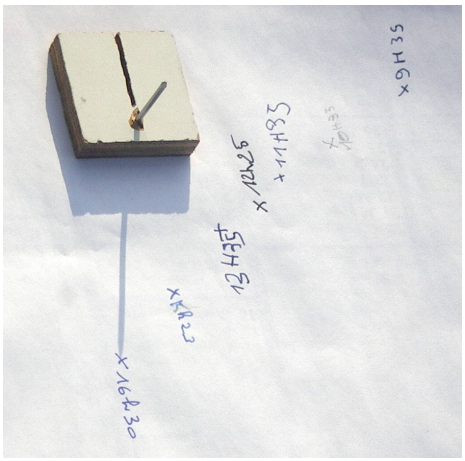


Fig.3. *Relevé solaire individuel sur feuille A3.*

Rappels historiques et modélisation

Comment expliquer le mouvement observé du Soleil ? Celui-ci tourne-t-il autour de la Terre ou est-ce la Terre qui tourne sur elle-même ?
Une séance fut consacrée à la présentation des systèmes géocentrique et héliocentrique. Nous avons travaillé à partir de gravures anciennes présentant de manière simplifiée les modèles de Ptolémée et de Copernic. Ce fut un moment très intéressant car cela a suscité beaucoup de rires chez nos élèves qui se sentaient assez savants pour comprendre ces deux illustres astronomes. Nous avons insisté sur la difficulté pour choisir entre les deux modèles, évoqué les observations cruciales et parlé de l'évolution de la Science et de la Pensée humaine.

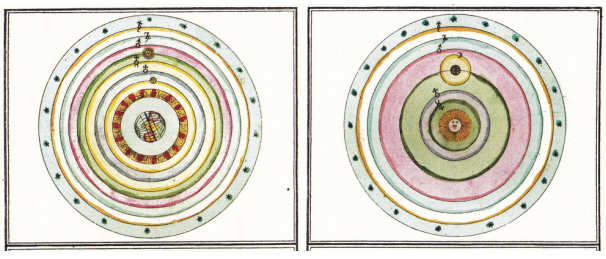


Fig.4. *Systèmes de Ptolémée (à gauche) et de Copernic. Cosmographie de l'académie des enfans, Noyers sur Serein.*

La modélisation a été une étape importante sur laquelle nous avons travaillé plusieurs séances. Elle nous a permis de vérifier les hypothèses que les élèves avaient émises à partir des observations mais aussi d'aborder puis d'approfondir les notions de jour et de nuit, d'alternance des saisons, de trouver le sens de rotation de la Terre sur la maquette à partir de nos observations, de comprendre les variations de durée du jour au fil des mois …

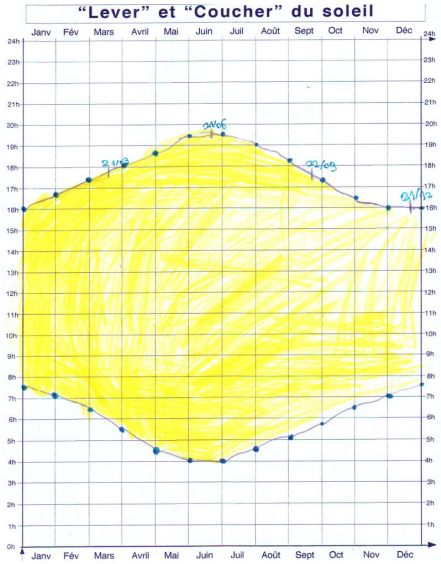


Fig.5. Les heures de lever et coucher du Soleil à Caluire.

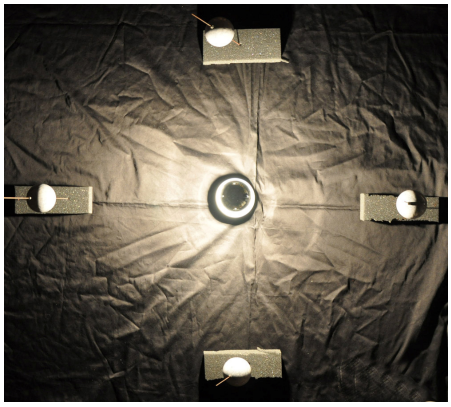


Fig.6. Modélisation des saisons (solstices - équinoxes) avec un axe de la Terre incliné par rapport à l'écliptique.

La fabrication des cadrans individuels horizontaux ou verticaux

Les cadrans individuels

Plusieurs séances se sont déroulées dans la salle informatique pour se familiariser avec le logiciel Solarium conçu par Pierre Dallet. Les élèves devaient parvenir, en étant guidés, à imprimer le tracé de leur cadran, à comprendre la différence entre style droit (perpendiculaire à la face du cadran) et style polaire.

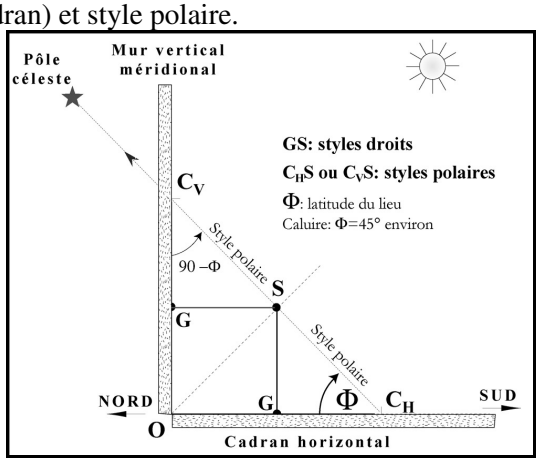


Fig.7. Cadrans vertical et horizontal.
"Mesurer la longueur du style de votre cadran
Quelle est la valeur du style droit?".

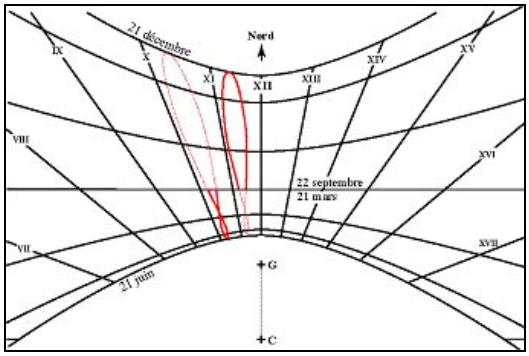


Fig.8. Cadran horizontal tracé avec Solarium.

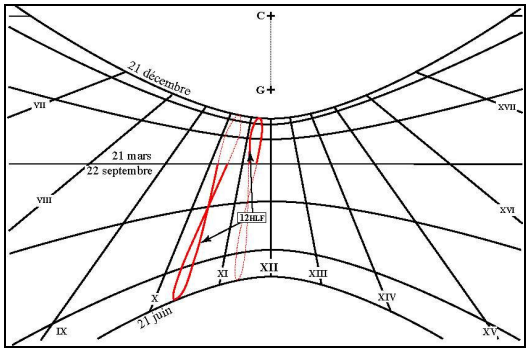


Fig.9 Cadran vertical tracé avec Solarium.

Matériel

Pour le cadran :

- planchette en contreplaqué marin 34 cm × 24 cm (1 par élève) ;
- pyrograveurs ;
- peinture acrylique et vernis lasure.

Pour le style :

- plaque du type "pas de porte " en laiton ;
- tige en laiton coupée aux dimensions précises du style polaire (et épointée pour l'esthétisme et une meilleure lecture).

Les élèves s'approprient leur cadran, retracent les lignes et font la décoration qu'ils avaient imaginée

puis pyrogravent et peignent leur cadran avant de passer une lasure incolore.

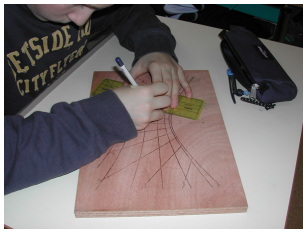


Fig.10. *Tracé des lignes et peinture.*

Fig.11. *Exposition des cadrans.*

Le cadran vertical pour le mur du collège

Matériel
Pour le cadran :

- planche en contreplaqué marin 140 cm × 122 cm ;
- perceuse Dremel ;
- peinture acrylique et vernis lasure.

Pour le style :

- plaque en aluminium 12 cm × 8 cm ;
- tige en aluminium coupée aux dimensions précises du style polaire (et épointée pour l'esthétisme et une meilleure lecture).

Élaboration du cadran
1ère étape : mesure de la déclinaison du mur.

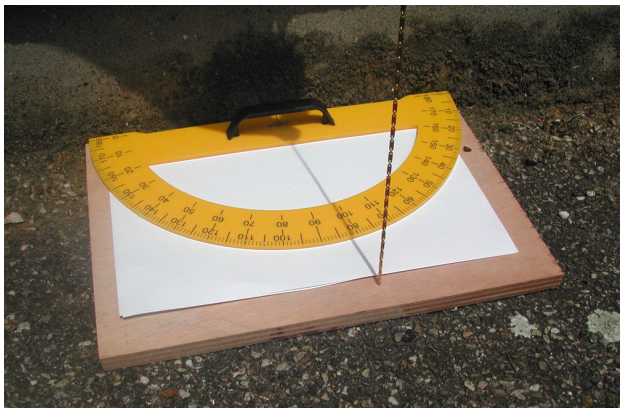


Fig.12a. *Mesure de la déclinaison du mur.*

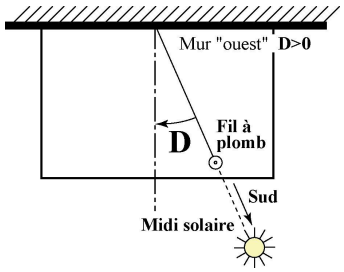


Fig.12b. *Mesure de la déclinaison du mur (vue de dessus). Pour faciliter la compréhension, la mesure a été faite à midi solaire avec les élèves mais cette mesure pourrait être faite à toute heure grâce à Solarium qui donne l'azimut du Soleil.*

Étapes suivantes : installation des feuilles pour le tracé, gravure avec perceuse Dremel et décoration.

Fig.13. *Reconstitution du cadran avec l'impression donnée par Solarium.*

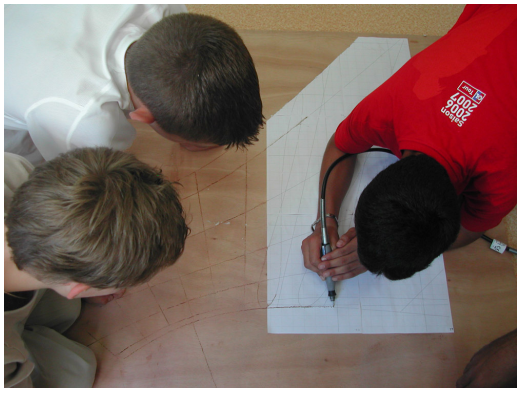


Fig.14 *: Gravure des lignes.*

Fig.15. *Décoration.*

Fig. 16 et 17. *Le cadran est ensuite fixé sur le mur du collège.*

Le cadran analemmatique

L'année suivante, une démarche similaire à celle employée pour la construction du cadran vertical est utilisée. Néanmoins, avant de nous lancer dans la réalisation à proprement parler du cadran, il nous est apparu indispensable de réfléchir avec les élèves au projet, à l'œuvre finale que nous voulions réaliser, d'où la nécessité également d'anticiper et de programmer les différentes tâches que nous allions devoir réaliser.

Dans un premier temps, une visite sur le site de Pommiers où un magnifique cadran analemmatique a été construit, nous a permis d'appréhender le fonctionnement d'un tel cadran, d'imaginer comment il avait été fabriqué et de lister les différents matériaux nécessaires à sa réalisation…

Puis, après avoir réfléchi et arrêté un prototype grandeur nature, il a fallu commencer la gravure sur les dalles de pierre. La gravure sur pierre était une activité qui n'avait jamais été pratiquée par les élèves, il a donc fallu les former.

Fig.18. *Gravure des heures et de la dalle centrale.*

Un tailleur de pierre, Monsieur Tony Maziotti, est venu au collège. Les élèves ont appris progressivement grâce à lui les "bons" gestes pour entailler la pierre avec des ciseaux et une massette, sans oublier les mesures de sécurité nécessaires telles que le port de lunettes adaptées. Au fil des séances, une certaine dextérité est apparue. Concentration, patience et plaisir furent réunis pour venir à bout du travail de gravure.

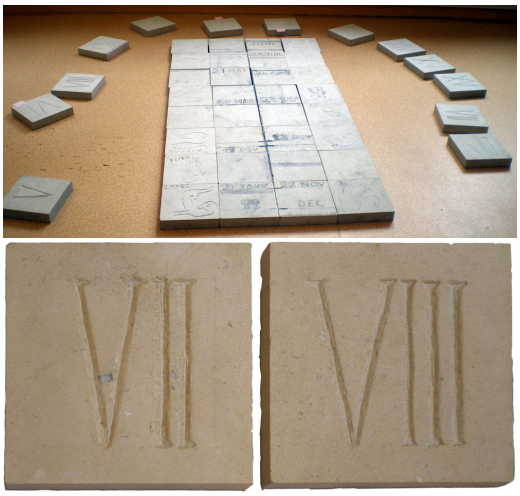


Fig.19 et 20. *Dalle centrale reconstituée dans la classe et pavés horaires avant installation.*

Fig.21. *Pose des dalles sur un lit de sable.*

Fig.22 et 23. *Lecture.*

Sitographie

Village d'Este : http://isheyevo.ens-lyon.fr/village_este/cycles/cycle-3/2007-atelier-cadrans.
Arts and stars : http://artsandstars.ens-lyon.fr/ArtsAndStars/history/analemmatic-sundial
Solarium : téléchargement sur Village d'Este. ■

HISTOIRE

Une courte histoire des cadrans solaires

Charles Henri Eyraud, Institut Français de l'éducation, ENS de Lyon

Ces quelques lignes et images sur l'histoire des cadrans solaires sont une invitation à approfondir ces instruments dont l'histoire est intimement lié à l'histoire des sciences. En particulier ils nous invitent à approfondir la science babylonienne et l'étude du mouvement annuel du Soleil non constant sur l'écliptique, la science et les mathématiques grecques et arabes, les lois de Kepler et l'étude du mouvement de la Terre sur son orbite pour calculer l'équation du temps.

Les premiers instruments de mesure du temps inventés par les hommes sont liés au phénomène naturel essentiel dans leur vie qui donne une unité de temps : le Soleil et son mouvement par rapport à l'horizon. Une simple tige plantée verticalement dans le sol permet ainsi de suivre la course du Soleil : la lumière de l'astre projette l'ombre de la tige sur le sol ; l'observation du déplacement ou de la longueur de cette ombre permet de déterminer des moments caractéristiques de la journée. On peut ainsi considérer les pierres plantées verticales comme les plus anciens des cadrans solaires.

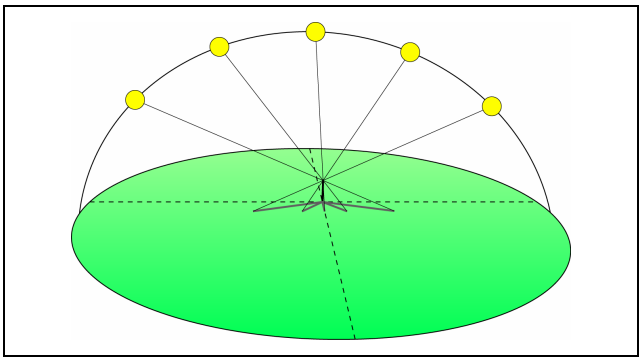
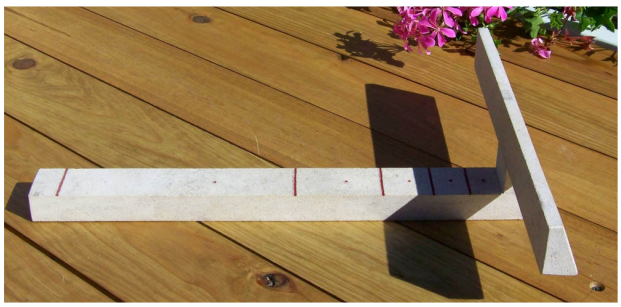


Fig.1. *Mouvement apparent du Soleil et ombre d'un bâton.*

Les Égyptiens construisirent aussi de petits instruments gradués comme celui de la figure 2. Les graduations permettaient de diviser la journée en parties inégales.

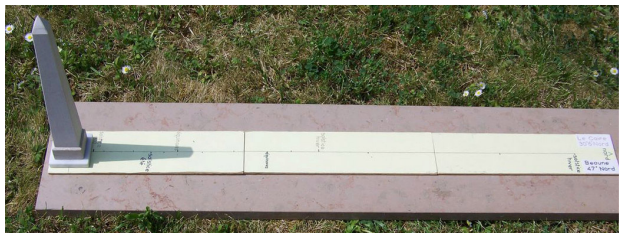


www.lescadransdeconstant.com

Fig.2. *Principe d'un cadran solaire égyptien de l'époque de Thoutmosis III (1479-1425 av. J.C.). La tablette graduée est orientée est-ouest et l'ensemble doit être retourné à midi. (reproduction moderne).*

Le gnomon

On attribue l'introduction du gnomon (du grec gnomon "indicateur") en Occident et son utilisation à des fins scientifiques autres que des mesures horaires au savant grec Anaximandre (VI^e^ siècle avant J.C.). C'est cet outil rudimentaire qui permettait de déterminer les dates des solstices et équinoxes et permit à Ératosthène sa mesure du rayon terrestre et de l'obliquité de l'écliptique.



www.lescadransdeconstant.com

Fig.3. *L'ombre d'un obélisque peut permettre de se repérer au cours de la journée et au cours de l'année.*

Les scaphés

L'association d'une tige avec une surface creuse fut d'après Hérodote une invention que les Grecs héritèrent des Babyloniens. Différentes surfaces de projections de l'ombre du gnomon furent utilisées et des graduations horaires furent portées sur ces surfaces.

Photo Clotilde Marin-Micewicz

Fig.4. *Scaphé du musée archéologique d'Éphèse (II^e^ siècle après J.C.).*

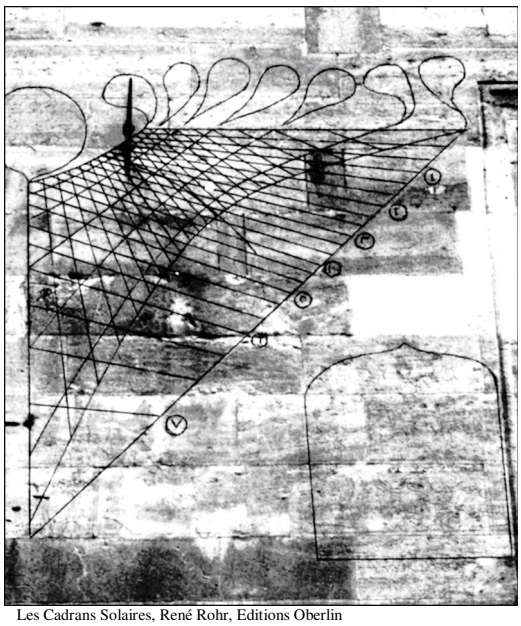
La surface sphérique est particulièrement intéressante car elle permet de voir à l'envers la trajectoire du Soleil sur la voûte céleste. Les 12 graduations horaires équi-angulaires d'un tel scaphé permettent de diviser la journée en 12 intervalles de temps égaux mais de durée variable suivant le jour de l'année : on les appelle "heures temporaires".

Les cadrans canoniaux

Fig.5. Cadrans canoniaux indiquant les heures de prière à Sauvain (Loire) et Strasbourg (adolescent au cadran).

Vers 700, sous l'influence de Bède le Vénérable (né en Angleterre en 632), se généralise l'emploi de cadrans bien particuliers sur les murs méridionaux des églises conventuelles de Grande Bretagne : en forme de demi-cercle, comportant 12 graduations égales et munis d'un style perpendiculaire au mur.
Les intervalles de temps mesurés entre deux graduations égales ne sont pas égaux.
Rapidement les heures des offices religieux furent indiquées par des marques particulières et certaines lignes horaires furent supprimées. Ces cadrans sont appelés "canoniaux" parce qu'ils servaient à marquer le début des 7 offices liturgiques de la journée appelés "heures canoniales".

Cadrans à style polaire



Les Cadrans Solaires, René Rohr, Editions Oberlin

Fig.6. Cadran de la Mosquée de Soliman à Istambul.

Vers le XIII^{e} siècle, les Arabes inventèrent le cadran à style polaire et le développement de la trigonométrie leur permit de tracer mathématiquement de nombreuses indications gnomoniques.

Équation du temps

Depuis les Babyloniens, on sait que le Soleil ne parcourt pas l'écliptique à vitesse constante, que l'écliptique est incliné sur l'équateur céleste et que donc, la durée séparant deux midis solaires n'est pas fixe, ce qui est à l'origine de l'équation du temps (voir page 13). Pour en connaître la valeur en fonction du temps, il faut avoir une théorie du Soleil donnant sa vitesse sur l'écliptique et utiliser un peu de géométrie sphérique pour prendre en compte l'inclinaison de l'écliptique par rapport à l'équateur.
Ainsi l'équation du temps était connue de Ptolémée mais c'est seulement à partir du XVIII^{e} siècle qu'elle fut matérialisée sur les cadrans par la courbe en huit que nous connaissons. Celle tracée par Granjean de Fouchy en 1730 au palais du Petit Luxembourg serait la première. L'importance des méridiennes de temps moyen s'explique à l'époque par la précision des horloges qui atteignent quelques secondes de précision par jour et que l'on peut régler facilement et avec précision à midi moyen avec la courbe en huit.

Fig.7. Méridienne de l'Hôtel de Ville de Lyon (1782) indiquant le 14 mars, midi moyen (11 h 40 TU).

Les moyens modernes de calcul permettent de calculer facilement toutes sortes de cadrans comme par exemple ceux de la figure 8.

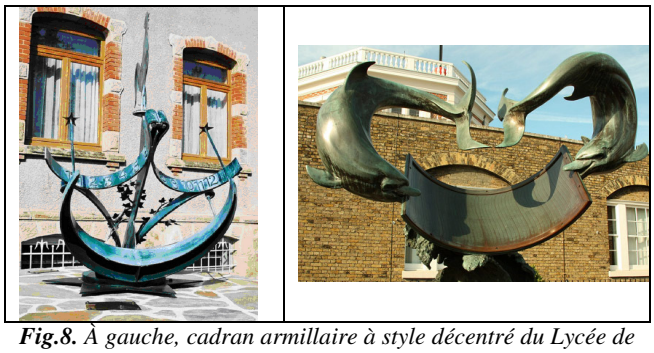


Fig.8. À gauche, cadran armillaire à style décentré du Lycée de Neuvic (Corrèze).
À droite,, cadran de l'observatoire de Greenwich.

Sitographie
Archives du CLEA http://www.inrp.fr/Acces/clea/web/
(cliquer sur mot clé puis "cadran")
Cadran de Carthage, Paul Gagnaire (sur le site du CLEA, complément au CC134).
http://www.ens-lyon.fr/RELIE/Cadrans/

■

AVEC NOS ÉLÈVES

L'effet Cérenkov dompté au LP2I

Lycée Pilote Innovant International de Jaunay Clan

Jean-Brice Meyer, professeur de physique chimie au LP2I
Elias Vandermeersch, Génaro Olivieri, Alice Tahir, Arnaud Vandehaeck, Thibaut Alleau, Benjamin Bertin, Luc Richard, Samuel Gay-Bellile, Bruno Meunier, Raphaël Beaulieu, Yorick Noël, élèves au LP2I,

Comme l'année précédente, un groupe de 12 élèves du LP2I s'est investi dans un projet touchant la physique des particuiles, en s'intéressant tout particulièrement à l'effet Cérenkov.

L'effet Cérenkov

Il s'agit d'un effet durant lequel de la lumière est créée par une particule électriquement chargée en traversant certains milieux matériels transparents. Ce phénomène est comparable au "bang" produit par les avions lorsqu'ils franchissent le mur du son, c'est-à-dire lorsque l'avion se déplace plus vite que les ondes sonores.

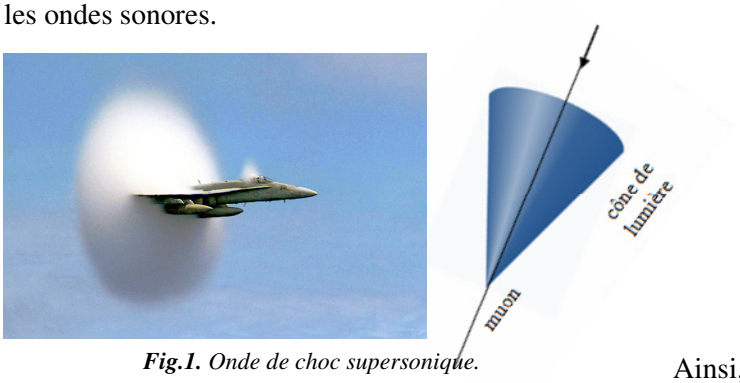


Fig.1. *Onde de choc supersonique.*

En effet, lorsqu'une particule se déplace avec une vitesse inférieure à la célérité des ondes lumineuses, aucune lumière visible n'est créée par le passage de la particule. Mais lorsque celle-ci se déplace plus vite que les ondes lumineuses, un "Bang" lumineux est émis dans un cône, dont l'angle dépend de la vitesse de la particule et du milieu matériel traversé (voir photo ci-dessus).

Mais est-il possible qu'une particule aille plus vite que la lumière ? Oui ! En effet, alors que les ondes lumineuses sont les plus rapides dans le vide ou dans l'air, leur célérité diminue lorsqu'elles traversent d'autres milieux matériels. Il n'en est pas de même pour les muons ; ce sont des particules créées lorsque des rayons cosmiques (principalement des protons venant de l'espace) viennent heurter les molécules de l'atmosphère (figure 2).

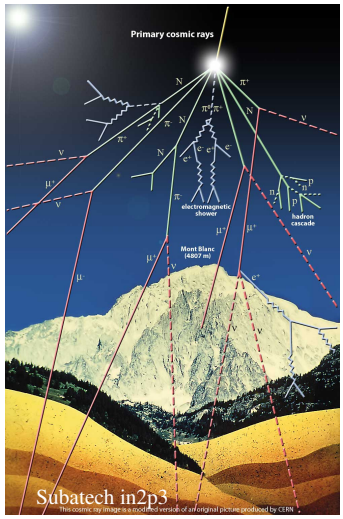


Fig.2. *Gerbe de particules.*

Ainsi, dans l'eau, le verre, le plexiglas et bien d'autres milieux, les muons auront une vitesse plus importante que la célérité des ondes lumineuses et seront capables de créer de la lumière par effet Cérenkov.

Le Projet

Analogie avec les ondes à la surface de l'eau

En prenant certaines précautions, le "bang" des avions ou la lumière dans l'effet Cérenkov trouvent des analogies dans le sillage laissé par les bateaux à la surface de l'eau. Ainsi, dans un premier temps, pour appréhender ce phénomène complexe, nous avons commencé par étudier les ondes à la surface de l'eau en élaborant une cuve à onde (figure 3).

Fig.3. *la cuve à eau.*

Voici ainsi ci-dessous schématisé la figure obtenue à la surface de l'eau lorsque celle-ci est perturbée par une source qui évolue au dessus de l'eau, en laissant tomber périodiquement un petit objet dans l'eau.

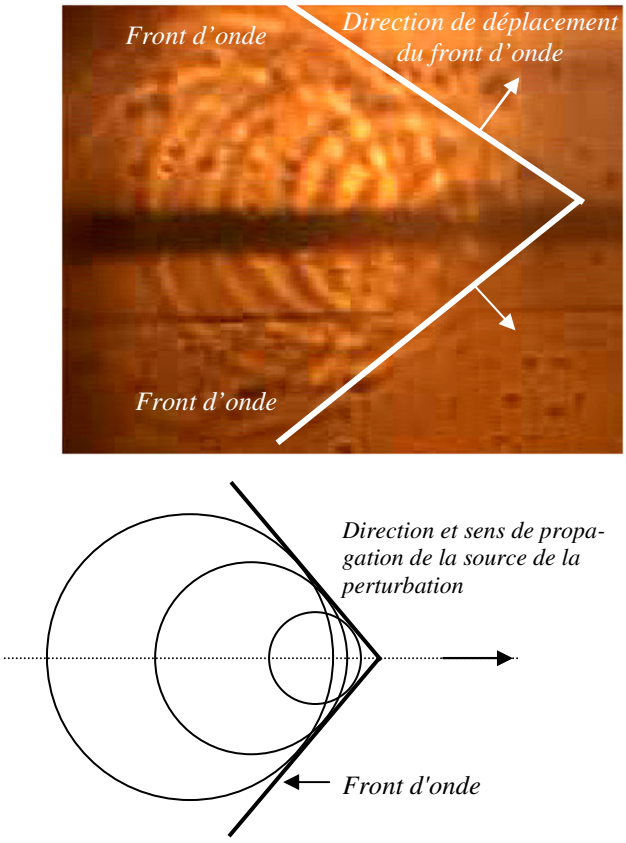


Fig.4. *Ondes à la surface de l'eau : les points noirs représentent les lieux successifs perturbés par la source de la perturbation.*

La photo ci-dessus montre que les fronts d'ondes sont des lignes sur lesquelles les différentes ondes interfèrent constructivement.
Par analogie, on peut ainsi dire que la surface du cône de lumière Cérenkov représente les zones d'interférences constructives des ondelettes créées le long de la trajectoire du muon.

L'étude expérimentale des ondes à la surface de l'eau nous a permis également de mettre en évidence expérimentalement la relation entre l'ouverture du cône et la vitesse de la particule.

Mise en évidence de l'effet Cérenkov dans le plexiglas

Une fois le phénomène compris, nous avons voulu observer expérimentalement l'effet Cérenkov. Nous avons pour cela confectionné un détecteur comprenant une partie optique entièrement réalisée par nos soins, ainsi qu'une partie électronique empruntée à un détecteur de muons, le Cosmodétecteur, réalisé par le CPPM (Centre de Physique des Particules de Marseille), sous la direction de José Busto, suite à l'appel à projet lancé par Sciences à l'École.

Quel dispositif utiliser pour détecter l'effet Cérenkov ?

En disposant un photomultiplicateur au bout d'un bâton de plexiglas, il est possible de détecter la lumière créée lors du passage du muon dans le plexiglas. Or en provenant de l'atmosphère, les muons ont majoritairement une direction verticale. Le tube de plexiglas jouant un rôle de guide d'onde lumineuse, la lumière va en partie être acheminée jusqu'à l'extrémité basse du bâton de plexiglas. Pour cela, nous avons entouré le bâton de papier d'aluminium.
Ainsi, si on oriente le dispositif avec le photomultiplicateur en position basse, on devrait compter davantage d'impulsions que lorsque celui-ci est en position haute (figures 5a et 5b).

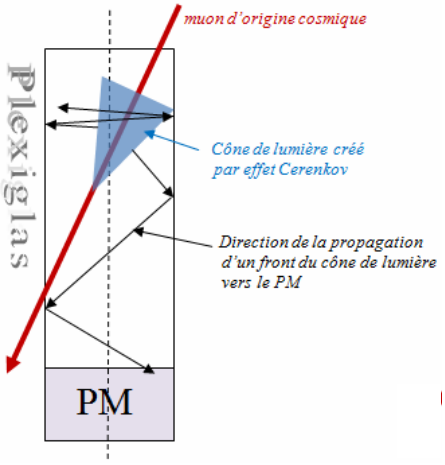


Fig.5a. *Le photomultiplicateur en position basse.*

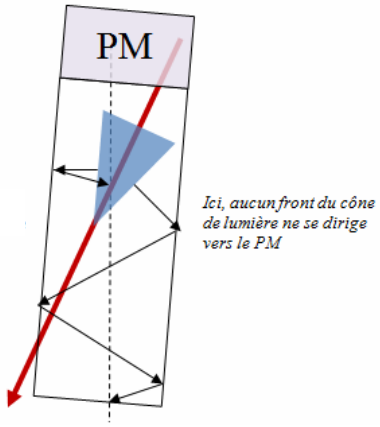


Fig.5b. *Le photomultiplicateur en position haute.*

Cela dit, il reste un détail à considérer : les photomultiplicateurs génèrent un bruit de fond d'origine thermique, dans lequel se noient complètement les impulsions engendrées par les muons. Pour pallier ce problème, la carte électronique permet d'ajuster un seuil (en mV) qui va permettre de filtrer les impulsions électriques en fonction de leurs amplitudes : si une impulsion est supérieure au seuil fixé, alors elle participera au décompte des coups comptés. Sinon, on traitera cette impulsion comme un bruit de fond.
Mais nous ne connaissons pas l'amplitude des impulsions laissées par le bruit de fond. Et pour cette raison, nous avons choisi de comparer le nombre de coups comptés avec le photomultiplicateur en position basse et le photomultiplicateur en position haute, en fonction du seuil.

Ensemble des mesures

Seuil (mV)	Nb de coups en 10 min PM haut	Nb de coups en 10 min PM bas
10	2284	2196
15	1458	2255
20	916	1392
25	562	708
30	307	550
35	147	332
40	84	204
45	39	164
50	28	100
60	17	75
70	13	49
80	1	41
90	4	24
100	4	15

Fig.6. *Tableau des mesures.*

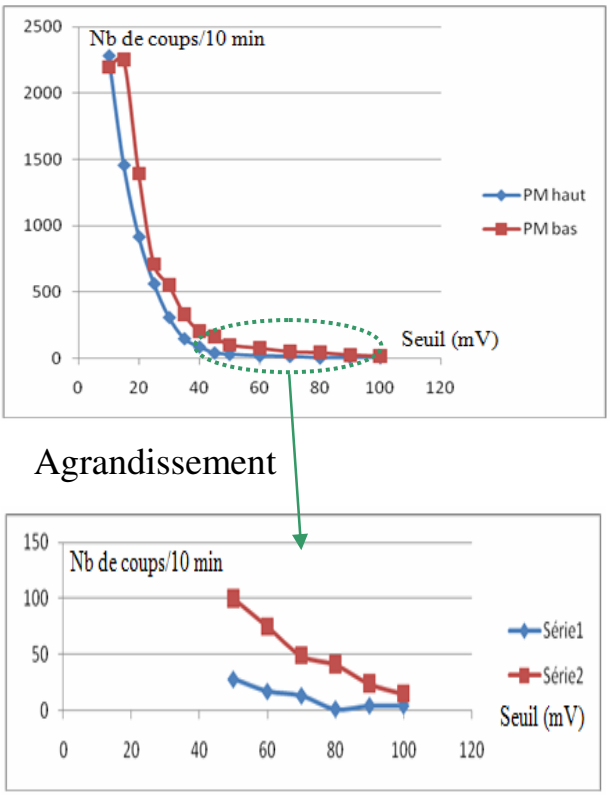


Fig.7. *Les courbes.*

Une analyse des résultats montre comme nous l'attendions que le nombre d'impulsions comptées est plus important lorsque le photomultiplicateur est en bas, quel que soit le seuil, mis à part à 10 mV où il a dû se passer quelque chose qui a perturbé nos mesures, comme par exemple des variations de tension dans le réseau électrique, qui aura provoqué davantage de parasites dans le photomultiplicateur.
Une étude plus détaillée de la courbe montre que la différence du nombre de coups comptés est davantage visible pour des seuils allant de 45 à 60 mV. En dessous, le bruit de fond commence à noyer cet effet, et pour des seuils plus grands, les nombres de coups comptés ne permettent pas de réaliser de réelles statistiques.

Détermination de l'angle du cône de lumière Cérenkov dans le plexiglas

Suite à cette première étude, nous avons voulu déterminer expérimentalement l'angle du cône de lumière Cérenkov en utilisant l'idée suivante : si on connaît la direction d'un muon, il est possible connaître l'angle β entre l'axe du bâton de plexiglas et la direction du muon. On peut alors tourner le bâton et ainsi faire varier l'angle β de sorte que le front d'onde du cône de lumière arrive perpendiculairement à la face du bâton. Le front

d'onde ne sera alors plus réfléchi vers le photomultiplicateur. Pour des angles inférieurs à cet angle limite, on s'attend à ce que le photomultiplicateur ne reçoive plus de lumière Cérenkov. Cet angle limite β_{lim} (voir schéma ci-contre) sera ainsi relié au demi-angle δ du cône lumineux.

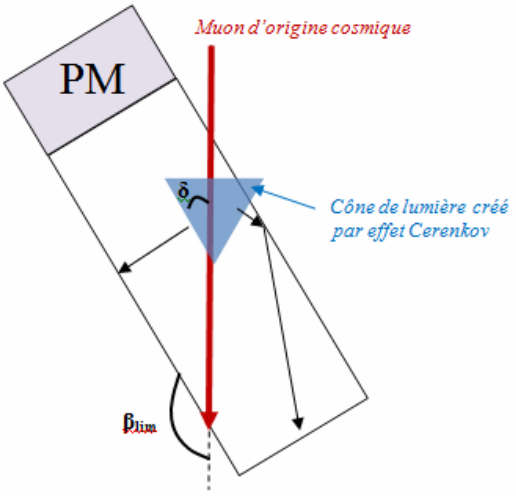


Fig.8. *Angle limite de détection des muons.*

Mais cette méthode nécessite alors de connaître précisément la direction du muon incident, ce qui n'est pas le cas. Alors nous avons eu l'idée de ne travailler qu'avec les muons verticaux. Pour cela, nous avons disposé le bâton de plexiglas entre deux plaques de scintillateur de faibles surfaces, reliées chacune à un photomultiplicateur. Ces deux plaques, fixes, ont été disposées de sorte que leurs normales soient alignées et soient selon une direction verticale. Il ne restait plus alors qu'à compter les coups qui donnaient des impulsions en coïncidence par minute dans les trois éléments traversés. Les résultats sont présentés dans le graphique ci-dessous.

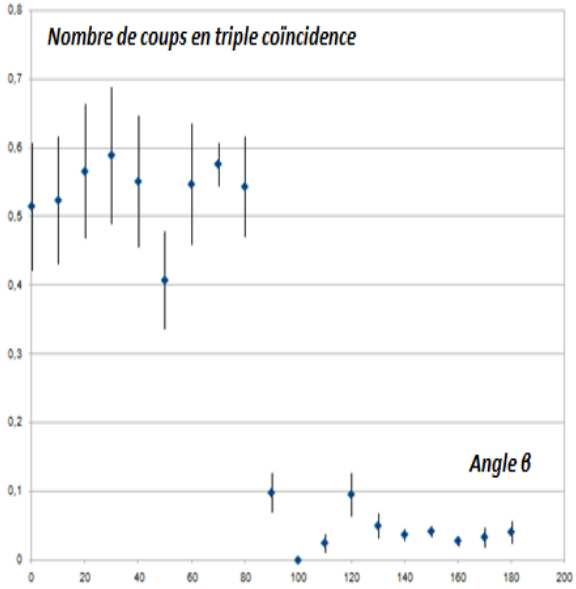


Fig.9. *Les courbes*

Ces résultats ont nécessité une correction d'ordre probabiliste, liée à la géométrie du détecteur, c'est-à-dire l'acceptance du détecteur. Comme nous le prévoyions, il y a bien une chute sévère du nombre de coups comptés. Par contre, cette chute se produit à un angle β trop faible par rapport à celui attendu. Certains paramètres de notre expérience méritent donc d'être ajustés car pour le moment, il est fort probable que nous ne comptions pas certaines impulsions jugées trop peu intenses pour être associées à la traversée d'un muon dans le plexiglas. C'est le travail que nous allons réaliser d'ici la fin de l'année scolaire.

Présentation du projet aux Olympiades de physique 2011

Tout leur travail a été présenté devant un jury lors des qualifications inter académiques des Olympiades de physique, à Toulouse, le 8 décembre 2010, ce qui leur a ouvert les portes vers la finale qui s'est déroulée le 29 et le 30 janvier 2011, à Paris, au Palais de la Découverte.

De gauche à droite : Benjamin Bertin, Génaro Olivieri, Alice Tahir, Yorick Noel, Elias Vandermeersch

Le projet, intitulé "Dans le sillage de Cérenkov", a alors été couronné d'un 1er prix, accompagné du commentaire suivant : *Tout est vitesse… En deux ou trois dimensions, vous avez percé le secret des traces laissées par les supersoniques, les canards et les muons."*

Remerciements : Science à l'école (prêt du cosmo-détecteur), José Busto (CPPM), Éric Lesquoy (CEA), Gérard Tristam (in2p3).

■

Voir un texte plus complet à l'adresse :

http://www.odpf.org/anterieures/xviii/gr-20/pdf/memoire_20.pdf

HISTOIRE

L'astronomie physique à l'observatoire de Paris (1870-1914)

Le Gars Stéphane, Centre François Viète, Nantes

Dans le n° 132, Stéphane Le Gars nous décrivait l'histoire de la spectroscopie depuis Newton jusqu'à Bunsen et Kirchhoff dans les années 1860. Voici la suite de cet article avec les débuts de l'astrophysique à l'observatoire de Paris.

Les premières tentatives d'astronomie physique à l'Observatoire de Paris (1874-1888)

Loin d'avoir ignoré les nouveaux développements de l'astronomie, l'Observatoire de Paris s'est vu le lieu, durant la deuxième moitié du XIX^{e} siècle et le début du XX^{e} siècle, de tentatives d'introduction de techniques qui ont fondé ce que l'on appelle aujourd'hui l'astrophysique[11]. Le physicien Alfred Cornu apparaît comme l'un des premiers savants à avoir investi l'Observatoire pour y réaliser des observations spectroscopiques, à la suite de sa mesure de la vitesse de la lumière en 1874.

Pour des études de photographie astronomique, il utilise l'équatorial de la Tour de l'Est et sa lunette de 8,85 m de focale ; "Lorsque ces expériences furent terminées, le Conseil de l'Observatoire, sur la proposition de son président, M. Le Verrier, décida l'organisation d'un service de Photographie astronomique et voulut bien adopter mon projet d'utilisation du grand équatorial démonté […]"[12]. Mais Cornu, physicien issu de l'École Polytechnique, n'est pas sans inquiétudes vis à vis de l'utilisation scientifique de la photographie : "Les images ainsi amplifiées gagnent peut-être un certain effet artistique, mais elles perdent le caractère le plus précieux des images directes, celui d'être absolument affranchies de toute aberration […]"[13]. Pourtant, il réalise des photographies d'Uranus, du Soleil, de la Lune, et envisage des applications à la photographie de Vénus et de Jupiter.

Mais son travail à l'Observatoire rencontre un obstacle majeur, l'équatorial de la Tour de l'Est lui-même, quasi inutilisable en raison de la lunette elle-même (pour des problèmes de verre) et de la coupole[14]. Après son repolissage par Secrétan, Cornu peut malgré tout l'utiliser dès 1874. Il y effectuera pendant quatre ans des recherches photographiques et spectroscopiques. Le directeur de l'Observatoire, Ernest Mouchez, notera en 1882 qu'hormis le problème lié à l'objectif, le mécanisme était également insuffisant à un point tel qu'il fallait une demi-heure pour faire tourner la coupole. Malgré cela, Cornu arrive à effectuer des études de photographie planétaire, et envisage de poursuivre par la réalisation de photographies stellaires. Il va également utiliser l'équatorial de la Tour de l'Est pour des études spectroscopiques, notamment sur le spectre de l'étoile nouvelle apparue dans la constellation du Cygne en 1876 (on nomme maintenant ces astres des novae). Après avoir montré l'allure du spectre – à savoir des raies brillantes se détachant sur un fond lumineux, interrompu entre le vert et l'indigo – Cornu donne le résultat des mesures obtenues à l'aide d'un spectroscope à vision directe de Duboscq, tout d'abord à l'aide des divisions de l'échelle arbitraire obtenue puis dans l'échelle des longueurs d'onde, en utilisant les raies C et F de l'hydrogène et D du sodium pour la correspondance (figure 1).

Cornu note l'analogie de composition entre le spectre de cette étoile et celle de la chromosphère du Soleil, mais montre aussitôt les difficultés posées par l'analyse des spectres en astronomie : "je m'abstiendrai de tout commentaire et de toute hypothèse à ce sujet ; je crois que nous manquons de données nécessaires pour arriver à une conclusion utile, ou tout

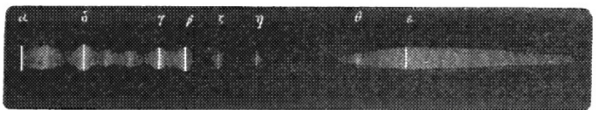
[11] Voir par exemple : Legars Stéphane, Maison Laetitia, "Janssen, Rayet, Cornu : trois parcours exemplaires dans la construction de l'astronomie physique en France (1860-1890)", *Revue d'Histoire des Sciences*, t.59-1, janvier-juin 2006, p.51-81.

[12] Cornu Alfred, "Études de photographie astronomique", CRAS, 1876, t.83, p.44

[13] *Ibid.*, p.45.

[14] Veron Philippe, "L'Équatorial de la Tour de l'Est de l'Observatoire de Paris", http://www.obs-hp.fr/www/preprints/pp158/pp158.pdf

au moins susceptible de contrôle. Quelque attrayantes que soient ces hypothèses, il ne faut pas oublier qu'elles sont en dehors de la Science, et que, loin de la servir, elles risquent fort de l'entraver."[15]



L'ordre αβχ o est celui de leur intensité, en tenant compte de la visibilité de la couleur. Les chiffres suivants sont les divisions de l'échelle qui définissent leur position :

	α	δ	γ	β	ζ	η	θ	ε
	30	44	60	66	73	81	100	113

	α	δ	γ	β	ζ	η	θ	ε
Observ	661	558	531	517	500	483	451	435
Hydrogène	656(C)	"	"	"	"	486(F)	"	434
Sodium	"	589(D)	"	"	"	"	"	"
Magnésium	"	"	"	589(b moy)	"	"	"	"
Raie de la couronne sol.	"	"	532	"	"	"	"	"
Raies de la chromosph.	"	587	"	"	"	"	"	447

Fig.1. *Spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne obtenu par Cornu en 1876. (Cornu Alfred, "Sur le spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne", Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, 83, 1876, p.1172-1174).*

Ainsi, la tentative d'insertion de l'astronomie physique au sein de l'Observatoire de Paris se solde par un échec, à cause d'un matériel attribué par défaut (dans tous les sens du terme) à la nouvelle science astronomique. En dépit d'une volonté de façade, l'institution phare de la Mécanique Céleste ne donne pas de moyens exclusifs et spécialisés à l'astronomie physique. Mais Cornu va cependant contribuer par d'autres travaux au développement de la discipline en France, lui imprimant une spécificité que l'on retrouvera chez ses élèves : limite ultraviolette du spectre solaire, utilisation de l'effet Doppler-Fizeau pour l'identification des raies telluriques du spectre solaire, étude du renversement des raies du spectre d'un élément chimique en vue de l'identification de séries de raies de l'hydrogène et de la découverte d'une fonction hydrogénique, étude notamment reliée à une réflexion sur l'hypothèse cosmogonique de Laplace. Cornu commence alors à devenir un personnage important de l'astronomie française : alors qu'il est professeur de physique à l'École Polytechnique depuis 1867, il devient membre du Conseil de l'Observatoire de Paris le 23 février 1875 (il en est son secrétaire) et membre de l'Institut le 3 juin 1878. Cette même année, il obtient le prix Lacaze et la médaille Rumford, et est fait Chevalier la Légion d'Honneur. Le 6 mars 1886, il devient membre du Bureau des Longitudes, et apparaît également parmi les membres du Conseil de l'Observatoire de Meudon et du Conseil de l'Observatoire de Nice. Il sera élu membre honoraire de nombreuses sociétés savantes, comme la Société des Spectroscopistes Italiens, la Société Royale de Londres, la Société Royale Astronomique de Londres. Il sera également président de la Société Française de Physique et de la Société Astronomique de France (juste après Jules Janssen, de 1897 à 1899), et membre du comité éditorial de l'*Astrophysical Journal* lors de sa fondation par George Ellery Hale en 1895.

La création d'un Service d'Astronomie Physique à l'Observatoire de Paris (1889-1914)

Élève de Cornu à l'École Polytechnique, le physicien Henri Deslandres (1853-1948) est nommé astronome adjoint à l'Observatoire de Paris le 13 août 1889, en tant que responsable d'un service de spectroscopie. Il est chargé de l'étude régulière des spectres stellaires par Mouchez, spectres devant permettre "la mesure des longueurs d'onde, […] la recherche de la composition chimique et des mouvements propres"[16]. Après avoir soutenu sous la direction de Cornu une thèse de spectroscopie en 1888[17], Deslandres applique la spectroscopie à l'étude des astres, alors que l'observatoire d'astronomie physique de Paris, sis à Meudon, dirigé par Janssen depuis 1875, est pourtant le lieu officiel de cette discipline.
Mouchez met à la disposition de Deslandres le télescope de 1,20 m de l'Observatoire de Paris, télescope d'une ouverture très grande pour l'époque[18]. Malheureusement ce télescope, imaginé par Léon Foucault qui mourut avant qu'il soit terminé, fut achevé par Adolphe Martin qui réalisa un très mauvais polissage du miroir : Deslandres arrive donc à la tête d'un service pionnier et unique en France, et récupère un appareil quasiment inutilisé, parce que possédant de piètres performances optiques.

Quoi qu'il en soit, Deslandres va alors procéder à un certain nombre de modifications du télescope pour le rendre plus maniable et plus adapté à la photographie, ce qui lui prendra pratiquement deux ans, tout en essayant d'adapter également le sidérostat de Foucault à la mesure des vitesses radiales des étoiles[19] (figure 2). Les problèmes sont en effet multiples : il faut

[15] Cornu Alfred, "Sur le spectre de l'étoile nouvelle de la constellation du Cygne", *CRAS*, 83, 1876, p.1174.

[16] Deslandres Henri, " Organisation des recherches spectroscopiques avec le grand télescope de l'Observatoire de Paris ", *CRAS*, t.111, 1890, p.562.

[17] "Spectres des bandes ultraviolets des métalloïdes avec une faible dispersion", *thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris*, Gauthier-Villars et Fils, 1888 ; reproduite dans *Annales de Chimie et de Physique*, 1888, t.15, p.5-86

[18] On peut citer cite comme réflecteurs les plus imposants à cette époque : le télescope de 1,20 m de l'observatoire de Melbourne (distance focale : 9,60 m), le télescope de Lord Rosse en Irlande (1,85 m de diamètre et 17 m de distance focale) et le télescope de Foucault de 0,80 m de diamètre et 4,80 m de distance focale installé à Marseille.

[19] Deslandres Henri, "Organisation des recherches spectroscopiques avec le grand télescope de l'Observatoire de Paris.", *CRAS*, t.111, 1890, p.562-564.

pouvoir suivre l'étoile pendant les longues poses photographiques, pouvoir manœuvrer l'appareil pendant le suivi, profiter d'une dispersion suffisante du spectroscope. Ceci limitera l'étude aux étoiles suffisamment brillantes, étant donné la mauvaise qualité de l'optique du télescope.

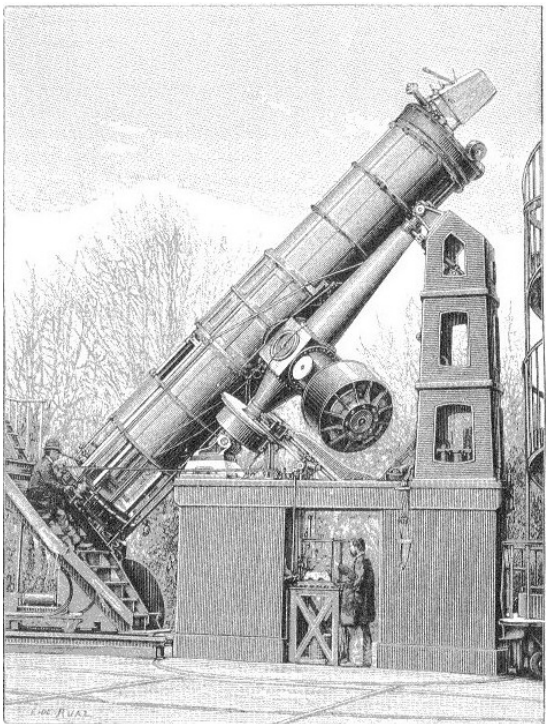


Fig.2. *Le grand télescope de l'observatoire de Paris, transformé pour l'étude de la vitesse de rapprochement et d'éloignement des astres par rapport à la Terre.*

En l'espace de deux ans, Deslandres va aboutir cependant à un certain nombre de résultats. Tout d'abord, il va résoudre le problème du suivi en utilisant les rayons rouges renvoyés par le spectroscope (Deslandres ne photographiant que la partie violette, actinique, du spectre), ces rayons étant déviés par un prisme à réflexion totale vers une lunette à réticule. Dès 1890, et à l'aide de cette modification complétée par l'ajout d'un miroir à 45° fixé à la fente pour faciliter encore le pointé de l'étoile, Deslandres peut photographier, à l'aide d'un spectroscope ancien normalement prévu pour l'observation oculaire, un certain nombre de spectres stellaires tel que celui de l'étoile Capella (figure 3).

Je ne détaillerai pas plus les travaux de spectroscopie, notamment en ce qui concerne la mise au point de son spectrohéliographe, et renvoie pour cela aux articles d'Audoin Dollfus dans la revue *L'Astronomie*[20] ; je vais plutôt aborder la vie de ce Service d'Astronomie Physique après le départ de Deslandres pour l'observatoire de Meudon en janvier 1898. Maurice Loewy, alors directeur de l'Observatoire de Paris, décide en effet de maintenir la présence de la nouvelle astronomie au sein de son établissement voué à la mécanique céleste. Il en confie la direction à Maurice Hamy, autour de qui, entre 1898 et 1914 (mais également après la première guerre mondiale), va travailler un groupe restreint mais actif et original. composé de Maurice Hamy, de Pierre Salet, de Charles Nordmann, et, dans une moindre mesure, de Gaston Millochau, ce groupe développera en effet des recherches souvent pionnières sur les étoiles, où l'instrumentation jouera un grand rôle dans des techniques variées : spectroscopie, interférométrie, polarimétrie entre autres. Je détaillerai uniquement certains travaux de ce groupe, qui concernent particulièrement la spectroscopie ou la photométrie.

Ces astronomes ont souvent réalisé un travail en équipe, notamment en ce qui concerne la spectroscopie stellaire, domaine encore peu développé en France à cette époque. En 1921, Hamy publie un mémoire sur le travail réalisé depuis au moins 1911, où il fait le constat de la volonté exprimée par Loewy de poursuivre après le départ de Deslandres, en 1898, la spectroscopie stellaire à l'OP. Mais ce n'est que peu avant la mort de Loewy en 1907 que le spectrographe mis au point par Hamy fut construit par Gautier. De plus, Hamy rencontre le problème d'un matériel non consacré uniquement à ce projet car "Loewy, voulant se réserver la faculté d'affecter, à tout instant, l'équatorial coudé à la photographie du ciel, décida malheureusement de laisser en place toutes les pièces en service, dans le travail concernant la photographie de la Lune, même les plus encombrantes"[21]. Après 1907, Hamy peut donc réaliser un travail de spectroscopie stellaire conséquent, dépendant au préalable de l'adaptation de l'équatorial coudé à cet objectif, celui-ci fournissant des images focales "laissant fréquemment à désirer."[22], en raison de sa grande sensibilité aux changements de température. C'est sur ce point que Hamy travaille notamment : le spectrographe est enfermé successivement dans des caisses en fonte, en laiton, et en cuivre. De plus, la température est maintenue constante à l'aide d'un régulateur commandé par une résistance électrique. Finalement, entre 1911 et 1914, un grand nombre de mesures de vitesses radiales seront réalisées sur Arcturus, β Andromède, γ. Andromède, α Bélier, α Persée, α Taureau, β et α Orion, etc.

[20] Dollfus Audoin "Henri Deslandres et le spectrohéliographe, l'épopée d'une recherche", *L'Astronomie*, février et mars-avril 2003, p.68-74 et p.148-153, mars-avril 2005, p.150-159.

[21] Hamy Maurice, "Le spectrographe stellaire", *Annales de l'Observatoire de Paris*, vol.32, 1925, p.B2.

[22] *Ibid.*

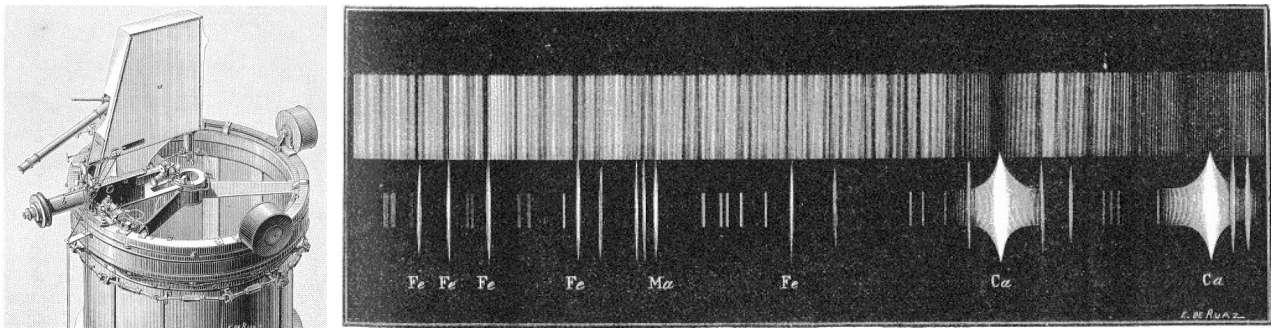


Fig.3. *Le spectroscope monté sur le télescope de 1,20 m de l'Observatoire de Paris, et spectre de Capella. (Espitallier, G.,"La vitesse des étoiles et les études spectrales de M. Deslandres", La Nature, 1893, 21e année, 1er semestre, p.275-278.*

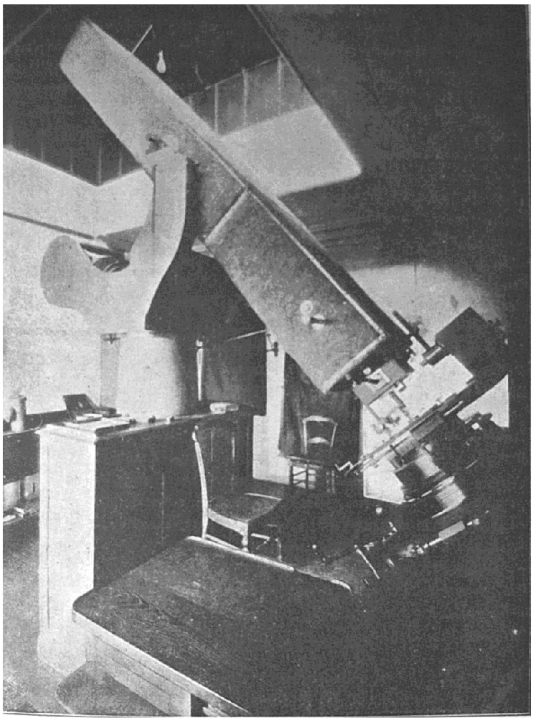


Fig.4. *Chambre d'observation du grand équatorial coudé de l'Observatoire de Paris et spectrographe stellaire de M. Hamy (Millochau G., De la Terre aux astres, Paris, Librairie Delagrave, 1910, p.45).*

Charles Nordmann, pour sa part, va entre autres développer la photométrie stellaire. Il fait en 1909 un état de cette technique encore peu utilisée en écrivant que "la mesure exacte des rayonnements est, au même titre que celle de leurs positions, la base indispensable à notre connaissance de l'Univers stellaire. Et cependant, si l'on met à part le Soleil dont la lumière gigantesque a permis de lui appliquer les procédés les plus délicats d'analyse et de mesure, il faut convenir que l'Astrophotométrie est encore à l'heure actuelle une science à peine ébauchée."[23]

C'est en 1906 que Nordmann met au point son photomètre stellaire hétérochrome. Cet appareil fournit l'image de l'étoile étudiée en même temps que l'image d'un astre artificiel produite par une lampe électrique alimentée par des accumulateurs et réglée au moyen d'un rhéostat et d'un voltmètre. L'égalité des deux lumières est obtenue à l'aide de deux nicols, puis est interposée sur le trajet des deux faisceaux lumineux une série d'écrans colorés (trois différents, obtenus grâce aux résultats acquis à la même époque en chimie sur l'aniline, selon Nordmann) permettant de ne laisser passer qu'une région bien définie du spectre. Ainsi, les teintes des deux sources lumineuses à comparer (l'étoile réelle et l'étoile artificielle) sont identiques, ce qui permet d'obtenir les rapports d'intensité des étoiles en fonction de la longueur d'onde.

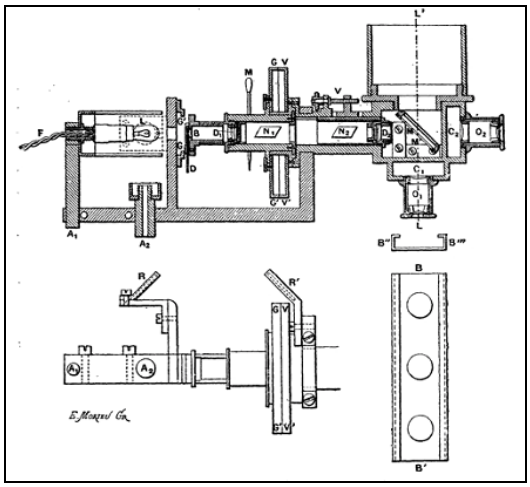
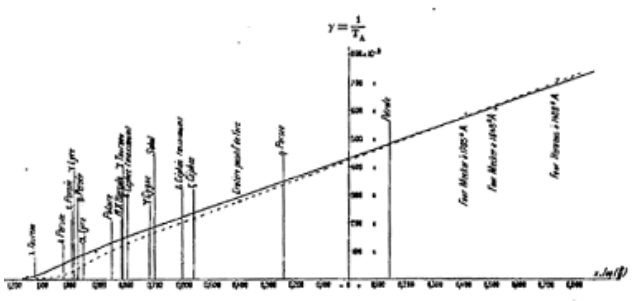


Fig.5. *Le photomètre stellaire hétérochrome de Charles Nordmann (source : Nordmann Charles," L'espace céleste est-il un milieu dispersif ?", Bulletin Astronomique, t.26, 1909, p.11).*

En adaptant son appareil au petit équatorial coudé de l'OP (de 270 mm de diamètre), Nordmann peut, dès 1909, donner les températures effectives d'un certain nombre d'étoiles. Il utilise pour cela la loi de Planck, qui donne l'intensité du rayonnement d'un corps noir en fonction de la longueur d'onde, pour différentes températures : $E(\lambda, T) = C.\lambda^{-5}.\frac{1}{e^{\frac{c}{\lambda T}} - 1}$.

[23] *Nordmann* Charles, « Introduction à la photométrie hétérochrome des astres», *Bulletin Astronomique*, t.26, 1909, p.158.

Nordmann mesure en fait les intensités R et B des images obtenues pour deux radiations, bleue et rouge, puis représente graphiquement $\log \frac{R}{B}$ en fonction de $\frac{1}{T}$.
L'étalonnage de son appareil est réalisé au moyen de trois fours différents et du cratère positif de l'arc électrique (donc pour 1408 K ≤ T ≤ 3616 K), puis extrapolé à l'aide de la formule de Planck. Il obtient ainsi une droite qui lui sert ensuite à obtenir la température de chaque étoile après mesure de R et B : dès 1909, Nordmann peut alors calculer les températures de quinze étoiles, qu'il corrige à la baisse deux mois plus tard. Pour le Soleil notamment, en octobre 1909 il a avancé 5990 K, puis 5320 K en décembre de la même année (figure 6).



Nom de l'étoile.	$\log \frac{R}{B}$.	Température effective absolue.	Type spectral d'après Lockyer.	Type spectral d'après Harvard College.
ρ Persée.....	−0,230	2980°	Antarian	M *b*
ζ Céphée.....	−0,552	4610	Aldebarian	K
δ Céphée (min.)...	−0,592	4950	Polarian	G
Soleil.....	−0,690	5990	Arcturian	G
γ Cygne.....	−0,710	6330	Polarian	F 8 G Péc.
δ Céphée (max.)...	−0,788	7940	Polarian	G
γ Taureau.....	−0,806	8400	Procyonian	K
ΠX Hercule.....	−0,808	8500	Non classée	Non classée
Polaire.....	−0,844	9800	Polarian	F 8 G
α Lyre.....	−0,946	18500	Sirian	A
β Persée.....	−0,966	23800	Algolian	B 8 A
γ Lyre.....	−0,980	28600	Sirian	A
ε Persée.....	−0,986	31300	Crucian	B
∂ Persée.....	−1,018	55600	Algolian	B 5 A
λ Taureau.....	−1,120	>60000	Taurian	B 3 A
Limite correspondant à $T_x = \infty$...	−1,140	∞		

Fig.6. *Le photomètre stellaire hétérochrome de Charles Nordmann (Source : Nordmann Charles, « Nouvelle approximation dans l'étude des températures effectives des étoiles », CRAS, t.149, 1909, p.1039 ; Nordmann, Charles, « Méthode permettant la mesure des températures effectives des étoiles. Premiers résultats », CRAS, t.149, 1909, p.560.).*

Le travail photométrique de Nordmann concernant la température effective des étoiles constitue un programme conséquent et original qui lui permet d'organiser et de diriger à partir de 1920 un service d'astronomie hétérochrome à l'Observatoire de Paris, et qui suscite dès le début l'intérêt de certains astronomes. Ainsi, Bigourdan, soutenant Nordmann pour une entrée à l'Académie des Sciences, écrit en 1911 à d'Arsonval que "Par l'invention d'un photomètre hétérochrome il a permis en effet, d'étudier 100 fois plus d'étoiles qu'on ne le pouvait jusqu'ici […]"[24].

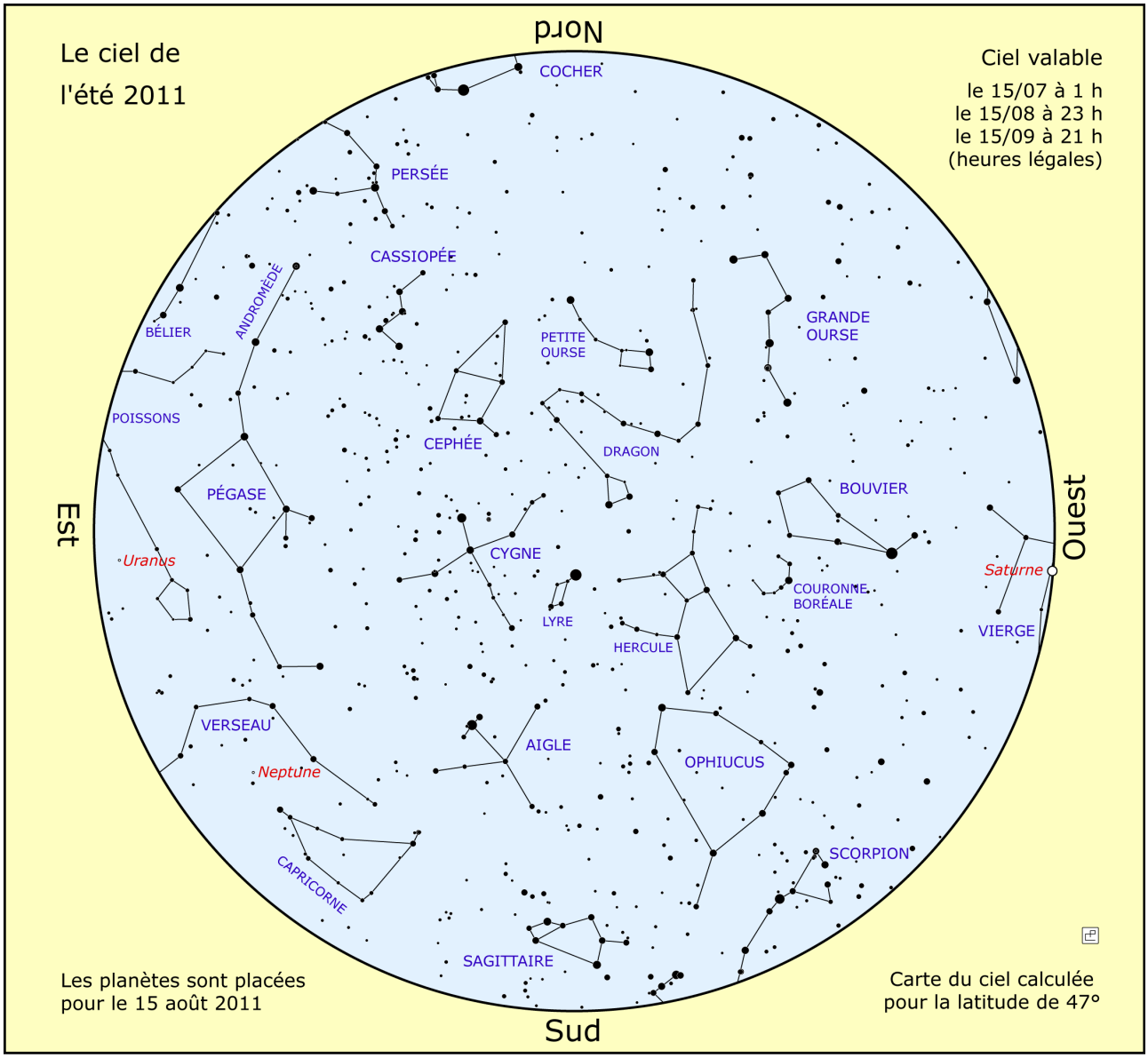
En conclusion, cet article montre que l'Observatoire de Paris a bien été le lieu de recherches d'astrophysique dès la fin du XIX^e^ siècle, et non le temple unique de la mécanique céleste et de l'astronomie de position.
Je n'ai pas détaillé davantage les travaux du Service d'Astronomie Physique dirigé par Hamy alors que des recherches polarimétriques et physiques ont également été menées.
L'oubli de ce Service aujourd'hui tient peut-être en la perception, à l'époque, des acteurs de cette recherche astronomique originale. Car, à côté de leurs travaux astrophysiques, Nordmann, Salet ou Millochau ont également écrit des ouvrages où astronomie et métaphysique se côtoyaient allègrement.
Pierre Salet, par exemple, publiera des ouvrages consacrés à des textes anciens de l'Inde brahmanique ou bouddhique, des études sur un astronome et poète persan du XI^e^ siècle, Omar Khayyam, ou sur des philosophes de l'ancienne Chine, mais également une anthologie de pensées des sages de tous les pays et de toutes les époques.
L'introduction de ce dernier livre est éloquente ; Salet indique les choix qui l'ont guidé dans sa rédaction, et probablement dans l'ensemble de son travail tant littéraire que scientifique : "L'amour de la vérité, dont les conséquences sont le goût de la libre recherche et le rejet de tout dogmatisme. L'amour du beau, qui fait naître l'enthousiasme artistique et le mépris de ce qui est bas et vulgaire. Enfin l'amour du bien, c'est-à-dire la recherche du progrès moral et le dédain des récompenses que pourraient nous valoir nos actions"[25].
Et Nordmann, dans la même veine littéraire écrit pour sa part que "Les étoiles sont adorables parce qu'elles sont pareilles à ces chimères vers qui tend vainement l'inaccessible amour"[26], et termine le même ouvrage par un plaidoyer pour une science poétique : "Et rien n'est aussi amusant que les hypothèses invérifiables. Rien ne prête davantage à la rêverie, à l'élan vers l'infini, qui, à en croire Platon, est l'amour même. C'est pour cela que les hommes de science dignes de ce nom, sont des poètes. C'est pour cela que rien ne recèle plus de poésie que la Science"[27].

■

[24] « Lettre de Bigourdan à d'Arsonval le 14 mai 1911 Paris », *Archives de l'Académie des Sciences*, Dossier Nordmann.
[25] Salet, Pierre, *Le Livre de la Sagesse*, Payot, Paris, sans date.
[26] Nordmann, Charles, *Le Royaume des Cieux. Un peu du secret des étoiles*, Hachette, Paris, 1923, p.6.
[27] *Ibid.*, p.254-255.

Le ciel de l'été 2011

Document à photocopier



Visibilité des planètes

Mercure sera observable le soir début juillet (jusqu'au 20) à l'horizon ouest-nord-ouest puis le matin à l'horizon est début septembre.

Vénus passe derrière le Soleil le 10 août. Elle est donc pratiquement inobservable tout l'été.

Mars est visible le matin mais encore trop éloignée pour être intéressante au télescope. Prochaine opposition en mars 2012.

Jupiter, dans le Bélier, est aussi du matin et se lève de plus en plus tôt (opposition en octobre).

Saturne reste visible en début de soirée dans la constellation de la Vierge. Elle disparaîtra derrière le Soleil en octobre.

Uranus dans les Poissons et **Neptune** dans le Verseau pourront être recherchées cet été.

Quelques événements (heures légales)

21/06 : solstice d'été à 19 h 16.

04/07 : le Soleil à l'apogée (au plus loin de la Terre) à 152 102 200 km.

10/08 : conjonction supérieure de Vénus.

12/08 : maximum de l'essaim des Perséides. Malheureusement, la Lune est quasiment pleine et nous empêchera de profiter correctement de ces étoiles filantes.

03/09 : élongation maximale ouest de Mercure.

23/09 : équinoxe d'automne à 11 h 04.

Lune

Pleine Lune : 15/07, 13/08, 12/09.

Nouvelle Lune : 1/07, 30/07, 29/08.

Périgées les 7/07, 2/08, 30/08.

VIE ASSOCIATIVE

Urbain Le Verrier

René Cavaroz – 14280 Saint-Contest

En 1996, dans le cadre du programme "Erasmus", nous avons célébré au lycée Chartier de Bayeux (Calvados) en présence de lycéens de Cambridge le 150e anniversaire de la découverte de la planète Neptune par Urbain Le Verrier né à Saint-Lô le 11 mars 1811.

Depuis j'ai repris contact avec Patrick Rocher de l'IMCCE afin de déterminer la date pour laquelle Neptune aura une déclinaison astrométrique la plus proche de celle du 23 septembre 1846 après avoir accompli un tour complet sur son orbite, soit le 22 novembre 2011.

C'était l'occasion d'organiser une série de manifestations en partenariat avec le Conseil Général de la Manche, la ville de St-Lô, les élèves du collège Pasteur et ceux du lycée Le Verrier pour célébrer cet événement et le bicentenaire de la naissance de Le Verrier.

À ma demande , James Lequeux de l'Observatoire de Paris a bien voulu donner deux conférences à St-Lô le 15 mars, dont une au lycée Le Verrier . Avec l'Asnora, l'astroclub "la Girafe" et quelques lycéens que je suis pour les TPE d'astronomie, nous avons présenté des expositions à St-Lô et une soirée d'observation le 24 mars pour plus de trois cents personnes.

Afin de mieux connaître ce savant qui a aussi mis en place le premier réseau de météorologie, cinquante collégiens et lycéens ont visité l'Observatoire de Paris le 31 mars sous la conduite de Laurence Bobis et James Lequeux et découvert avec intérêt l'exposition sur Le Verrier. La fin d'après midi s'est terminée pour les élèves de 1ère S et Term S par deux heures d'exposé de J-E Arlot de l'IMCCE sur le rôle de l'Institut, la planète Neptune et ses anneaux et enfin les éphémérides des satellites de Jupiter.

http://pagesperso-orange.fr/asnora/ rubrique : Le Verrier.

Dernière minute

Une exoplanète en vue !

Nous avons reçu (trop tard pour le faire paraître) un article de notre collègue Nicolas Esseiva qui avec des élèves du lycée de Pontarlier a observé le passage d'une exoplanète devant son étoile.
Il s'agit de l'étoile Wasp 37* située dans la constellation de la Vierge et c'est le passage de la planète WASP 37 b qui a été détecté.
Vous saurez tout dans le prochain "Cahiers Clairaut", ainsi chacun pourra tenter l'expérience ; cette détection a été faite avec le matériel simple (un celestron et son environnement numérique) distribué en partie par Science à l'École

La rédaction

*Le nom vient du projet **W**ide **A**ngle **S**earch for **P**lanets, (recherche à angle large de planètes), le nombre est un numéro d'ordre de découverte d'exoplanètes et une lettre

Solutions des mots croisés

Horizontalement

1. Gnomonique ; 2. Bure. UTC ; 3. Équatorial ; 4. eus. ENA. Hi ; 5. NE (nord est). VI (ligne de 6 heures). Ni ; 6. Lignes ; 7. Inca. Tue (Devise classique :"Toutes blessent, la dernière tue") ; 8. Cadranier ; 9. HF (Haute fréquence). Claires.

Verticalement

1. Greenwich ; 2. Que. Naf ; 3. Obus. CCD ; 4. Mua. Arc ; 5. Orteil. Al ; 6. Néon. Iéna (siège de Zeiss) ; 7. Rang. II ; 8. Qui. Inter ; 9. Utah. Eure ; 10. Éclipse.

Écoles d'Été d'Astronomie

Vous souhaitez débuter en astronomie ?

Vous souhaitez vous perfectionner ?

Vous avez le projet d'animer un club ?

Venez participer à une école d'été d'astronomie, au col Bayard, à 1 200 m d'altitude, dans un cadre prestigieux.

Des exposés accessibles à tous

Des ateliers pratiques et des observations

Toutes les activités sont encadrées par des astronomes professionnels et des animateurs chevronnés.

Renseignements sur le site du CLEA

Les productions du CLEA (1)

En plus du bulletin de liaison entre les abonnés que sont les Cahiers Clairaut, le CLEA a réalisé diverses productions.
Fruit d'expérimentations, d'échanges, de mises au point et de réflexions pédagogiques d'astronomes et d'enseignants d'écoles, de collèges, de lycées, ces productions se présentent sous différentes formes :

Fiches pédagogiques
Ce sont des hors série des Cahiers Clairaut conçus par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA : astronomie à l'école, la Lune, gravitation et lumière, mathématique et astronomie, …

Fascicules thématiques de la formation des maîtres, en astronomie
Repérage dans l'espace et le temps, le mouvement des astres, la lumière messagère des astres, vie et mort des étoiles, univers extragalactique et cosmologique, …

Matériel
Filtres colorés et réseaux de diffraction

DVD
Les archives du CLEA de 1978 à 2006 (Cahiers Clairaut et Écoles d'Été d'Astronomie)

Le formulaire de commande est sur le site.

(1) vente aux adhérents uniquement

Planétarium

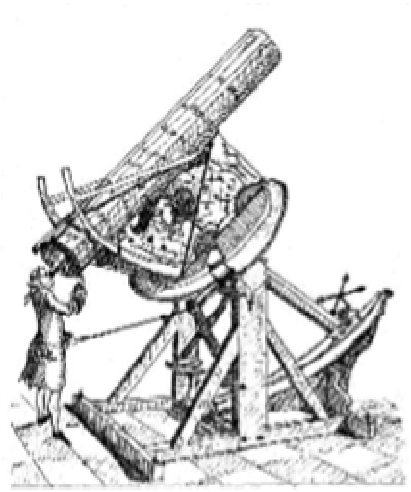
Il est possible également de louer le planétarium gonflable (starlab) du CLEA. Cette année 2011, il sera en Région Midi-Pyrénées.(uniquement pour le planétarium contact : jean.a.ripert@wanadoo.fr)

Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu

LES CAHIERS CLAIRAUT



Publiés quatre fois par an, aux équinoxes et aux solstices, les Cahiers Clairaut offrent des rubriques très variées:

Articles de fond
Réflexions
Reportages
Textes : extraits, citations, analyses
Pédagogie de la maternelle au supérieur
TP et exercices
Curiosités
Histoire de l'astronomie
Réalisations d'instruments et de maquettes
Observations
Informatique
Les Potins de la Voie Lactée

COMMENT NOUS JOINDRE ?

Informations générales :

www.clea-astro.eu
ou
www.ac-nice.fr/clea

Siège Social :
CLEA,
Observatoire de Lyon
69561 ST-Genis Laval CEDEX

École d'Été d'Astronomie :
daniele.imbault@cea.fr

Cahiers Clairaut :
larcher2@wanadoo.fr

Ventes des productions :
www.clea-astro.eu

Site internet :
berthomi@ac-nice.fr
charles-henri.eyraud@ens-lyon.fr

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2011 :	**5 €**
Abonnement CC pour 2011 :	**25 €**
Adhésion + abonnement CC :	**30 €**
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	**35 €**

Chèque à l'ordre du CLEA, à envoyer à :
Jean Ripert
Impasse de Mouyracs
46090 PRADINES

Directrice de la Publication : Cécile Ferrari
Rédacteur de publication : Christian Larcher
Imprimerie France Quercy 46090 MERCUÈS

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0310 G 89368
Prix au numéro : 7 €
Revue trimestrielle : numéro 134, juin 2011