

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2007 n° 120

EDITORIAL

Avec ce dernier numéro de l'année 2007, nous proposons d'abord quelques activités autour des comètes et des taches solaires, ainsi qu'une expérience exceptionnelle de mesure de la vitesse de la lumière, sans oublier les plus jeunes élèves avec une réponse simplifiée à la question :

"Pourquoi le ciel est-il bleu et pourquoi le Soleil couchant est-il rouge ?".

Nous proposons aussi de vous intéresser à la rétrogradation de Mars de décembre 2007 et à celles à venir.

Notre article pour les maternelles (CC119) a été critiqué par quelques lectrices compétentes. Nous publions leurs remarques qui peuvent nous éclairer sur les pièges de la pédagogie.

Nous terminons cette année, placée sous le signe de l'OHP (photo de couverture), par un reportage sur l'activité de ce centre de recherche.

Enfin, nous participons modestement à la commémoration du bicentenaire de la mort de l'astronome Lalande (1732-1807) avec un article sur son instrument d'observation : le quart de cercle mural de l'Observatoire de Lyon.

La Rédaction

patu@obs.univ-lyon1.fr

Avec nos élèves

Ces comètes qui nous font tourner la tête

P. Lefur p. 2

Réflexions

Astronomie en maternelle

L. Sarrazin p. 9

Expérience

Pourquoi le ciel est-il bleu et pourquoi le Soleil couchant est-il rouge ?

G. Patu et J. Ripert p. 11

Avec nos élèves

Mesure de la vitesse de la lumière

C. Bouchemat et D. Pascal p. 12

Reportage

L'émergence de l'astrophysique dans les Alpes de Lumière

C. Larcher p. 18

Avec nos élèves

Observation des taches solaires : la vitesse de rotation du Soleil

G. et C. Lecoutre p. 22

Histoire

Le quart de cercle mural dit "de Lalande" conservé à l'Observatoire de Lyon

G. Adam, L. Maison, B. Rutily p. 26

Observation

Les boucles de la rétrogradation de Mars

P. Causeret p.30

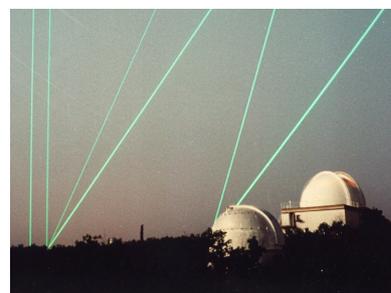
Rubriques fixes p.33

• *Remue-méninges*

• *Lecture pour la Marquise*

• *La vie associative*

• *Le courrier des lecteurs*



Faisceaux LASER dans le ciel de l'OHP



Envol d'un ballon sonde à l'OHP

AVEC NOS (GRANDS) ÉLÈVES

Ces comètes qui nous font tourner la tête

Pierre Le Fur,
Professeur en PSI (Physique et Science de l'Ingénieur)
à Institut Supérieur de l'Électronique et du Numérique de Toulon

Résumé : Les exceptionnelles images rapportées par la sonde SOHO vont nous permettre d'appréhender concrètement comment les comètes se déplacent dans la région circumsolaire. Avec l'appui d'un montage en carton, le « cométoscope », nous allons matérialiser en 3 dimensions leurs déplacements. Enfin nous confronterons nos résultats avec le modèle informatisé de la NASA.

Cette année 2007 a débuté par le passage de l'extraordinaire comète Mac Naught (C 2006 P1), d'abord visible à l'œil nu de l'hémisphère nord et suivie depuis les cieux de l'hémisphère sud (voir : <http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2007/images/phot-05c-07-fullres.jpg>).

De telles rencontres avec ces astres chevelus ne sont pas très fréquentes pour l'observateur démuné d'instruments optiques.

à 79m). Intrigué par le mouvement de ces astres, Tycho a pu montrer qu'ils se déplacent au-delà de l'orbite lunaire et ne sont pas un phénomène atmosphérique (« sublunaire ») comme on le pensait à l'époque.

Le site "gallica"

Image provenant du site de la bibliothèque de France : <http://gallica.bnf.fr>

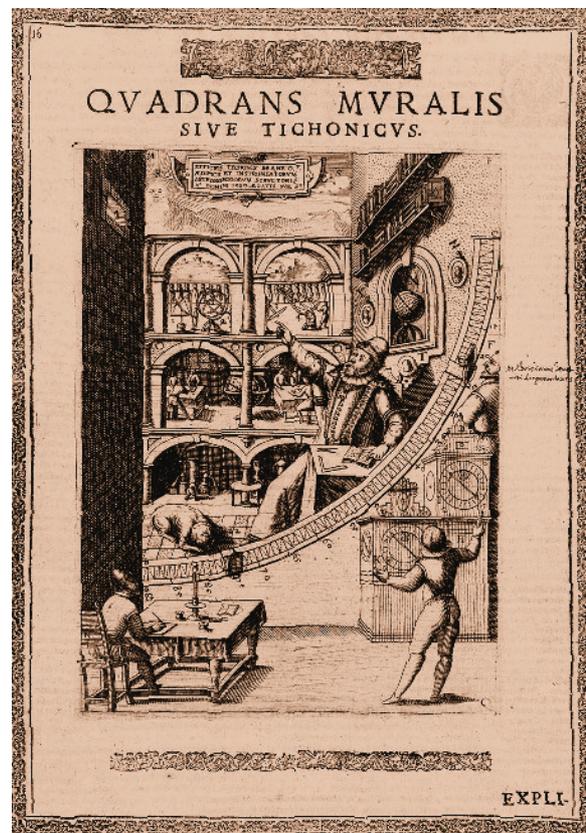
Aller dans « Recherche » :

Puis choisir l' « Auteur » Tycho Brahé, enfin sélectionner seulement « images ».

La réponse 2 est une planche d'images extraites de l'ouvrage : « Astronomiae Instauratae Mechanica » datant de 1602 (Nuremberg).

NB : les textes et illustrations de nombreux ouvrages originaux sont accessibles ainsi en ligne directe : Galilée, Newton...etc....

Au XVIème siècle, en particulier, aucune lunette ou télescope n'existait ; et pourtant de prodigieux observateurs comme Tycho Brahé (Danois, 1546-1601) suivaient le mouvement des plus brillantes comètes sur les cartes célestes à l'aide de « quarts de cercle » et autres instruments de mesure angulaire. Tycho travaillait avec l'étonnante précision d'une minute d'arc soit environ $1/30^{\text{ème}}$ du diamètre apparent de la lune (ou une pièce de 1€



Grand quadrant mural de Tycho à Uraniborg, Île de Huene au Danemark.

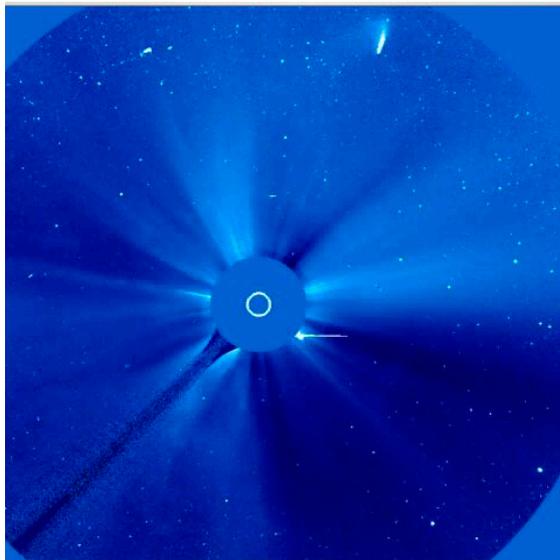
Ah ! si Tycho avait vu cela !

Pouvons-nous observer ces comètes pendant une séance de cours, avec nos élèves ? Bien sûr, Internet sera notre « porte des étoiles ».

Essayons :

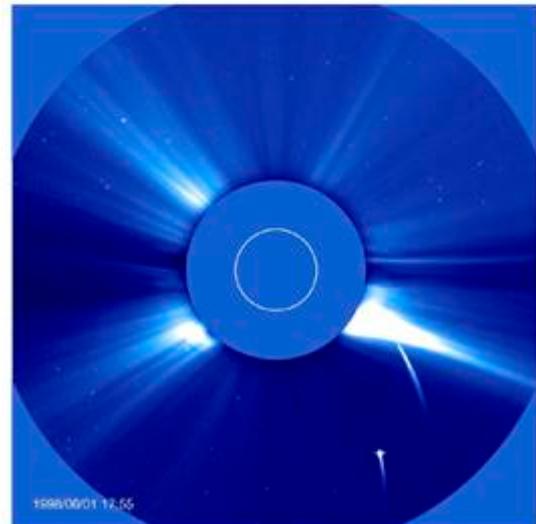
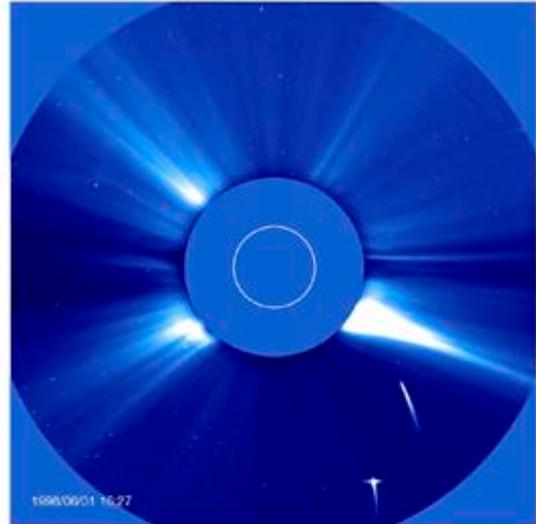
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/bestofsoho/Movies/movies2.html>

Sélectionnons « comets » et commençons par "exclusive views of comet P96/Machholz swinging past the sun", en aspirant le film à 2 Mo par exemple. Un spectacle fabuleux se déroule sous nos yeux : celui d'une comète qui file et "enroule" sa trajectoire autour du soleil occulté par un disque noir.



Le limbe solaire apparaît surligné d'un cercle blanc. Admirons l'évolution de la queue cométaire durant ce court ballet spatial. Remarquons la planète Vénus passant proche du soleil (en perspective) et une belle éruption coronale.

Bien d'autres spectacles sont offerts comme celui de deux comètes passant auprès du soleil lors d'une course effrénée.



Passage simultané de deux comètes le 1^{er} juin 1998 près du soleil.

Images provenant du site de la sonde SOLar and Heliospheric Observatory de l'ESA/NASA :

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/bestofsoho/images/large/2comets.jpg>

Voir également le film :

*« two sun-grazing comets racing toward the sun. »
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/bestofsoho/Movies/movies2.html#comets>*

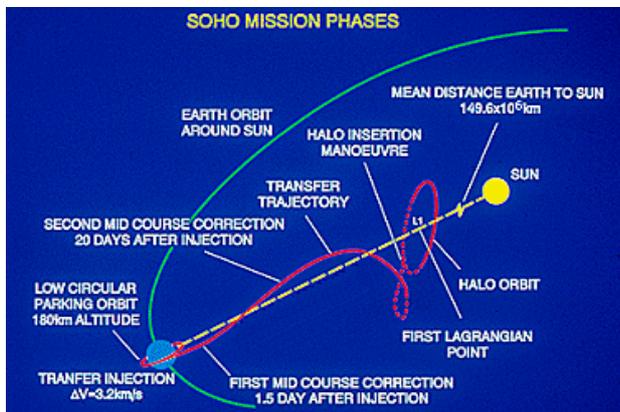
On observe le mouvement des deux objets en l'espace de 88 min. En supposant ces comètes proches du soleil, une échelle des distances parcourues est donnée par le diamètre du cercle solaire représenté en blanc : 1 390 000 km. Les vitesses apparentes ainsi estimées sont de l'ordre de 50 à 100 km.s⁻¹, relativement à l'observateur.

Nous avons une illustration concrète de l'incroyable outil d'exploration et de vulgarisation que constitue l'électronique embarquée à bord de la sonde associée à l'informatique et les réseaux Internet. De tels films accessibles à tous (le plus souvent en direct) étaient inimaginables il y a seulement 20 ans... Qu'en auraient pensé Tycho et les autres savants des siècles passés ?

L'extraordinaire sonde SOHO

Sa position - D'où proviennent ces images ? D'une sonde de l'ESA/NASA lancée le 2 décembre 1995 depuis Cap Canaveral par une fusée Atlas II, sonde prévue pour fonctionner jusqu'en décembre 2009 !

Elle orbite autour du point de Lagrange L_1 situé entre la Terre et le Soleil, là où forces de gravitation solaire, terrestre et force d'inertie d'entraînement s'annulent pour expliquer l'immobilité par rapport à l'axe Terre/Soleil d'un objet placé exactement en L_1 (en négligeant l'influence gravitationnelle lunaire). On rappelle que ce point correspond à un équilibre instable (dans le référentiel Soleil-Terre) et impose à la sonde une correction dynamique permanente permettant de rester à proximité de ce point [1], [2]. Elle se traduit par une orbite autour de L_1 .



On aperçoit le soleil (à droite) ; la Terre et la sonde SOHO orbitant autour de L_1 . Voir l'animation sur le site <http://orbits.esa.int/orbits/science/app/soho.htm>

Position de L_1 donnée par l'équation à notations évidentes :

$$\frac{GM_S}{(SL_1)^2} - \frac{GM_T}{(TL_1)^2} - [\Omega_{T/S}]^2 TL_1 = 0$$

donne $TL_1 \approx 1,5$ millions km

Sur les films téléchargés, on remarque le défilement apparent des étoiles par rapport au référentiel SOHO-soleil. Son origine principale provient de la

rotation de cet axe par rapport au référentiel héliocentrique galiléen appelé référentiel de Copernic (mouvement de la Terre autour du Soleil). Le mouvement de la sonde autour de L_1 n'ayant qu'une influence beaucoup plus faible. En observant les films des jets coronaux, comme <http://sohowww.nascom.nasa.gov/bestofsoho/Movies/movies2.html#flares> , correspondant à un laps de temps de quelques semaines, on observe en direct la marche apparente du Soleil sur un chemin proche de l'écliptique.

Ses instruments - Le site :

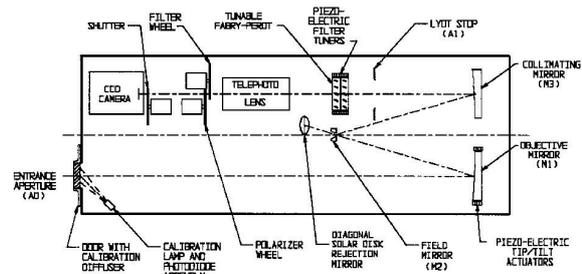
<http://sci.esa.int/science-e/www/object/index.cfm?objectid=33379>

nous donne une vue d'ensemble des 12 instruments embarqués dans cette sonde de 1850 kg. Les images cométaires proviennent du coronographe LASCOS (Large Angle and Spectrometric Coronagraph).

Sur le lien

http://lasco-www.nrl.navy.mil/index.php?p=content/handbook/hndbk_4 ,

il nous est précisé que celui-ci est subdivisé en trois sous-instruments (C1, C2 et C3) permettant d'observer de 1,1 à 32 rayons solaires du centre du Soleil ; le disque de ce dernier étant occulté, la lumière solaire directe ne parvient pas sur le détecteur. Il est possible d'observer des astres peu lumineux ou des phénomènes ténus (couronne solaire) autour du disque solaire.



lasco-www.nrl.navy.mil/content/handbook/images/fig4-1.gif
LASCO C1 (ESA-NASA)

L'ouverture d'entrée AO (4,7cm de diamètre) permet à l'énergie solaire de venir frapper (M1) qui forme l'image du soleil et de la couronne sur le « field mirror » (M2). Celui-ci est percé en son centre afin que l'image du disque solaire ne soit pas réfléchi ; seul le champ périphérique donne une image par le biais de (M3) sur la caméra CCD via un filtrage interférométrique. L'ouverture d'entrée AO (4,7cm de diamètre) permet à l'énergie solaire

de venir frapper (M1) qui forme l'image du Soleil et de la couronne sur le « field mirror » (M2), celui-ci est percé en son centre afin que l'image du disque solaire ne soit pas réfléchié ; seul le champ périphérique donne une image par le biais de (M3) sur la caméra CCD via un filtrage interférométrique.

C1, C2, C3 diffèrent par la largeur du champ observable, qui croît respectivement de 1,1 rayons solaires à 32 rayons solaires. La description de C1 montre un coronographe original, fonctionnant par réflexion; C2 et C3 sont au contraire des réfracteurs de conception presque identique au coronographe "classique" de Lyot (1887-1952). Revenons sur Terre et cherchons à interpréter les images vidéo transmises par cette sonde fantastique.

Le « cométoscope »

On se propose de réaliser un montage carton permettant de visualiser le mouvement réel en 3 dimensions de comètes observées par SOHO. Nous essaierons ainsi d'appréhender l'orientation spatiale de leurs trajectoires et leur mouvement réel.

À la découverte des coordonnées polaires

Utilisons une approche déjà imaginée par Newton (1642-1727) qui remarqua que les orbites cométaires s'écartent très peu d'une parabole dans leur partie proche du Soleil ; on parlerait en mathématiques de parabole osculatrice à la trajectoire au périhélie (point de passage au plus près du Soleil).

Proposons de tracer un arc de parabole sur papier à l'aide de coordonnées polaires. Pour cela découvrons et utilisons l'équation polaire d'une

$$\text{parabole } r = \frac{p}{1 + \cos \theta}$$

À l'aide d'un rapporteur et d'une règle traçons, sur un carton fort, l'arc pour θ compris entre -90° et $+90^\circ$. On fixera p à la valeur 10 cm.

theta (°)	-90	-70	-50	-30	-10	10	30	50	70	90
r (cm)	10,0	7,5	6,1	5,4	5,0	5,0	5,4	6,1	7,5	10,0

Découpons le carton en suivant le tracé, puis créons un espace vide ou « chemin » en décalant les deux parties du carton découpé que l'on relie par deux languettes collées (fig.1).

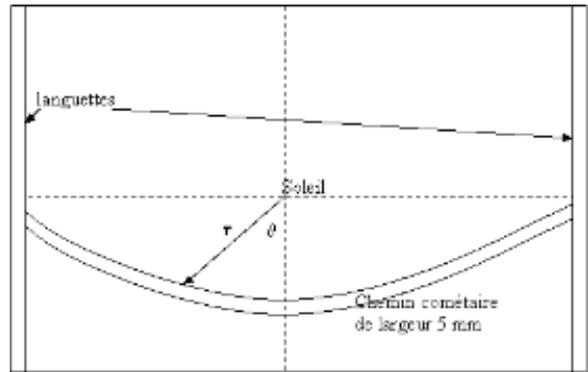


Figure 1 : carton rigide figurant le plan de la trajectoire cométaire ; dans lequel un chemin cométaire a été découpé.

Préparons deux languettes cartonnées de 13x3 cm, rainurées dans leur grand axe par une fente de 3mmx6cm. (fig. 2)

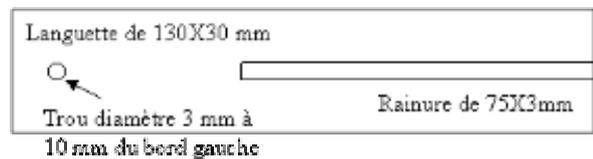


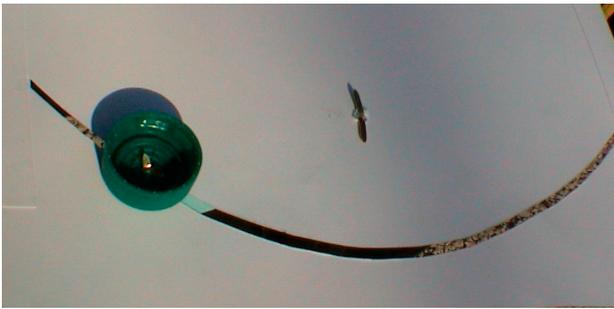
Figure 2 : 2 languettes identiques de carton semi-rigide figurant le rayon vecteur soleil-comète.

On assemble tête-bêche ces deux languettes, puis on place le trou de l'une au niveau du soleil du carton rigide, le trou de l'autre étant sur le chemin cométaire. Deux attaches parisiennes placées au niveau des trous permettent d'articuler l'ensemble des trois cartons : l'une figure le Soleil, l'autre le noyau cométaire.

La version définitive (voir photo ci-dessous) comporte un bouchon de bouteille plastique, placé sous le carton, solidaire de l'attache-tête de comète- qui devient ainsi aisément manipulable. Un disque de carton placé juste sous l'attache-soleil-fait office de rondelle de maintien des languettes.



Cométoscope vue de dessus

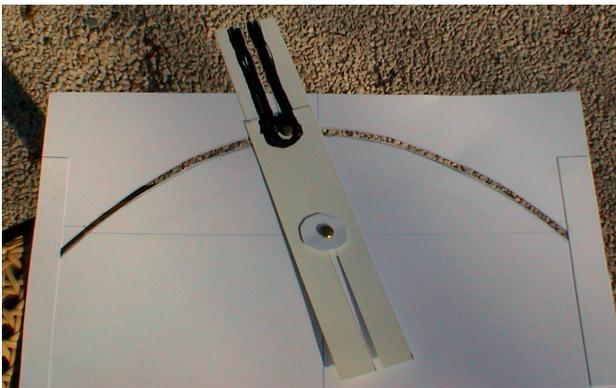


Vue de dessous

Nous sommes maintenant fin prêts pour comprendre les observations des mouvements cométaires.

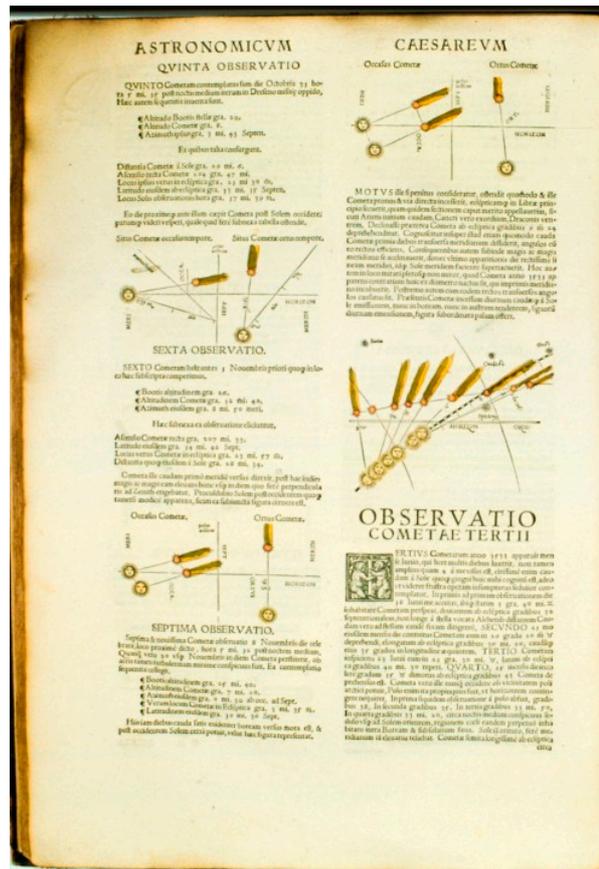
Hommage à Apian

Représentons la comète sur notre « cométoscope » : un coup de crayon noir autour de l'attache sur la surface de la languette supérieure figure la tête. Deux longs filets de crayon noir le long de la rainure inférieure (placée sur le carton-plan orbital) représentent la queue.



Déplaçons la tête, et remarquons l'évolution de la queue qui s'agrandit à mesure que la comète s'approche du périhélie tout en restant à l'opposé du soleil par rapport au noyau.

Nous venons de modéliser la vieille découverte de Apian (1495-1552) sur le développement et le mouvement de la queue de la grande comète de 1531 (appelée comète de Halley par la suite). La queue peut donc précéder la comète dans son mouvement.



Voir en bas les positions successives du soleil et de la grande comète de 1531

Image provenant du site de la bibliothèque de France : <http://gallica.bnf.fr>

Aller dans « Recherche »:

Puis choisir l' « Auteur » Apianus, enfin sélectionner 6 « illustrations de Astronomicum Caesarum 1540 ». Image 61/67

Quelques applications

Revenons aux observations de SOHO. Visionnons à nouveau le film du passage de la comète Machholz (cf. §I). À l'aide du « cométoscope » proposons une orientation du plan orbital et de l'axe Soleil/Périhélie pour modéliser l'observation filmée : le plan orbital est-il perpendiculaire à la direction observateur (SOHO) – Soleil ? La trajectoire passe-t-elle entre l'observateur et le Soleil ou au-delà du Soleil ? Peut-on rendre compte du retournement de la queue ? D'autres mouvements de comètes peuvent ainsi être visualisés en 3 dimensions.

Remarquons que le modèle d'une queue orientée exactement à l'opposé du Soleil apparaît comme extrêmement simplificateur.

Forme de la queue de poussières

De plus, l'observation attentive de la queue conduit à remarquer la présence de deux composantes inégales constituées respectivement de plasma ou de poussières.



<http://sohowww.nascom.nasa.gov/bestofsoho/Movies/movies2.html#comets>

Comète Hyakutake le 30/4/96 observée à l'aide de C3 : une fine queue de plasma se détache sur la droite de la partie plus large, dite queue de poussières. On constate que la queue de plasma est plus proche de l'axe soleil-noyau que l'autre.

Intéressons-nous à la queue de poussières, la plus déviée par rapport au rayon vecteur Soleil-comète. La théorie de Bredikhin [3] postule qu'une particule de poussière de taille micrométrique est soumise à l'attraction solaire et à une force répulsive de pression de radiation.

Une fois éjectée du noyau cométaire à la vitesse V_0 , de direction opposée au Soleil, la particule peut avoir un mouvement parabolique ou hyperbolique dans le référentiel de Copernic.

Traçons une ligne d'émission particulière (ou syndyname) sur un papier, à partir d'un mouvement typique de particules toutes éjectées à la même vitesse. Traçons à main levée sur un *papier calque* une allure de trajectoire de particule de poussières (fig. 3) associée à des *positions successives de la particule* au cours du temps. Par souci de simplification, ce mouvement est supposé commun aux particules émises, à un décalage spatial près, lié à la position du point d'émission, c'est-à-dire de la tête cométaire (référentiel de Copernic).

Sur un *papier* traçons une allure de trajectoire cométaire avec des *positions successives de la tête* indicées de (A) à (E). (Référentiel de Copernic). À l'instant t_E où la comète est en (E), une particule est émise ; une autre, émise précédemment lorsque la comète était en (D) est arrivée en (d) à cet instant t_E ; une autre encore, éjectée alors que la comète passait en (C) atteint (d) à ce même instant. Etc....

La courbe reliant les positions des poussières à t_E constitue cette ligne d'émission.

On peut s'intéresser à l'influence du rapport entre vitesse cométaire et vitesse particulière sur la forme de la queue.

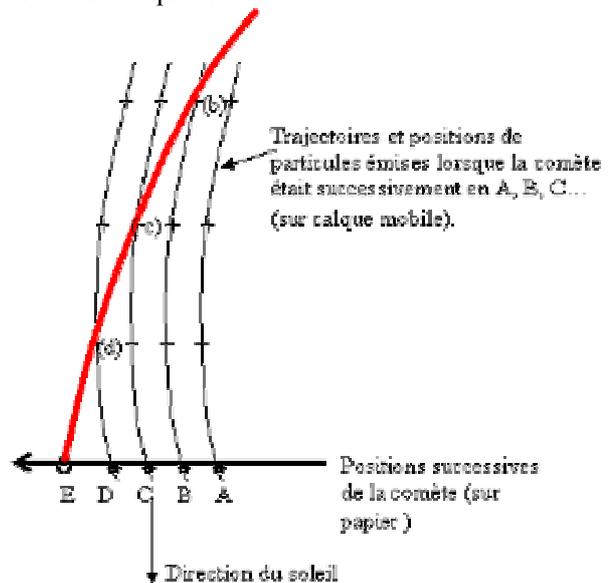


Figure 3 : tracé d'une syndyname par translation successive du calque mobile représentant la trajectoire d'une particule et pointage des positions particulières.

Nous interprétons de cette manière la courbure des chevelures cométaires observées.

Revenons au ballet des comètes. Internet va une fois de plus nous permettre d'améliorer notre compréhension de ces mouvements.

Du carton au logiciel de la NASA Les "Near Earth Objects"

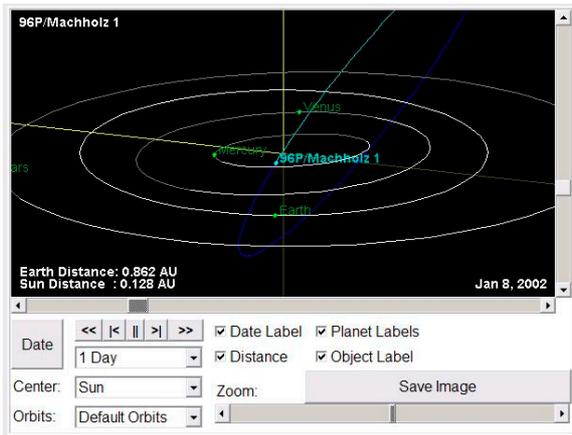
La Nasa a mis sur pied un programme de surveillance des objets susceptibles de se rapprocher dangereusement de la Terre, voire de percuter celle-ci. Dans ce cadre (« Near Earth Objects ») elle a ouvert un site internet permettant de visualiser en 3 dimensions les orbites de ces objets, dont les comètes périodiques : <http://neo.jpl.nasa.gov/>. Choisir « orbit diagrams ».

Quelques exemples de manipulations

Dans le cadre bleu « object number, designation or name », introduisons les noms des comètes dont on veut visualiser la trajectoire.

Commençons par la comète Machholz, écrivons dans le cadre: 96 P

un diagramme 3D s'affiche. Puis à l'aide de « date », indiquons celle du film provenant de SOHO, soit le 7/1/2002.



<http://neo.jpl.nasa.gov/>

La modélisation « 3D » du système solaire et des orbites d'astéroïdes ou de comètes (comme 96 P Machholz) telle qu'elle apparaît sur le site NEO de la NASA.

En combinant l'utilisation du cométopscope et de ce logiciel, on peut reconstituer dans l'espace le passage de cette comète. On aura pris soin de maintenir l'axe Terre-Soleil dans une direction perpendiculaire à l'écran.

Hommage à Kepler, Newton et Halley

On peut développer plusieurs études à partir de ce logiciel, en injectant différentes comètes : Halley, Mac Naught ou 2006 P1, Hyakutake ou C1996 B2, 2P/Encke...

On peut également retrouver les lois de Képler, en particulier le rapport période T et demi grand axe a . En accélérant le mouvement, on mesure T , l'intervalle de temps entre deux passages successifs au périhélie, et on obtient $a = (r_{\max} + r_{\min})/2$. On montre que :

$$\frac{T^2}{a^3} = cste$$

Puis à l'aide de la loi de Newton, on mesure la masse du Soleil... On pourra s'inspirer d'un article antérieur sur les satellites artificiels [5].

De même, le schéma ci-dessous (fig.4) présentant les caractéristiques d'une orbite cométaire prend tout son sens après cette approche « expérimentale ».

Remarquons que l'axe Terre-Soleil tourne dans le plan de l'écliptique par rapport à la direction du point vernal γ . Il n'y a coïncidence qu'à l'équinoxe de printemps.

N : nœud ascendant (la comète passe de l'hémisphère sud écliptique à l'hémisphère nord)

P : périhélie

T , période.

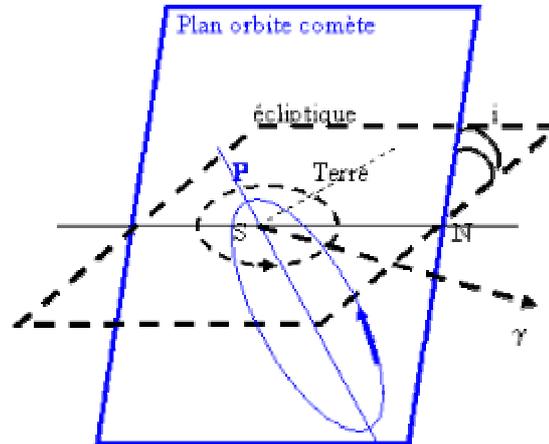
$\omega = \widehat{N\hat{S}P}$, argument de latitude du périhélie.

$\Omega = \widehat{\gamma\hat{S}N}$, longitude du nœud ascendant.

i , inclinaison du plan de l'orbite sur l'écliptique.

$q = SP$, distance au périhélie.

e , excentricité.



http://neo.jpl.nasa.gov/cgi-bin/neo_elem?type=NEC

Figure 4 : Élément d'orbites de comètes périodiques.

NASA, fais-moi peur !

Afin de terminer ce voyage sur une impression forte, repartons sur le portail « orbit diagrams ». Introduisons « Apollo », choisissons la date du 8 mai 2007... Mais il y a plus dangereux, à vous de chercher !

Jouer avec « Adonis » vous détendra en pensant à Tintin et Milou.

Merci à la NASA, l'ESA et la Bibliothèque Nationale de France.

Bibliographie :

- [1] Éléments d'astronomie fondamentale par M. Danloux-Dumesnils, p 280-283, chez A. Blanchard, 1985.
- [2] Texte concours d'entrée aux Mines d'Albi 98; bulletin concours 1998 p 523, UPS.
- [3] Les comètes par Jean Dufay, col. « Que sais-je ? », p 86-91, PUF 1966.
- [4] Astronomicum caesarum par Apianus, Ingolstadt, in folio, 1540. voir site BNF
- [5] Le TP NASA par P. Le Fur, bull. Un. Prof. Phys. Chim., octobre 2003, vol 97, n°857 (1), p 1341-1348.

■

Astronomie en maternelle

Introduction : Dans le précédent Cahier Clairaut (CC119, p4) nous avons republié un article ancien, en y apportant toutefois quelques modifications, fruit de l'expérience d'un des auteurs (EW). Cet article a suscité des commentaires qui serviront utilement aux lecteurs intéressés par le sujet. Le niveau trop élevé pour une classe de maternelle est dénoncé. C'est certainement vrai, même si l'article s'adresse aux professeurs des écoles et non aux enfants eux-mêmes. Nous vous livrons donc ces commentaires qui nous aideront à améliorer les futurs articles dédiés aux tout petits.

Commentaire de Liliane Vilas

Je viens apporter quelques contradictions à l'article sur « Astronomie en maternelle » du CC n° 119 où les notions suivantes sont abordées :

- Jour et nuit avec maquettes en vision héliocentrique
- Étude encyclopédique des planètes
- Étude trajectoire elliptique des planètes
- Notion de gravitation.

Toutes ces notions sont abordées de manière beaucoup trop ambitieuse pour des enfants âgés de moins de 6 ans. Il ne suffit pas de faire des expériences avec des lampes et des boules pour comprendre par exemple le jour et la nuit. N'oublions pas, avant toute chose, qu'un enfant de maternelle est *égocentrique*.



Il est le centre de l'univers : la Terre est plate (on le voit bien) on y marche dessus bien droit. Le Soleil tourne autour de lui (c'est évident). On peut regarder les planètes avec un instrument, certes, observer le mouvement des astres. Mais quelle aberration de parler de mouvement *elliptique* des planètes !

Quand on songe que dans des classes bien supérieures, il est conseillé (et l'approximation est très bonne) de ne parler que de cercle. Si l'on trace l'orbite au tableau avec une craie, [l'effet de] l'excentricité de l'ellipse est de l'ordre de l'épaisseur du trait de craie.

Le monde, donc, pour un enfant, est géocentrique et les observations répétées des mouvements des astres par rapport aux repères locaux (la Lune au-dessus du menhir de Fritz par exemple) vont enrichir le vécu de l'enfant dans un 1^{er} temps.

Si on affirme, par exemple, à un jeune enfant que la Terre est sphérique et si on lui demande de dessiner la Terre, il se dessinera sur une terre plate et la Terre sphérique flottera dans le ciel¹. Oh ! l'enfant n'est pas contrariant. Il dira : « la Terre est sphérique » et tout le monde sera content !

Un stade de maturation de pensée ne se franchit pas avec une affirmation et une « expérience ». La description des ces pseudo-expériences est de la « poudre aux yeux ». Je dirais même de l'escroquerie intellectuelle.

Si certains lecteurs trouvent que j'exagère, je leur conseille de relire, grâce à l'excellent DVD « les archives du CLEA » l'article de Mireille Hibon intitulé « Voir des choses dans le ciel » paru dans le n° 47 des CC à l'automne 89 . Pour cette fois nous avons échappé à la vérification des lois de Kepler en maternelle avec des portions de gâteau elliptique !

Je prie les lecteurs des CC de m'excuser pour ma violence épistolaire. Je ne peux pas supporter des présentations « pédagogiques » dangereuses pour les enfants, attirantes pour les parents flattés d'avoir des génies.

On peut enthousiasmer et éveiller les enfants en tenant compte de leur réel niveau de développement intellectuel.

Je connais beaucoup de parents de génies, mais bien peu de génies ! Rubinstein (?)

¹ Voir ci-dessous : "La mauvaise pédagogie d'un grand-père" - NDIR



Au dernier moment nous avons décidé d'annuler la publication de commentaires qui pouvaient être blessants. Nous ne pouvons pas les publier sans donner un droit de réponse aux auteurs.

Je veux insister encore sur ma responsabilité d'éditeur. Cet article a été demandé à Emilie pour combler un vide de publication à l'adresse des maternelles. Nous devons inciter les lecteurs à écrire pour parler de leurs expériences et nous devons aussi les protéger. En effet, qui osera encore publier s'il se fait "assassiner", sans pouvoir se justifier. Si vous aimez écrire, rédiger des articles ; ils seront les bienvenus.

J'ai relu l'article en question. Il reprenait, à notre demande, les grandes lignes d'un article ancien. Peut-être comportait-il des maladrotes de vocabulaire et de niveau, mais il ne faut pas oublier que le texte devait être lu par les maîtres, pas par les enfants de maternelle ! Le professeur pouvait, et devait, adapter, le vocabulaire à son auditoire, voire, supprimer ce qu'il jugeait trop difficile.

Le mot "ellipse" est employé. Est-ce si grave que ça, docteur ? Pour un enfant un mot ou un autre ne fait pas beaucoup de différence. Juliette, 3 ans, me parle de lynx. Fallait-il dire un chat ? Personnellement, je préfère le mot juste. Nous pourrions inventer un mot enfantin. Nous dirions par exemple une "lilipse", comme on dit un "toutou". Je vais le proposer à l'inspecteur !

Je plaisante sur un sujet sérieux. Mais c'est pour mieux dire que les enfants, je crois, fonctionnent par mimétisme. Si on leur dit le mot précis, ils l'utiliseront. Si de plus ils tracent l'ellipse avec une ficelle et deux clous (ce qui est à leur portée), toute leur vie, ils sauront ce qu'est une vraie ellipse.

La mauvaise pédagogie d'un grand-père...

J'ai voulu tester ma pédagogie sur mes petits-enfants. Je leur ai expliqué que la Terre était une boule qui tournait autour du Soleil, etc., etc.. Pour me montrer qu'il avait compris, Quentin, 4 ans, a dessiné un château, avec dans le ciel, le Soleil et... la Terre. Grosse déception du grand-père, qui découvre combien il est difficile de parler aux petits !

Si vous avez des compétences en pédagogie infantile, écrivez dans les Cahiers Clairaut.

GP



©Quentin2007

RÉALISATION

Questions d'enfants : Pourquoi le ciel est-il bleu ? Pourquoi le Soleil qui se couche est-il rouge ?

G. Paturel, sur une idée de Jean Ripert et Francine Billard

La lumière qui vient du Soleil est faite de plusieurs couleurs. On peut le voir quand il y a un arc-en-ciel car ces couleurs se séparent.

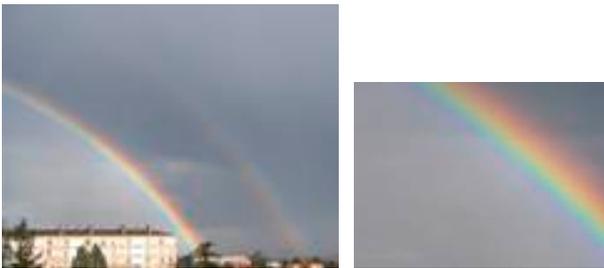


Figure 1: La lumière du Soleil est faite de toutes les couleurs.

Les couleurs que nous voyons sont : **Violet-Indigo-Bleu-Vert-Jaune-Orangé-Rouge** (VIBVJOR). Si nous dessinons sur un disque en carton des secteurs peints avec ces couleurs et que nous le faisons tourner très vite, le mélange redonne la couleur blanche (ou presque).

La version électrique est très spectaculaire :

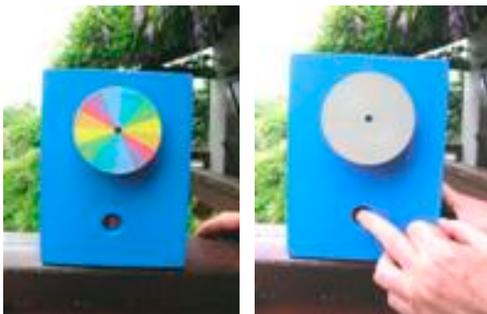


Figure 3: Mélangées, les couleurs donnent du blanc

Quand la lumière du Soleil traverse l'air qui entoure la Terre, la couleur bleue a du mal à passer. Elle repart dans toutes les directions. Le ciel apparaît donc bleu. En revanche, le Soleil vu à travers l'air a moins de bleu. Il apparaît un peu plus rouge. Ceci est particulièrement visible au moment d'un coucher de Soleil.



Figure 4 : Le Soleil qui se couche devient plus rouge

On peut faire une petite expérience pour simuler la lumière qui traverse l'air, avec une lampe de poche, un peu d'eau et de lait.

Une goutte de lait dans l'eau empêche un peu la lumière bleue de passer à travers l'eau. Le bleu repart dans toutes les directions. Le flacon s'éclaire en bleu (Figure 5b). La lumière vue à travers le flacon est plus rouge (Figure 5c). Si on regarde la lumière à travers la grande largeur du flacon, la lampe apparaît très rouge, plus que le Soleil couchant (Figure 5d).

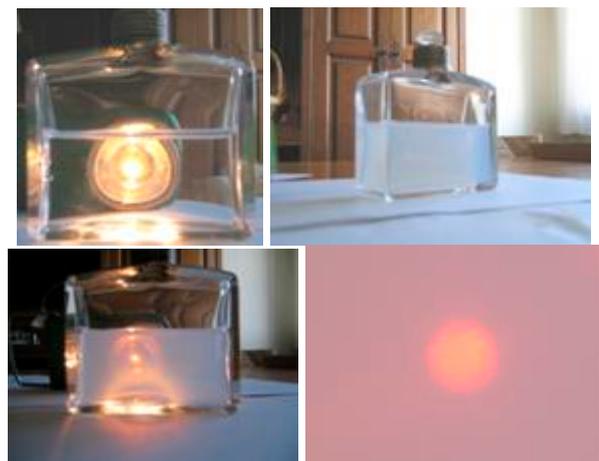


Figure 5 : L'eau, avec quelques gouttes de lait, se comporte comme l'air autour de la Terre.

GP

deux récepteurs pratiquement identiques, l'un recevant une partie du faisceau émis (récepteur de référence) et l'autre recevant le faisceau retardé, réfléchi sur un miroir de renvoi situé à la distance L . Les deux tensions électriques à la sortie des détecteurs (deux sinusoides fonction du temps si la diode laser est modulée sinusoidalement) sont décalées dans le temps de la quantité $\Delta t = 2L/c$ et sont appliquées à l'entrée d'un multiplieur analogique qui fournit, en sortie, une tension proportionnelle à leur produit.

Soit $A \cos(2\pi f t)$ la tension issue du détecteur 1 et $B \cos[2\pi f(t-2L/c)]$ la tension issue du détecteur 2. On obtient alors, en sortie du multiplieur, une tension $V = AB \cos(2\pi f t) \cos[2\pi f(t-2L/c)]$, soit :
 $V = C \cos(4\pi f L/c) + C \cos(4\pi f t - 4\pi f L/c)$ qui est la somme d'une tension ne dépendant pas du temps : $C \cos(4\pi f L/c)$, (mais bien du retard $2L/c$) et d'une tension à la fréquence $2f$ éliminée par un simple filtre RC. La tension continue $V_L(f) = C \cos(4\pi f L/c)$ s'annule pour $4\pi f L/c = \pi/2 + k\pi$ $k \in \mathbb{N}$ soit $f = f_k = (2k+1)c/8L$ c'est-à-dire pour un décalage égal à $\pm 1/4$ de période (modulo 1 période). Les deux signaux sont alors en quadrature. On en déduit :

$$c = 8L f_k / (2k+1)$$

Cette formule est identique à celle utilisée dans l'expérience de Fizeau pour une roue qui n'aurait que 2 dents.

L'avantage de la manipulation moderne est que tout est statique : pas de moteur qui vibre et qui s'use. La fréquence f_k peut atteindre quelques 10^7 Hz avec une très bonne stabilité. C'est le multiplieur qui fournit, en fait, l'information contenant la valeur de 'c' : le cosinus de la différence de phase entre les deux récepteurs. Pour s'affranchir des déphasages parasites ϕ_1 et ϕ_2 introduits par les récepteurs, on a pris soin d'utiliser deux récepteurs les plus voisins possibles : $\phi_1 \cong \phi_2$, et on fait deux mesures $V_L(f)$ et $V'_L(f)$ en intervertissant les deux récepteurs. On fait également une mesure de V_0 obtenue en plaçant les deux récepteurs à la même distance de la source ($L=0$). Le rapport $R = (V_L(f) + V'_L(f))/2V_0$ ne dépend plus, ni des déphasages résiduels introduits par les récepteurs, ni de la variation de leur gain en fonction de la fréquence, comme un calcul simple permet de s'en rendre compte, à condition de normaliser ces trois tensions par leurs valeurs à très basse fréquence où le déphasage peut être considéré comme nul. On a alors simplement : $R = \cos(4\pi f L/c)$. Si les deux récepteurs sont suffisamment voisins, V_L/V_0 fournit une assez bonne approximation de $\cos(4\pi f L/c)$.

Notons que si l'on dispose d'un générateur dont la fréquence n'est pas connue précisément, on peut toujours mesurer cette fréquence avec un fréquencemètre (par exemple le modèle PFM 1300 de TTI coûte environ 150 € chez Radiospares [2] et a une précision de $2 \cdot 10^{-6}$ en valeur relative).

La tension continue $V(f)$ est mesurée grâce à un multimètre numérique ordinaire.

Ce procédé de mesure s'apparente à une détection synchrone, très utilisée en électronique pour détecter de faibles signaux.

Remarques importantes :

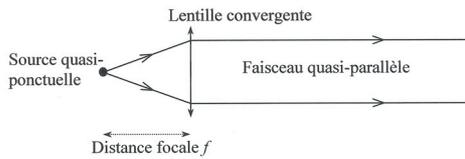
- Dans la manipulation actuelle, comme dans celle de Fizeau, on **n'a pas besoin** de connaître l'amplitude des signaux lumineux (A, B, C , dans les formules précédentes, ou le gain des amplificateurs utilisés) parce que ce sont des "**méthodes de zéro**" : on mesure une grandeur (ici une fréquence) pour laquelle une autre grandeur **s'annule** (ici la tension $V(f)$ ou la quantité de lumière détectée) quelle que soit la quantité de lumière incidente et quel que soit le gain utilisé. Les méthodes de zéro sont très précises et sont largement utilisées dans tous les domaines de la Physique (méthode de la double pesée, pont de Wheatstone, etc...).

- Dans tout montage électronique, il existe des fluctuations aléatoires des tensions mises en jeu. Les électroniciens appellent ce phénomène : "bruit". On l'entend, par exemple, dans les baffles d'une chaîne audio, quand on n'a pas mis de CD (ou de cassette), et qu'on augmente le volume. Il existe diverses techniques pour le réduire mais on ne peut pas l'éliminer complètement. Les fluctuations ultimes sont dues au mouvement Brownien des électrons dans les résistances électriques. Ces fluctuations empêchent d'apprécier précisément quand s'annule une tension donnée.

Partie optique

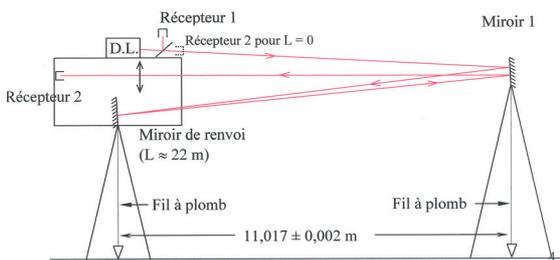
Tout faisceau lumineux (aussi bien celui d'une lampe de poche que celui d'un laser), a tendance à s'étaler naturellement : les opticiens disent qu'il "diverge". S'étalant sur une surface de plus en plus grande au cours de sa propagation, la fraction recueillie sur un détecteur de surface donnée s'amenuise d'autant et le signal électrique correspondant peut devenir plus petit que le bruit, auquel cas, on ne peut plus rien mesurer. Il faut donc minimiser la divergence surtout si le faisceau doit se propager sur une longue distance comme dans l'expérience de Fizeau où il se propageait sur plus de 17 km ! Pour ce faire, il faut utiliser une source lumineuse la plus ponctuelle possible (un

laser est une très bonne source de ce point de vue) et la placer au foyer d'une lentille convergente de bonne qualité :



Dans son montage, Fizeau utilisait deux lentilles supplémentaires pour focaliser le faisceau lumineux entre deux dents de la roue dentée, lentilles que nous n'utilisons pas ici.

Le schéma de notre montage pratique est le suivant :

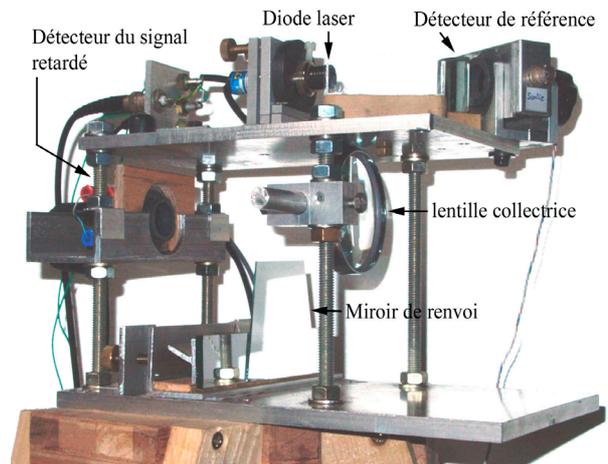


Le trajet de la lumière est replié en 2 grâce au miroir M1. Les deux miroirs sont réfléchissants sur la face avant (récupération sur une vieille photocopieuse). Les 2 fils à plomb, à la verticale des miroirs, permettent de mesurer la distance L précisément avec un mètre à ruban. Entre les deux fils à plomb, est tendu un fil sur le sol, pour mesurer la distance 'en ligne droite'. Au vu de la photo suivante, on estime apprécier la position de l'extrémité du fil à plomb à mieux que le millimètre près.

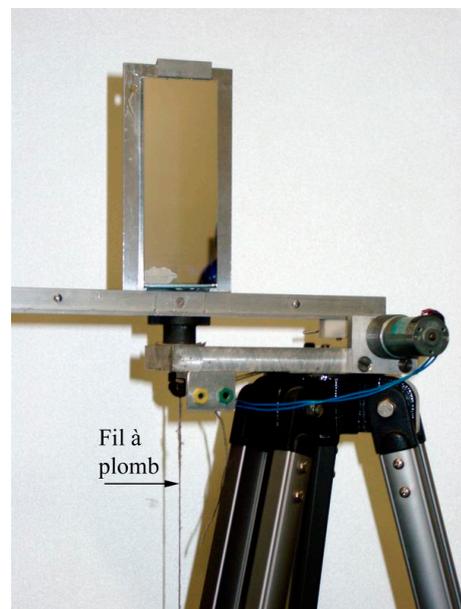
On a estimé précisément (avec un réglet millimétrique) les diverses distances entrant en jeu dans le calcul de la distance L et tenu compte de l'épaisseur de la lentille collectrice (8 mm d'indice 1,5). Nous avons aussi pris la précaution d'utiliser des câbles de longueur identique entre chacun des récepteurs et l'entrée du multiplieur.



Fil à plomb au dessus d'une feuille de papier millimétré

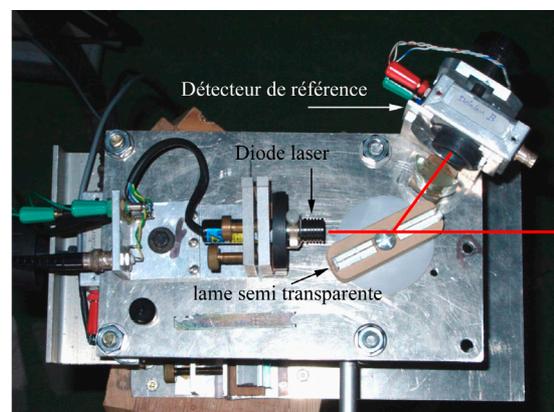


Montage vu de côté

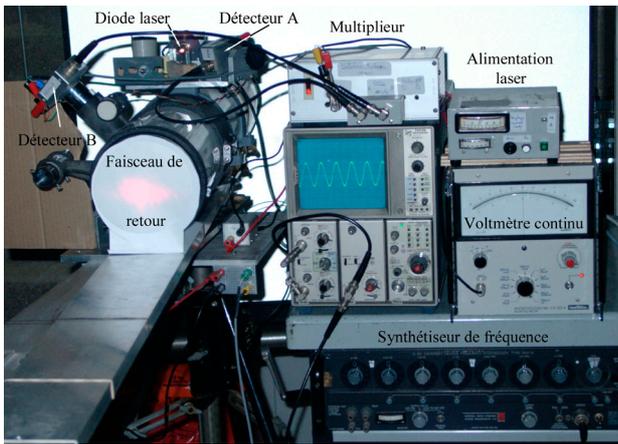


Miroir M1

L'axe vertical du miroir M1 est motorisé ce qui permet de l'orienter depuis la station de mesure.



Montage vu de dessus

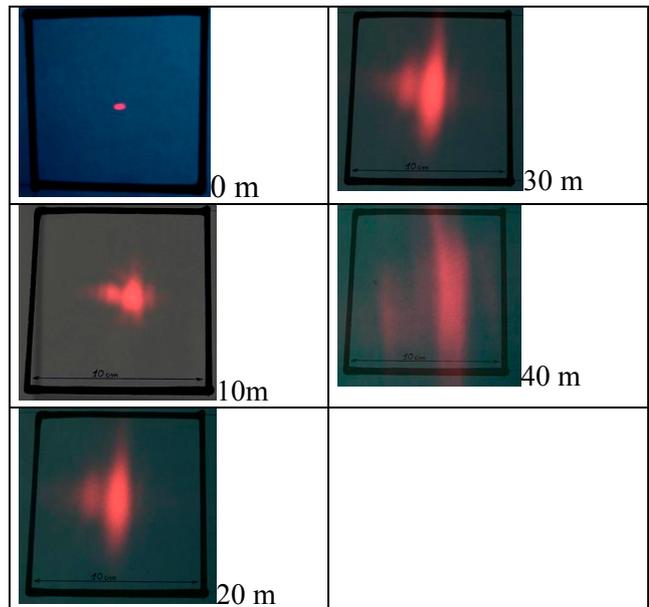


Photographie de l'appareillage - À l'époque, le montage utilisait un télescope (à la place de la lentille collectrice) devant lequel on avait placé un papier blanc pour visualiser le faisceau de retour pour la photo.

Mode opératoire

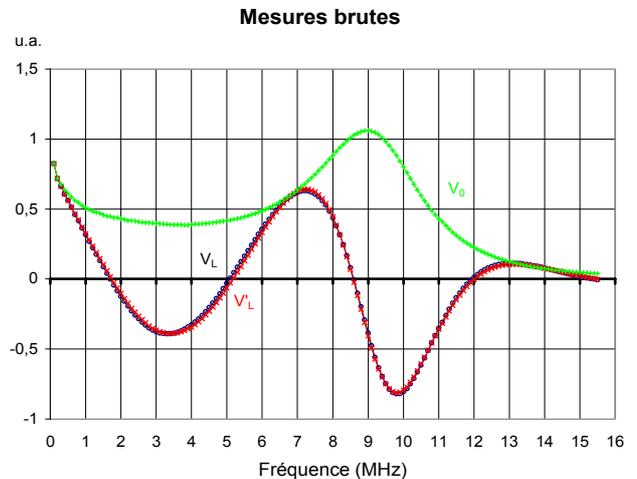
Le montage a beaucoup évolué depuis le début : nous avons d'abord utilisé des diodes électroluminescentes (moins chères) mais nous n'avons pas réussi à faire un faisceau suffisamment parallèle. Les premières diodes laser ne se sont pas révélées très fiables, le courant de seuil augmentant lentement au cours du temps, jusqu'à ce qu'elles n'émettent plus du tout. La divergence était très forte et nous avons dû utiliser un petit télescope ($\phi 114$ mm) pour collecter la lumière réfléchi. Nous avons alors utilisé une diode laser Beta TX de la société Global Laser beaucoup plus fiable, achetée chez Radiospares et garantie pour 30 000 h de fonctionnement ! De plus, elle comporte une optique de collimation réglable et est modulable jusqu'à 50 MHz. L'inconvénient était que le prix était multiplié par un peu plus de 10... Nous avons alors pu remplacer le télescope par une simple loupe de bureau ($\phi 8$ cm) pour minimiser l'encombrement. Bien que cette diode laser soit affectée d'un astigmatisme important (et d'un faisceau elliptique), nous avons réussi à obtenir une tache de l'ordre de 8cm de diamètre à 40 m de distance. On peut voir le profil du faisceau sur les photos ci-contre.

Chaque image fait environ 10 cm x 10 cm. La forme elliptique de la tache est affectée par la lame semi-transparente qui sert à diviser le faisceau en 2, qui est une simple lame de microscope, réfléchissant partiellement le faisceau sur chacune de ses faces (avec des interférences en certains endroits). Une face traitée antireflet ou un cube séparateur de faisceau aurait amélioré la qualité de la tache.

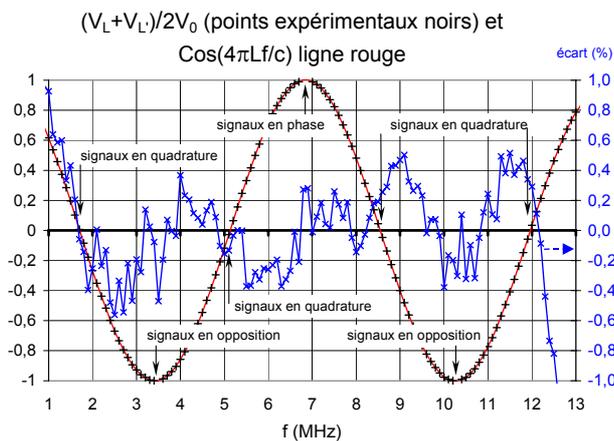


La dernière image du faisceau est légèrement tronquée latéralement par le miroir M1 trop étroit.

Nous ne nous sommes pas contentés de rechercher la fréquence f_k qui annulait la tension de sortie du multiplieur, mais nous avons mesuré les tensions V_L , V'_L et V_0 pour un grand nombre de fréquences (typiquement de 0,1 à 15 MHz par pas de 0,1 MHz). Les mesures brutes sont reportées sur le graphe suivant :



Nous avons ensuite tracé la courbe $(V_L(f)+V'_L(f))/2V_0$ en fonction de f . Une sinusoïde a été ajustée à ces points expérimentaux par la méthode des moindres carrés à l'aide de notre tableur préféré (grâce à la fonction 'Solveur'), ce qui nous a fourni une valeur précise de $2L/c$. L'écart quadratique moyen entre les points expérimentaux et la sinusoïde est de 0,26 %. Sur le graphe suivant, on a reporté les points expérimentaux, la $(\cos)\sinusoïde$ $\cos(4\pi Lf/c)$ et l'écart entre les 2, dilaté 100 fois et se rapportant à l'échelle de droite.

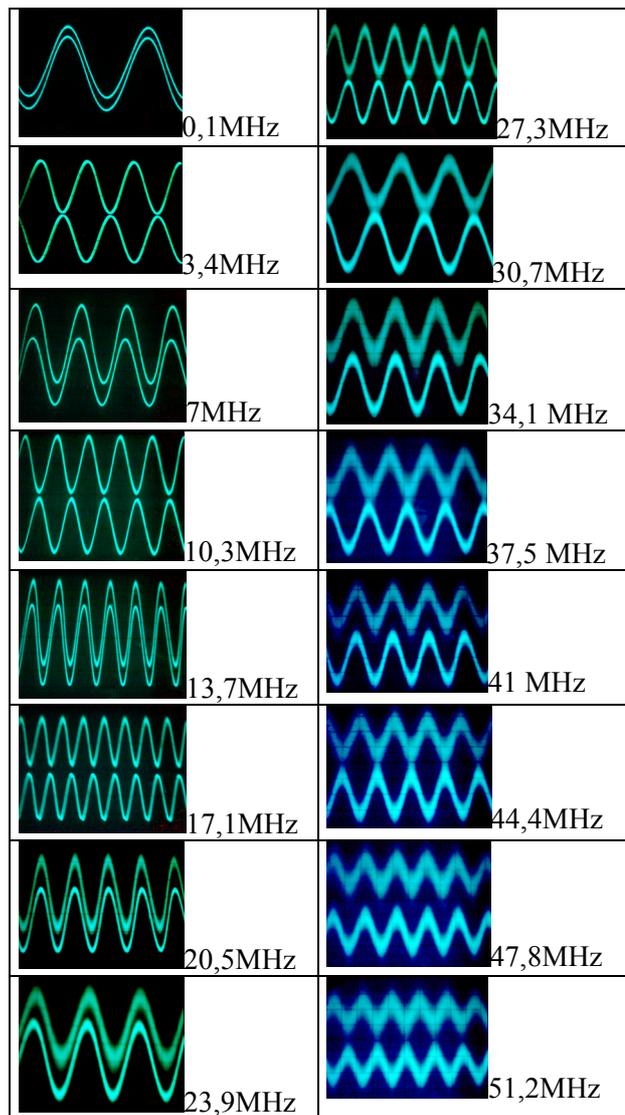


En dessous de 1 MHz et au dessus de 12 MHz les écarts deviennent plus importants : en basse fréquence, cela est sans doute dû au fait que le retard (environ 140 ns) devient négligeable devant la période du signal, et en haute fréquence, c'est plus sûrement la faiblesse des signaux qui rend le bruit prépondérant (la bande passante des récepteurs est de 12 MHz) Un moment fort et riche en commentaires a été l'observation des signaux, direct et retardé, à l'oscilloscope. Nous avons pu observer le déphasage jusqu'à plus de 50 MHz et voir un retard égal à 7,5 périodes. Au-delà, les signaux sont vraiment noyés dans le bruit. Sur les photographies suivantes, on peut voir les oscillogrammes (tension de sortie des deux récepteurs en fonction du temps) pour différentes fréquences de modulation, où ils sont successivement en phase puis en opposition. Il était tentant (et nous l'avons fait) de mesurer directement à l'oscilloscope le déphasage des signaux : la précision obtenue est évidemment beaucoup moins bonne, à cause de l'imperfection des détecteurs qui ne déphasent pas les signaux de la même façon et surtout de la précision de la mesure sur l'écran de l'oscilloscope.

Résultats et discussion

Le meilleur ajustement des points expérimentaux de $(V_L + V'_L) / (2V_0)$ par la fonction $\cos(4\pi Lf/c)$ s'obtient pour $2L/c = 146,48$ ns. L'incertitude sur cette valeur peut s'obtenir facilement si l'on porte $\text{Arccos}((V_L + V'_L) / (2V_0))$ en fonction de f : on obtient une droite dont l'ordonnée à l'origine doit être nulle et la pente est $4\pi L/c$. Attention à l'intervalle de définition de l'Arccos : la phase est Arccos jusqu'à π puis $2\pi - \text{Arccos}$ jusqu'à 2π puis $2\pi + \text{Arccos}$ ensuite, etc...

Dans le cas d'un ajustement linéaire, notre tableur préféré fournit, grâce à sa fonction DROITEREG, l'ordonnée à l'origine, la pente de la



L'évolution de la couleur des traces est un artefact de l'appareil photo qui reçoit de moins en moins de lumière au fur et à mesure que la vitesse de balayage de l'oscilloscope augmente. On a dû, bien sûr, augmenter fortement le gain vertical de l'oscilloscope entre le premier et le dernier oscillogramme.

droite et les incertitudes sur ces deux paramètres si l'on suppose que les points sont distribués d'une façon gaussienne autour de la droite. On obtient alors :

$$2L/c = 146,49 \pm 0,034 \text{ ns}$$

L'incertitude sur $2L/c$ est grosso modo, l'écart type de $(V_L + V'_L) / (2V_0)$ divisé par la racine carrée du nombre de points.

La valeur précédente est dans la fourchette d'incertitude. La différence entre les deux valeurs provient du fait que, dans l'ajustage de $(V_L + V'_L) / (2V_0)$ par une sinusoïde, tous les points n'ont pas la même importance pour déterminer la période : les points importants sont au voisinage de la quadrature (proches d'un zéro), tandis que les

points au voisinage d'un maximum ou d'un minimum (signaux en phase ou en opposition), sont de moindre importance. D'ailleurs, quand $(V_L+V'_L)/2V_0$ est supérieur à 1, il est difficile d'en prendre l'Arccos. Pour cette raison, nous avons supprimé quelques points dans le voisinage des fréquences pour lesquelles les signaux sont en phase ou en opposition. Cela rejoint le fait qu'on aurait pu (pour une précision moindre) se contenter des fréquences f_k pour lesquelles le rapport $(V_L+V'_L)/2V_0$ était nul (signaux en quadrature). La distance L ayant été estimée à $21,945 \pm 0,005$ m, un calcul simple fournit :

$$c_{\text{air}} = 299\,610 \pm 150 \text{ km/s.}$$

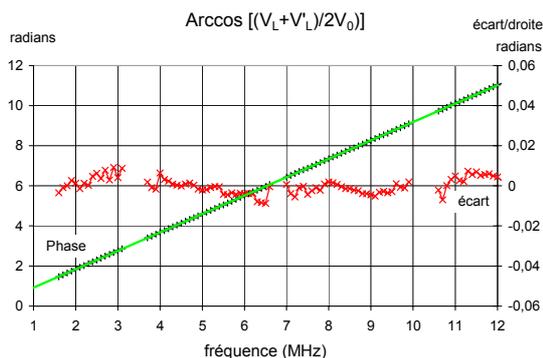
C'est la valeur mesurée dans l'air. L'indice de l'air étant voisin de 1,00028 (température 18°C, 40 % d'humidité et 3 % de CO₂), on a en définitive :

$$c_{\text{vide}} = 299\,690 \pm 150 \text{ km/s.}$$

D'où : $\Delta c/c = 150/300\,000 \approx 5.10^{-4}$.

La valeur exacte, fixée par convention depuis 1983 est : 299 792,458 km/s. Elle sert à définir le mètre à partir de l'étalon de temps, la seconde.

On est bien dans la bonne fourchette. Ouf !



Difficultés et améliorations

Nous n'avons pas tout de suite obtenu des résultats aussi bons : l'écart du graphe d'ajustement présentait une composante non aléatoire liée à l'amplitude des signaux : cette composante était due au fait que la caractéristique $P_L(I)$ de la diode laser, n'était pas strictement linéaire. La modulation (sinusoïdale à la fréquence f) générait un signal parasite à $2f$, $3f$ etc... Nous avons contourné le problème en diminuant la modulation. Ce faisant, on évite aussi le problème de la diaphonie. Mais la diminution ne doit pas être trop forte car le signal est vite noyé dans le bruit des récepteurs. Une amélioration consiste à moduler à 1 kHz l'amplitude de modulation du signal à la fréquence f . Les tensions V_L et V'_L ne sont plus continues mais alternatives (à 1 kHz), et on peut en mesurer l'amplitude par une détection synchrone (un second

multiplieur fonctionnant à fréquence fixe). On s'affranchit ainsi des dérives basse fréquence et du bruit en $1/f$ du multiplieur et on peut ainsi opérer à des amplitudes de modulation du courant à la fréquence f encore plus faibles. L'amélioration est en cours et occupe le temps libre du jeune retraité parmi nous... On sera vraisemblablement alors, limité par la précision de la mesure de L.

Une autre difficulté est la stabilité de l'ensemble (stabilité mécanique de l'alignement qui se dérègle au cours du temps – il faut environ 3/4 heure pour mesurer 150 points - et nous avons fait plus de 15 000 mesures !), dérives à long terme des amplificateurs, du générateur de fréquence, etc... On s'en affranchit partiellement en refaisant tous les 10 points, un point de référence (par exemple à 1MHz).

On pourrait diminuer la divergence du faisceau en utilisant un expandeur de faisceau (2 lentilles de focales différentes en position confocale) si l'on voulait travailler sur une distance plus grande.

En conclusion, nous avons appris :

- 1 - Qu'une mesure n'a de sens que si elle est accompagnée de son incertitude.
- 2 - Qu'il n'est pas de problème aussi compliqué soit-il, qui ne devienne, après un examen attentif et une réflexion approfondie, ... encore plus compliqué !

Merci à G.Paturel, à l'origine de ce travail (de ce divertissement !) par son article dans les Cahiers Clairaut n°96.

Références :

- [1] - 'La vitesse de la lumière et Römer' par Josée SERT, C.C.57, p.17.
- 'La découverte de la vitesse finie de la lumière par Roemer-Aspects historiques-' par Martine BOBIN, C.C.67, p.3.
- 'L'histoire de la vitesse de la lumière' par Robert GARNIER avec la complicité de Georges PATUREL, C.C.83, p.28.
- 'L'histoire de la vitesse de la lumière' par Robert GARNIER avec la complicité de Georges PATUREL, C.C.84, p.26.
- 'L'histoire de la vitesse de la lumière' par Robert GARNIER avec la complicité de Georges PATUREL, C.C.85, p.28.
- Testons la vitesse de la lumière' par Georges PATUREL, C.C.96, p.25.
- 'Mesure de la vitesse de la lumière' par René CAVAROZ et al., C.C.116 p.19
- [2] Optoprim : 21-23 rue A. Briand 92170 VANVES
- [3] Radiospares BEAUVAIS

Signalons que Jordane PELTIER, du Lycée Aristide-Briand d'Evreux, s'est également lancé dans cette expérience difficile pour son TIPE. La moyenne de ses résultats a donné : $c=226257 \pm 37000$ km/s, ce qui n'est pas si mal avec une longueur de faisceau de 11 mètres seulement. La modulation qu'il employait, allait de 14kHz à 40 kHz. Il envisage de poursuivre l'expérience. Nous lui souhaitons de ne pas se décourager.

L'émergence de l'astrophysique dans les Alpes de Lumière

Christian Larcher
Membre du CLEA et de la SAF

Résumé : Avec ce dernier numéro de 2007, nous terminons l'évocation de l'Observatoire de Haute Provence, lieu de la première découverte d'une planète extrasolaire. Ce succès résulte en grande partie des spectrographes remarquables qui y sont réalisés. Ces spectrographes fournissent aussi aux astronomes un outil puissant pour l'étude de la sismologie stellaire. Mais l'OHP est aussi un centre de recherche en Géophysique où sont opérés des lâchers de ballons stratosphériques.

La vision d'ELODIE

ELODIE est le nom du spectrographe qui restera dans l'histoire de l'astronomie comme étant celui qui permit le premier, en 1995 et à l'Observatoire de Haute Provence, la détection d'une planète gravitant autour d'une étoile autre que le Soleil. Cette étoile (nommée 51 Peg) est située dans la constellation de Pégase à environ 40 années-lumière du Soleil. (1 a.l. = 10 000 milliards de km soit près de 3 millions de fois la distance entre la Terre et le Soleil) Voir, dans le n° 117 des Cahiers Clairaut (p. 17), un intéressant TP élèves intitulé : *Détection de planètes extrasolaires par la méthode des vitesses radiales*, avec la reproduction de documents originaux qui maintenant appartiennent à l'histoire.

Par la suite, le spectromètre **ELODIE** fut particulièrement prolifique : il permit la détection de 22 exoplanètes au total, toutes par la méthode dite des vitesses radiales, sauf une (HD 209458) obtenue par la méthode des transits. Il fonctionna pendant 12 ans (de 1994 à 2006) sur le télescope de 193 cm de l'OHP. Il vient de laisser sa place à son petit frère, qui est encore plus performant, il répond au joli nom de **SOPHIE** (Spectrographe pour l'Observation des PHénomènes sIsmologiques et Exoplanétaires) ; il se trouve que c'est aussi le prénom d'une des filles d'un Directeur de Recherche au CNRS travaillant à l'OHP !

« Le monde de SOPHIE »

Les spectromètres **ELODIE** et **SOPHIE** contiennent des réseaux qui permettent d'obtenir des spectres avec une très haute résolution.

Afin d'obtenir le maximum de précision et une très haute résolution, on cherche à étaler au maximum le spectre obtenu. Plus la résolution est grande, plus le spectre obtenu est détaillé, mais plus il devient faible en luminosité. On est donc amené à travailler sur des ordres d'interférences élevés (jusqu'à 39 pour **SOPHIE**) mais avec un réseau spécial appelé « réseau blazé ». Ces réseaux par réflexion sont gravés en dents de scie (on les appelle pour cette raison réseau échelle). Avec un tel réseau on peut concentrer, dans un ordre donné, un maximum de lumière pour une longueur d'onde spécifique, appelée « longueur d'onde de blaze ».

Une autre difficulté provient du fait que plus on travaille sur des ordres élevés plus les risques de chevauchement sont grands. Pour éviter ces chevauchements d'ordres, on utilise ce que l'on appelle une « dispersion croisée ». Il s'agit d'un prisme ou d'un réseau disposé de telle sorte que le décalage des ordres s'effectue perpendiculairement à la direction d'étalement du spectre ; en ce qui concerne **SOPHIE**, ce pré-disperseur est un prisme en flint (verre au plomb plus dispersif).

L'ensemble du dispositif permet l'enregistrement simultané de *tout le domaine spectral* sur une caméra CCD d'excellente qualité (4102×2048 pixels de 15 µm chacun) et ne contenant aucune ligne morte. Trouver un CCD d'une telle qualité nécessite de faire au préalable une sévère sélection.

Le **pouvoir de résolution** spectrale R dépend de la longueur d'onde λ de la radiation considérée. Il est donné par la relation $R = \lambda / \Delta\lambda$. Pour **SOPHIE**, qui couvre le domaine visible du bleu (380 nm) au rouge (680 nm), ce pouvoir de

résolution est de l'ordre de 72 000 en mode « Haute Résolution ». En modifiant légèrement le dispositif, à l'aide d'une fente, il peut passer à 37 500 pour obtenir un « Haut Rendement lumineux », ce qui est particulièrement utile dans le cas des étoiles de faible intensité.

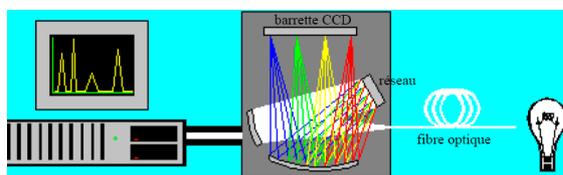
La **résolution** $\Delta\lambda$ se mesure par l'intervalle de longueur d'onde à la demi-hauteur d'une raie de calibration; cette résolution est constante sur tout le spectre quel que soit λ . La résolution spectrale de SOPHIE est 1,6 fois meilleure que celle d'ELODIE.

Le rapport S/B (signal/bruit) est le même que pour ELODIE. Le spectrographe est installé dans un caisson étanche en légère surpression pour éviter des variations d'indice de l'air. En effet, l'indice de l'air peut varier légèrement avec la pression atmosphérique pendant l'utilisation. Cette variation aurait des effets sensibles sur cet appareil de haute précision. Enfin, pour éviter les bruits parasites, le dispositif est refroidi à $-110\text{ }^\circ\text{C}$, (avec une stabilisation thermique à mieux que 0,01 degré) à l'aide d'azote liquide.

La bonnette Cassegrain du télescope 193 cm est reliée au spectrographe par une fibre optique de diamètre 100 microns que l'on peut diaphragmer à 50 microns quand on travaille en « Haute Résolution ». Une autre fibre optique de 100 microns de diamètre permet de relier l'instrument à une lampe de calibration au Thorium. Chacune des fibres possède une ouverture de 3 secondes d'arc sur le ciel.

L'appareil permet actuellement d'obtenir une stabilité en vitesse radiale d'une étoile de l'ordre 3 à 4 m/s, ce qui est remarquable pour des étoiles aussi éloignées.

SOPHIE est le seul instrument français dédié aux exoplanètes. L'observation précise de l'évolution de profils de raie à haute résolution spectrale est déterminante pour la compréhension des phénomènes physiques de ces objets.



<http://web.ujf-grenoble.fr/PHY/intra/Organisation/CESIRE/OPT/DocsOptique/Notices/SpectroCCD.pdf>

Les principaux objectifs scientifiques de SOPHIE

Ils se déclinent selon trois grands axes :

- les planètes extrasolaires
- l'astérosismologie (voir plus loin)
- l'astrophysique stellaire

Cette dernière comprend l'étude fine de la dynamique des atmosphères stellaires, les mouvements de gaz, les ondes de pression, l'étude des pulsations stellaires et, depuis longtemps, la nature des éléments chimiques.

Un travail complémentaire : celui du couple SOPHIE - COROT

Le satellite **COROT** (COnvection ROTation et Transit planétaire) fut conçu par le CNES. Il pèse 600 kg, sa longueur est de 4 m. Il fut lancé le 27 décembre 2006 de la base de Baïkonour au Kazakhstan. Il orbite à 800 kilomètres de la Terre à la vitesse de 27 000 km/h.

Ce satellite photométrique est capable de sonder les étoiles et de donner des informations sur la taille de leur éventuel compagnon planétaire. Les infimes variations de mouvement de l'étoile renseignent sur la masse de son compagnon. Ces deux paramètres, rayon et masse, permettent d'évaluer la densité et d'extraire des informations sur la structure interne de la planète afin de déterminer s'il s'agit d'une planète semblable à la Terre.

COROT possède une caméra à 4 détecteurs CCD, sensibles à de très faibles variations de lumière des étoiles.

Jusqu'au 15 octobre 2007, le satellite **COROT** est orienté dans une direction proche du centre galactique. À cette date, il sera retourné de 180 degrés autour du plan de l'orbite pour se protéger de l'éblouissement du Soleil, pour commencer une nouvelle période de 6 mois.

Les premiers résultats obtenus concernent, en astérosismologie, deux étoiles variables de type Delta Scuti qui possèdent un très grand nombre de périodes de l'ordre de l'heure (un sujet d'agrégation de physique a porté sur une étude du satellite COROT).

La musique des astres : à chaque étoile une symphonie

Les étoiles vibrent et ces vibrations sont « visibles » à leur surface. L'enregistrement et l'étude de ces vibrations permettent de comprendre ce qui se passe à l'intérieur de l'étoile.

On parle d'ondes acoustiques (même si l'on n'entend rien) car ces ondes sont de même nature que les ondes sonores à la surface de la Terre. Le phénomène est d'origine mécanique, comme les ondes sonores d'un piano qui font vibrer l'air ambiant ; il correspond à des variations de pression du gaz stellaire.

Le Soleil, du fait de sa proximité, est l'étoile la plus facile à étudier, il se comporte comme une cavité résonnante. Il émet des vibrations qui sont analogues à celles d'un orchestre qui émettrait simultanément des millions de notes. Les fréquences de ces ondes sont cependant environ 100 000 fois plus petites (donc plus graves) que celles des ondes sonores qui sont comprises entre 20 Hz et 20 000 Hz

Parmi ces fréquences, celle à 3 mHz (soit une oscillation toutes les 5 minutes) est plus excitée que les autres ; elle est donc nettement plus présente que les autres.

Il est bien sûr exclu de pouvoir entendre ces ondes acoustiques pour au moins deux raisons : d'une part à cause des valeurs très basses des fréquences, mais aussi parce qu'il n'existe pas de milieu vibratoire de propagation entre la Terre et le Soleil permettant cette transmission¹. Cependant, si l'on ne peut pas entendre ces vibrations, il est possible avec certains instruments « de les voir » en quelque sorte. En effet, grâce à l'effet Doppler, on peut déterminer, à chaque instant, les zones du Soleil qui s'approchent de nous (représentées en bleu) et celles qui s'éloignent (représentées en rouge) (Voir schéma).

Chaque étoile vibre d'une manière caractéristique, les modes de vibration ou comportement vibratoire permettent d'obtenir des informations concernant l'intérieur de l'étoile, de la même façon que l'étude des séismes terrestres donne des indications sur la nature de ce qui se trouve à l'intérieur de la Terre.

¹ En multipliant par un coefficient de l'ordre de 40 000 on obtient des ondes audibles mais graves, différentes pour chaque étoile.

Pour en savoir plus vous pouvez aller sur « Banque du savoir » en cliquant sur :

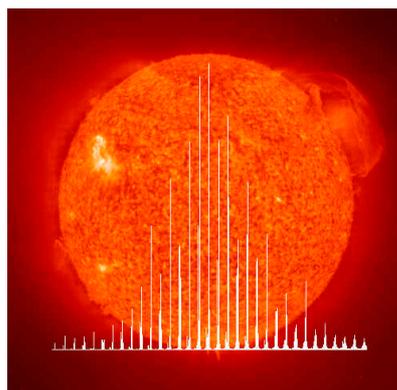
<http://www.savoirs.essonne.fr/dossiers/lunivers/astrophysique/article/type/0/intro/seismes-dans-les-etoiles/>

Pour comparer les vibrations sonores du Soleil (par rapport à une étoile géante rouge) cliquer sur la fiche intitulée : « Qu'est-ce qui fait briller le Soleil ? »

Eric Fossat (Université de Nice) écrit, dans un ouvrage du CNRS rédigé à l'occasion de l'année mondiale de la physique (p 226) :

« Supposez que vous écoutiez sans le voir un orchestre symphonique. Songez à la richesse d'information pratique que vous pouvez retirer de cette écoute, concernant l'orchestre lui-même, ses divers instruments et musiciens, leur nombre, leur distribution sur l'estrade, leurs éventuels petits défauts, leur accord plus ou moins parfait, et concernant la musique jouée, son compositeur, l'œuvre elle-même, en si bémol mineur ou en fa majeur, andante ou autre, etc. Vraiment beaucoup d'informations en trois minutes d'écoute. Remplacez maintenant l'orchestre par le Soleil, vos oreilles par un « héliosismographe », et votre culture musicale par un peu de connaissance de la transformation de Fourier et de la physique des étoiles. »

Ces vibrations changent selon l'âge et la composition de chaque astre. Par exemple : « Une géante résonne comme un tambour, une naine plutôt comme un cor de chasse ».



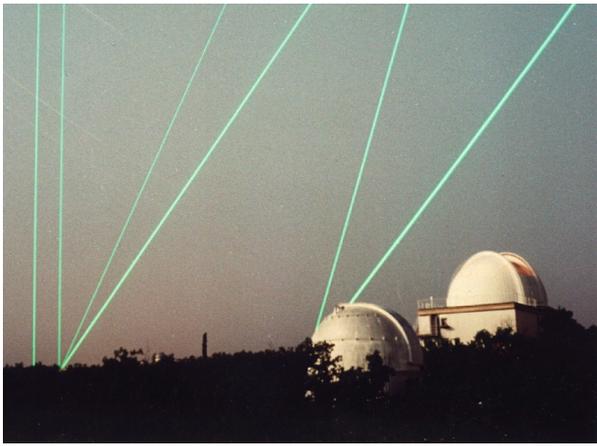
Cliché Dapnia

La station Géophysique de l'OHP

($\lambda = 43,935 \text{ N}$; $G = 5,7116 \text{ E}$; $h = 683 \text{ m}$)

Cette station d'observation, intégrée au réseau international NDACC (*Network for the Detection of Atmospheric Composition Change*) est chargée, entre autres, d'étudier les variations de la composition de l'atmosphère en général et de la couche d'ozone en particulier dans la troposphère et la stratosphère, c'est-à-dire en gros dans la couche d'air comprise entre 3 et 50 km à l'aide de LIDARS (*Light Detection And Ranging*)².

² LIDAR et RADAR sont des appareils complémentaires : le LIDAR permet de repérer les nuages fins et les aérosols tandis que les radars permettent d'analyser les nuages bas.



Le ciel de l'OHP illuminé de LASER (cliché OHP)

Cette étude est faite à l'aide d'ondes lumineuses émises par un LASER à impulsions (dont la durée est de l'ordre de la dizaine de nanosecondes). On dispose d'un top départ de chaque impulsion et on effectue un comptage des photons reçus par un télescope. Ces photons sont rétrodiffusés par les molécules gazeuses ou les aérosols et leur comptage est effectué en fonction du temps donc de l'altitude. Ceci permet d'établir des profils d'un paramètre physique (température) ou de concentration d'un constituant de l'atmosphère (ex : Ozone) en fonction de l'altitude.

La longueur d'onde du LASER utilisé dépend du paramètre mesuré (rayonnement dans le visible à 532 nm pour le LIDAR Température Aérosols, rayonnement dans l'ultraviolet pour les mesures relatives à l'Ozone). La fréquence de répétition est de 50 Hz.

En complément de ce dispositif, une fois par semaine, a lieu l'envoi d'un ballon muni d'une sonde météo (pression, température, humidité) et d'une sonde Ozone.

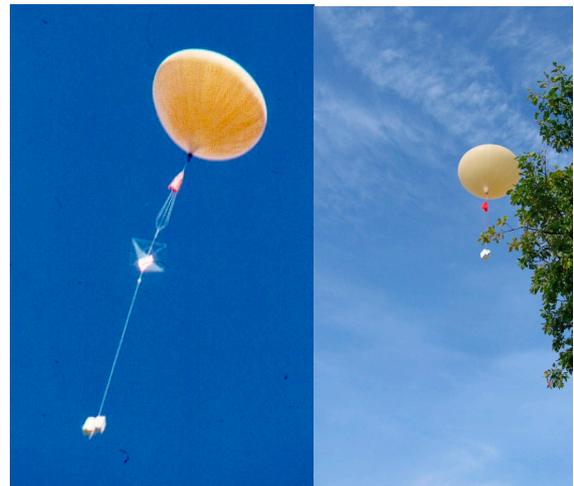
Ce ballon monte à une hauteur de l'ordre de 30 à 40 km en envoyant, en direct par radio, les mesures des différents paramètres, avant d'exploser.

Un LIDAR Doppler, également utilisé à l'OHP, est destiné à la mesure du profil vertical (vitesse, direction) des vents stratosphériques de 8 à 30km d'altitude.

Ces activités montrent l'importance de l'Observatoire de Haute Provence et lui donnent une jouvence nouvelle.



Lâcher de ballon à l'OHP par Guy Tournois, à gauche tenant un conteneur blanc - (cliché OHP)



(cliché OHP)

Remerciements : *Je remercie toutes les personnes de l'OHP qui m'ont transmis des informations et tout spécialement Monsieur Denis Gillet (Directeur de Recherche au CNRS et responsable scientifique de SOPHIE) ainsi que Monsieur Guy Tournois (responsable de la station LIDAR).*

Sitographie :

- http://www.obs-hp.fr/www/guide/sophie/SOPHIE_infos.html
- <http://www.insu.cnrs.fr/a1916,sophie-un-nouveau-decouvreur-d-exoplanetes.html>
- http://xserve.obs-hp.fr/Histoire_de_SOPHIE.html
- [http://209.85.135.104/search?q=cache:TpKmQxxGmQYJ:pleiades.unice.fr/iris/Library/docs/Tipe97-98\(Massena\)/document.htm](http://209.85.135.104/search?q=cache:TpKmQxxGmQYJ:pleiades.unice.fr/iris/Library/docs/Tipe97-98(Massena)/document.htm)
- http://www-dapnia.cea.fr/Phoce/Vie_des_labos/Ast/ast_vis_u.php?id_ast=999
- http://www.obs-hp.fr/www/geo/geo_ohp.html



AVEC NOS ÉLÈVES

Observations des taches solaires : Vitesse de rotation du soleil

Georges Lecoutre et Chantal Lecoutre
Collège Gérard-Philippe, Saint-Priest

Résumé : *Il n'est pas facile de conduire des observations, de nuit, avec des élèves, à cause des difficultés pratiques d'organisation : autorisations, transport des élèves, choix de la nuit propice et claire, etc.. Pour cette raison le Soleil offre un excellent moyen de commencer une activité pratique. De plus l'utilisation du solarscope facilite grandement l'observation et cela sans danger. La mesure de la rotation du Soleil est la première activité intéressante, sans calcul, avec juste un peu de géométrie élémentaire.*

Ces travaux ont été effectués sur la même base d'images au collège Gérard Philippe de Saint-Priest (atelier de pratique scientifique Astronomie avec des élèves de 6^{ème} et 5^{ème}) et au lycée Jean Paul Sartre de Bron (atelier de pratique scientifique Astronomie avec des élèves de 2^{nde}).

Observations au Solarscope

Des observations régulières sont faites à l'aide du solarscope. Nous aurons la chance de pouvoir suivre une tache solaire sur plusieurs jours.

Avec des élèves que nous ne voyons qu'une seule fois par semaine, il faut un peu de chance pour mener à bien cette observation (il est prudent de vérifier sur le site de SOHO l'existence d'une ou de plusieurs taches).

Dans chaque cas, il est demandé aux élèves de dessiner un cercle de 5 cm de rayon et de positionner le plus précisément possible la tache observée sur la surface du disque dessiné (prise de mesures à la règle, utilisation de la grille du solarscope si elle est en place).

À la suite de deux ou trois observations consécutives, les élèves constatent que la tache a changé de position sur le disque. S'il est possible de renouveler ces observations avec une autre tache un peu plus tard, les élèves constatent que le déplacement se fait dans la même sens.

Des interprétations sont proposées quant à ce déplacement, la première étant la rotation de la terre sur elle-même ; mais elle s'élimine par rapport au mouvement apparent des étoiles dans le ciel ; et

ensuite, l'idée qu'il s'agit de la rotation du soleil qui est mise en évidence fait son chemin et devient convaincante.

Étude de la rotation du soleil ; recherche de la vitesse de rotation

L'étude sera faite à partir d'une série de clichés récupérés sur le site du satellite SOHO (SOHO latest Images) montés dans un diaporama permettant de couvrir une durée importante (du 23/08/06 au 1/03/07) période pendant laquelle la présence de taches sera intéressante.

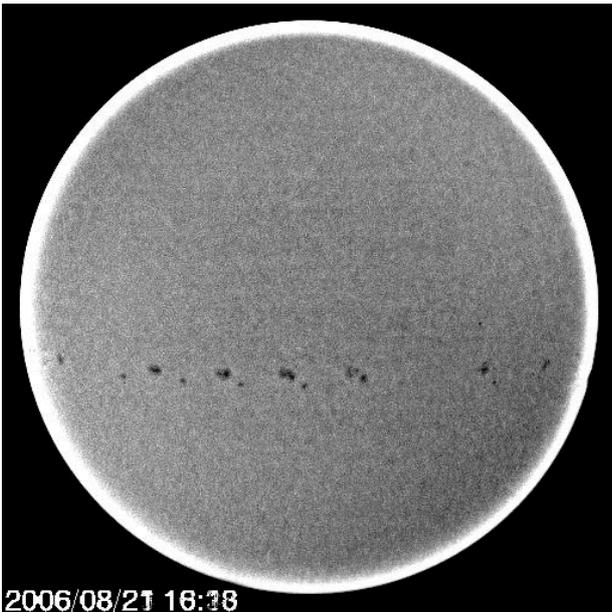
Je pensais au départ réaliser les clichés, mais le temps souvent nuageux m'en a empêché.

Présentation du montage diapo en classe : trajectoire

Un vingtaine de diapositives sont vues et j'ai introduit dans le montage une diapo question :

Sur quelle ligne la tache semble-t-elle se déplacer ?

La discussion se fait entre les élèves et on semble être d'accord pour un segment traversant le disque solaire. Un début de preuve est apporté par un montage sous IRIS des photos d'une tache sur une dizaine de jours sur un seul cliché



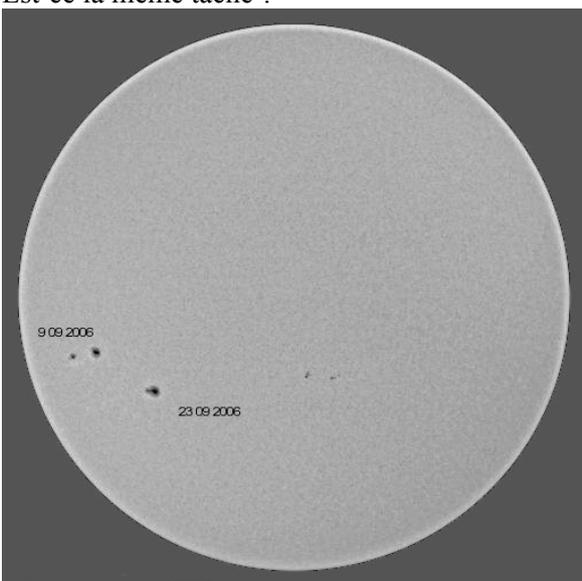
Conclusion des élèves : la tache se déplace sur un cercle à la surface du soleil car ils ont parfaitement intégré que le soleil a une forme sphérique.

Ils remarquent aussi que cette ligne est presque parallèle à un grand diamètre horizontal.

À ce moment, j'explique que les photos prises par SOHO sont toutes orientées de la même façon, le pôle Nord solaire étant en haut du cliché, le Sud vers le bas et le grand diamètre dont ils parlent étant l'équateur solaire.

Permanence des taches.

Nous constatons qu'une tache apparaît, se déplace, disparaît, puis réapparaît au bout d'un certain temps. Est-ce la même tache ?

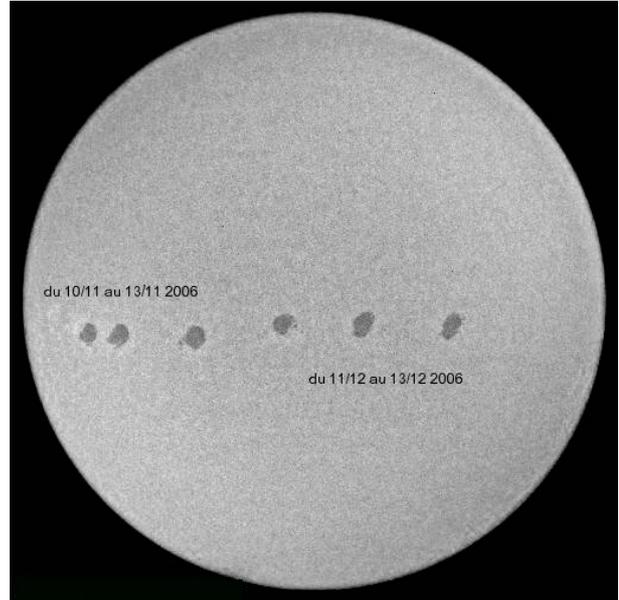


La réponse est évidemment non ; c'est une autre tache qui apparaît le 23/09, mais pas la même que le 9/09.

Question et réponse sont dans le montage diapo.

Mais certaines taches peuvent-elles être retrouvées au bout de plusieurs dizaines de jour ?

Comment le prouver ?



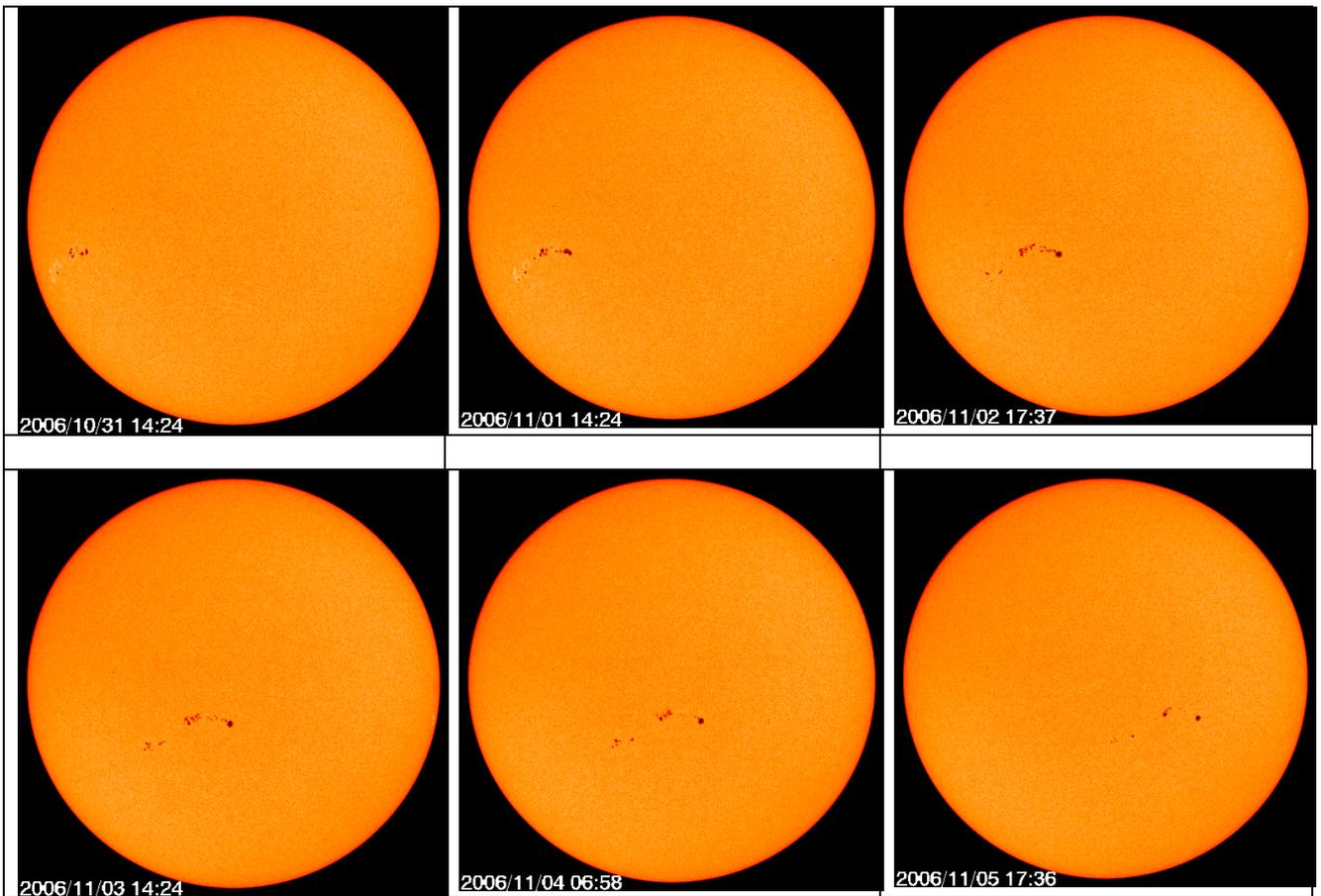
Sur ce montage on a l'impression de retrouver la même tache, et qu'elle occupera presque la même position le 14/11 et le 11/12.

À ce moment se pose la question de savoir combien de temps une tache met elle pour faire le "tour" ?

La durée pour aller du bord gauche du cliché au bord droit de celui ci doit correspondre à peu près à la moitié du temps nécessaire pour faire un tour ; on peut reprendre le diaporama et se donner une idée.

Forme des taches

Il est intéressant à ce stade de se pencher sur le changement de forme des taches solaires au cours du temps (diapos 51 à 58 par exemple).



Mesure de la vitesse de rotation du Soleil

À partir de l'observation du déplacement d'une tache, depuis notre place, que peut-on mesurer ?

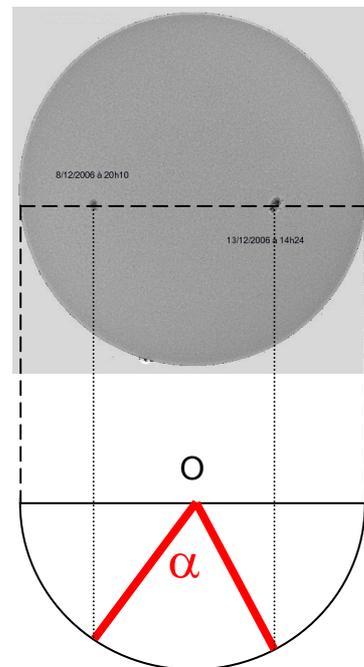
La longueur du cercle parcouru par la tache ou bien la longueur d'un morceau de cercle parcouru par celle-ci entre deux dates connues.

Les élèves admettent facilement la proportionnalité de la longueur de l'arc et de l'angle sous lequel on le voit depuis le centre (la notion d'angle au centre n'est pas possédée par les élèves de 6ème et de 5ème).

Présentation des fiches de travail et du travail à faire :

Voici un montage de deux photos du Soleil montrant la même tache le 8 décembre 2006 et le 13 décembre 2006 sur un seul cliché (Position 1 le 8/12/2006 à 20h10 ; Position 2 le 13/12/2006 à 14h24).

Le but : essayer de calculer la vitesse de rotation du Soleil.



- On trace sur l'image le diamètre du cercle sur lequel se déplace la tache.
- Pour dessiner l'image de ce cercle à plat, on repère les extrémités du diamètre, on trace le diamètre, on trace l'image du cercle
- On reporte sur le cercle les images de la tache ; on place le centre O.
- On trace l'angle dont a tourné la tache
- On mesure l'angle ; la tache a tourné de α degrés en x heures.
- Il reste à déterminer la durée nécessaire pour parcourir 360° .

Remarque : les fiches distribuées aux élèves ne correspondent pas toutes à la même série d'observation.

Les tracés sont réalisés et les mesures et les calculs effectués en utilisant la proportionnalité. Il est nécessaire de guider pour penser à traduire les durées en heures .

Les résultats sont ensuite comparés et une vitesse moyenne de la rotation du Soleil est exprimée.

Il serait intéressant à ce stade du travail de pouvoir effectuer les mêmes mesures sur des taches qui ne seraient pas situées près de l'équateur solaire. A l'époque des clichés choisis, le cas ne s'est pas produit, mais il est possible d'aller récupérer sur le site de la NASA des photos d'archives avec des taches éloignées de l'équateur solaire. Ces clichés se trouvent

sur le site SOHO LATEST IMAGES

rubrique Archives ;

MDI archives

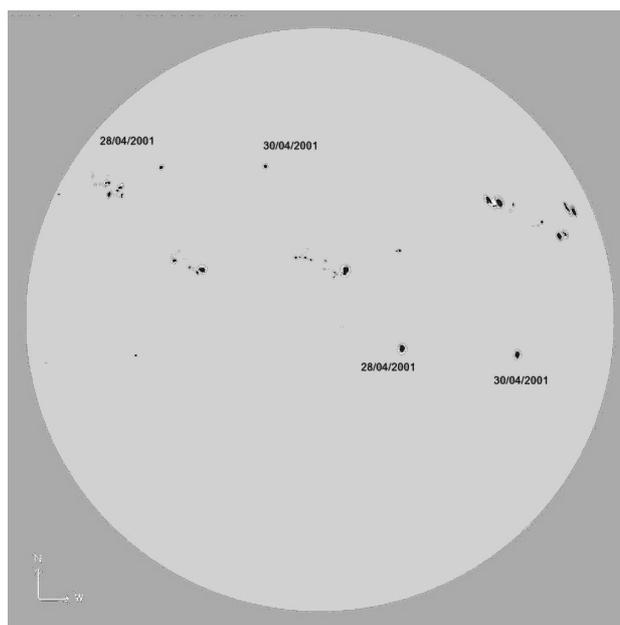
MDI Intensitygrams

Il ne reste plus qu'à choisir les bonnes dates sachant que ce sont des .GIF qui ne seront pas reconnus par IRIS. Il faut donc d'abord changer de format , les lire avec IRIS, en faire des . FIT qui pourront être additionnés sous IRIS.

Il faudra refaire une fiche pour procéder aux calculs. Sur cette image il est possible d'effectuer deux calculs :

- le premier calcul avec la tache équatoriale pour comparer avec les résultats de 2007

- le second avec la tache du haut (mettre en évidence si possible la différence de vitesse)



Il reste enfin à faire des recherches sur la vitesse de rotation du Soleil pour confirmer le travail.

Accès aux fichiers de travail

Vous pourrez trouver sur le site du CLEA (<http://clea-astro.eu>) les fichiers complémentaires. Nous allons développer ce principe, pour vous permettre de télécharger des fichiers non publiables, comme le sont les feuilles de calcul, les animations ou les catalogues.

La rédaction

Le quart de cercle mural dit « de Lalande » conservé à l'Observatoire de Lyon

Gilles Adam^{*1}, Laetitia Maison^{*2}, Bernard Rutily^{*1}

^{*1} Astronomes à l'observatoire de Lyon (Université Claude Bernard Lyon I) .

^{*2} Attachée de conservation au Musée des Confluences, Lyon.

Résumé : *L'Observatoire de Lyon possède un quart de cercle mural dont l'histoire s'est perdue au cours du 20^{ème} siècle. Le but de cette note est de rétablir le parcours historique de cet instrument, qui comprend un bref mais fameux épisode au cours duquel il a été utilisé par Lalande à Berlin.*

Lalande à l'Observatoire de Berlin en 1751-1752

La plupart des livres d'histoire de l'astronomie évoquent l'expérience réalisée par Jérôme Lalande (1732-1807) et Nicolas Louis de Lacaille (1713-1762) dans les années 1751-1752. Lalande se déplaça à Berlin et Lacaille au Cap de Bonne Espérance (Afrique du Sud) pour observer simultanément la position de la Lune, ce qui leur permit de déterminer avec précision sa distance à la Terre par la méthode de la parallaxe.

Cette expérience célèbre fait partie de ces grandes expéditions réalisées au 18^{ème} siècle pour observer un astre proche de la Terre à partir de deux lieux différents, suivant l'exemple de Cassini et Richer lors de l'opposition favorable de Mars en 1672.



Figure 1 : Le quart de cercle mural de Sisson (photo : Jean-Marie Reffl  CID @ ADAGP 2004)

Cassini observant à Paris et Richer se déplaçant à Cayenne (Guyane), Lalande à Berlin et Lacaille au Cap de Bonne Espérance... le parallèle est tentant, il porte à croire que c'est Lalande qui est le principal instigateur de la campagne d'observation évoquée plus haut, d'autant que nous avons mentionné le nom de Lalande en premier conformément à l'usage. En fait, il n'en est rien : c'est bien l'abbé Lacaille, surnommé « le père de l'astronomie australe » après son expédition au Cap de Bonne Espérance, qui eut l'initiative de cette campagne et en régla tous les détails.

Après avoir obtenu l'aval de l'Académie royale des Sciences, il prit la route de l'hémisphère Sud en 1750, non sans avoir laissé des indications précises sur son programme d'observation et sur celui qu'il souhaitait voir réaliser dans un ou plusieurs observatoires européens, notamment celui de Berlin, dont la longitude est proche de celle du Cap. Malheureusement, il n'y avait à l'Observatoire de Berlin ni instrument, ni observateur capable de réaliser les mesures souhaitées par Lacaille. Pierre-Charles Le Monnier (1715-1799), astronome enseignant au Collège de France, projeta donc de se rendre à Berlin avec son propre quart de cercle, puis il se désista et envoya à sa place son meilleur étudiant, Jérôme Lalande.

Les débuts de Lalande en astronomie ont été fulgurants. Élève du Collège de la Trinité de Lyon, il y suit les cours du Père Béraud, qui lui transmet sa passion de l'astronomie, notamment à l'occasion de l'éclipse de Soleil du 25 juillet 1748. Il arrive à Paris fin 1748, en principe pour y étudier le droit, mais se passionne pour les cours d'astronomie de Joseph Nicolas Delisle (1688-1768) et de Le Monnier, qui ne tardent pas à remarquer cet élève

intelligent et studieux. Il est envoyé à Berlin fin août 1751, emportant avec lui le quart de cercle mural de son maître. Arrivé sur place, son premier travail sera de faire construire un mur de soutien du quart de cercle lui permettant de mesurer la distance zénithale des astres à leur passage dans le plan méridien local. Un autre mur sera construit pour permettre des observations du ciel côté Nord cette fois, dans le but de déterminer avec précision la latitude du lieu d'observation.

Il faut croire que Lalande a brillamment accompli à Berlin la tâche qui lui a été confiée, puisqu'il a été admis à l'Académie royale des Sciences, en tant qu'adjoint astronome, en février 1753, quelques mois après son retour de Berlin : il n'a pas encore 21 ans.¹

Deux siècles et demi plus tard, à l'observatoire de Lyon

L'observatoire de Lyon possède un magnifique quart de cercle mural de 165 cm de rayon (5 pieds), non daté et signé « Jonathan Sisson » (Fig. 1).

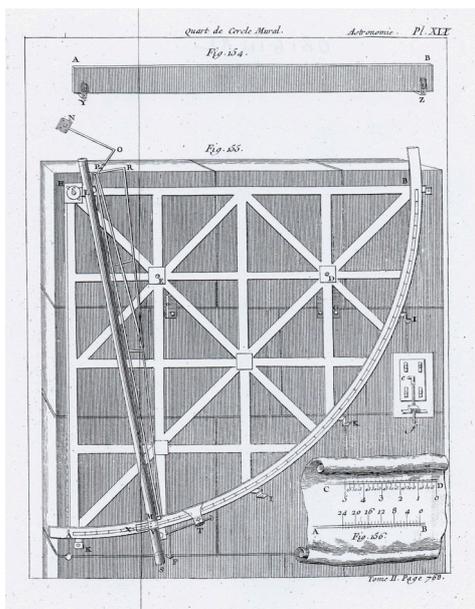


Figure 2 : Gravure ancienne du quart de cercle de Sisson tirée de « l'Astronomie » de Lalande, édition 1771, Tome II, p. 768

¹ Comme le fait remarquer Émile Marchand (1907) p. 37, cette entrée précoce à l'Académie des Sciences est remarquable, mais non exceptionnelle. Il était d'usage de faire entrer à l'Académie des Sciences, en tant qu'adjoints, des « débutants qui donnaient de grandes espérances ». Ainsi Le Monnier et Cassini de Thury avaient été nommés académiciens à 21 ans, D'Alembert à 24 ans, Maupertuis à 25 ans, Delisle et Lacaille à 26 ans, Legentil à 27 ans.

Pendant un siècle, l'instrument a été accroché au mur Nord de la grande salle méridienne de l'observatoire, puis il a été déménagé dans une autre pièce lors de la transformation de cette salle en laboratoire au début des années 1980. Par tradition, cet instrument est appelé « quart de cercle de Lalande », sans que les astronomes lyonnais d'aujourd'hui sachent vraiment pourquoi. À l'occasion du bicentenaire de la mort de Lalande, des recherches ont donc été entreprises pour tenter de clarifier le lien entre cet instrument et Lalande, avec l'idée que ce quart de cercle était peut-être celui que Lalande avait utilisé pour ses observations à Berlin, ce qui en ferait un instrument historique.

Notre enquête a commencé par l'examen de « l'Astronomie » de Lalande (1771, deuxième édition). Nous avons trouvé dans le Tome II une longue description de notre instrument, illustrée par une planche reproduite dans la Fig. 2. Le texte précise, p. 755 : « Le mural que l'on voit dans la fig. 155 fut fait à Londres en 1742 par Jonathas [sic] Sisson, sous la direction de M. Graham ; M Le Monnier s'en servit à Paris jusqu'en 1751 qu'il fut transporté à Berlin, pour mes observations ».

Ce texte nous apprend que l'instrument a été réalisé en 1742 par les meilleurs fabricants de l'époque² et de plus il fait une brève mais prometteuse allusion à Le Monnier et à l'expédition de Berlin. Il nous fallait cependant être sûrs que l'instrument décrit par Lalande était bien celui de l'Observatoire de Lyon. En effet, en comparant les Figures 1 et 2, on constate qu'une entretoise oblique manque sur le dessin d'époque de l'instrument, ce qui nous a intrigués et reste aujourd'hui inexplicé. Des recherches complémentaires sur l'instrument construit par Jonathan Sisson en 1742 étaient donc nécessaires.

Nous avons trouvé des éléments éclairants dans la littérature secondaire issue d'astronomes, aussi historiens des sciences, de la première moitié du 20^{ème} siècle : Charles Wolf (1902), Emile Marchand (1907) et Guillaume Bigourdan (1931). Ces éléments nous ont permis de reconstituer sans difficulté le parcours du quart de cercle de Sisson depuis sa fabrication jusqu'à nos jours : cf le paragraphe suivant.

² Au 18^{ème} siècle, les ateliers anglais étaient souvent sollicités pour la fabrication des quarts de cercle muraux : Graham, Sisson, Bird et Ramsden ont ainsi porté à un degré de perfection extrême l'art de fabriquer ces instruments. Cf. Maurice DAUMAS, 1953, *Les instruments scientifiques aux XVIIe et XVIIIe siècles*, Paris, PUF.

Il s'avère que l'instrument conservé à Lyon est bien le quart de cercle mural de Le Monnier, prêté à Lalande pour ses observations à Berlin en 1751-1752. Pour la petite histoire, précisons que les relations entre Le Monnier et Lalande se sont fortement dégradées après le retour de Lalande de Berlin, Le Monnier n'ayant pas apprécié que son ex-élève le délaisse au profit de Lacaille au sujet des observations qu'ils venaient de faire (Delambre, 1827, p. 234).

Parmi les références sur lesquelles s'appuie la troisième partie de cette Note, le texte d'une conférence faite par Émile Marchand à l'occasion du centenaire de la mort de Lalande mérite une attention particulière (Marchand, 1907). D'abord parce qu'il s'agit d'une étude très documentée sur Lalande, un véritable travail d'historien réalisé par un fervent admirateur de Lalande. Ensuite parce que Marchand a effectué ses débuts dans l'astronomie et la météorologie à l'Observatoire de Lyon, avant de prendre la direction de l'Observatoire du Pic du Midi en 1892. Il a donc vu le quart de cercle mural de Sisson à l'Observatoire de Lyon, il a même reproduit un dessin de l'instrument réalisé par une mystérieuse « Melle Antoinette Marchand » (sa fille ?) pour illustrer le texte de sa conférence (Fig. 3).

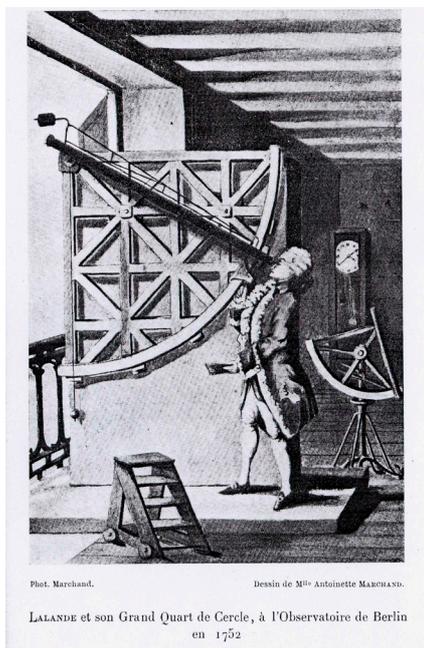


Figure 3 : Lalande observant à Berlin en 1752 avec le quart de cercle de Sisson. (Dessin de Melle Antoinette Marchand, dans Marchand, 1907, p. 32)

Le fait d'avoir côtoyé un instrument qu'il qualifie lui-même « d'historique » (p. 34) l'a certainement stimulé dans son travail d'historien sur Lalande. L'immense savoir de Marchand sur ce

quart de cercle s'est perdu au cours du 20^{ème} siècle, il a fallu attendre le présent bicentenaire pour que les travaux de cet astronome lyonnais soient exhumés.

Parcours du quart de cercle de Sisson

Grâce à l'exploitation des sources citées précédemment, nous sommes donc parvenus à reconstituer le parcours de notre instrument.

Ce quart de cercle mural a été construit à Londres par Sisson en 1742. Il est livré l'année suivante à l'astronome français Le Monnier, qui l'installe dans son observatoire privé du couvent des Capucins à Paris. Il l'utilise pour ses observations jusqu'en 1751, date à laquelle il le prête à son étudiant Lalande avec mission d'aller accomplir à Berlin la campagne de mesures évoquée plus haut.

Au retour de Lalande, Le Monnier récupère son instrument et le fixe sur un mur tournant de sa conception. En même temps, il acquiert et installe sur un mur fixe un quart de cercle de taille plus élevée (8 pieds) commandé à John Bird. C'est l'un des deux quarts de cercle de 8 pieds construits par Bird pour des astronomes français, le second ayant été livré en 1775 à Bergeret, alors receveur des Finances et trésorier de l'ordre de Saint Louis. Les deux « merveilles » de Bird font partie aujourd'hui des collections patrimoniales de l'Observatoire de Paris.

Les quarts de cercle de Sisson et de Bird feront tandem à l'observatoire des Capucins entre 1753 et 1791, puis à l'Observatoire de Paris entre 1799 et 1819. Aux Capucins, Le Monnier poursuit sans relâche ses observations des mouvements de la Lune notamment, pendant près d'un demi-siècle. Il cesse d'observer après avoir été frappé de paralysie en 1791 et meurt en 1799.

En 1797, à l'initiative de Lalande, le Bureau des Longitudes acquiert les deux quarts de cercle de Le Monnier et les transporte l'année suivante de son observatoire des Capucins à l'Observatoire de Paris. Ils sont fixés au mur « Cassini » à la fin de l'année 1799, le quart de cercle de Sisson côté Ouest pour les observations faites au Nord, et le quart de cercle de Bird côté Est pour observer au Sud. Le mur qui les supporte avait été construit en 1781 par Jean-Dominique Cassini, dit Cassini IV ou Cassini de Thury (1748-1845), dans une salle intégrée à un ensemble de cabinets d'observations attenant au bâtiment principal de l'Observatoire de Paris.

Les deux quarts de cercle font un nombre limité d'observations dans les années 1800-1820. On se borne surtout aux observations quotidiennes

nécessaires à la détermination astronomique de l'heure. Le quart de cercle de Sisson cesse d'observer à Paris en août 1819, et il est envoyé à Lyon en 1835. Celui de Bird cesse d'observer en 1823 et reste à Paris.

Le quart de cercle de Sisson a probablement très peu servi aux astronomes lyonnais, mal installés au lycée Ampère, ex-collège de la Trinité. Il est transféré au Palais Saint-Pierre en décembre 1867 et à l'actuel Observatoire de Lyon en 1879. Il reste accroché pendant un siècle au mur Nord de la grande salle méridienne de l'observatoire.

Conclusion

Après avoir reconstitué le parcours du quart de cercle conservé à l'Observatoire de Lyon, nous avons eu à cœur de protéger et de valoriser cet instrument. Le premier objectif a été atteint récemment, puisque la commission nationale des Monuments Historiques vient de classer l'instrument (juin 2007).

La valorisation du quart de cercle sera assurée par sa restauration et son exposition au futur Musée des Confluences, qui doit ouvrir ses portes à Lyon fin 2009. Signalons également un projet de copie, à l'échelle $\frac{1}{4}$, de ce quart de cercle, piloté par Jean-Baptiste Butet, professeur de physique au lycée Lalande de Bourg-en-Bresse. La copie doit être réalisée par les élèves du lycée professionnel Joseph Marie Carriat de Bourg-en-Bresse.

Nous espérons que ces mesures éviteront que ce quart de cercle retombe dans l'oubli jusqu'au prochain centenaire de la mort de Lalande !

Remerciements

Nous remercions Guy Boistel (Centre François Viète, Université de Nantes) et Françoise Le Guet Tully (Observatoire de la Côte d'Azur) pour les pistes bibliographiques qu'ils nous ont communiquées.

Références

BIGOURDAN, Guillaume, 1931, *Le Bureau des Longitudes. Son histoire et ses travaux de l'origine (1795) à ce jour*, Annuaire du Bureau des Longitudes, année 1931, Paris, Gauthier-Villars.

DELAMBRE, Jean-Baptiste, 1827, *Histoire de l'Astronomie au XVIIIème siècle*, Paris, Bachelier.

LALANDE, Jérôme de, 1771, *Astronomie*, A Paris, chez la Veuve Desaint, deuxième édition en 4 volumes (1771-1781).

MARCHAND, Emile, 1907, *Jérôme Lalande et l'astronomie au XVIII^e siècle*, conférence faite à Bourg en Bresse le 26 novembre 1903 sous les auspices de la Société d'Emulation de l'Ain, Imprimerie de l'Ain, Bourg en Bresse.

WOLF, Charles, 1902, *Histoire de l'Observatoire de Paris de sa fondation à 1793*, Paris, Gauthier-Villars.



Dans le numéro de Juillet-Août de la revue L'Astronomie de la Société Astronomique de France, vous pourrez découvrir un excellent portrait de Jérôme Lalande.

*Pour avoir une biographie chronologique détaillée de cet astronome à la fois talentueux et ambitieux, vous pourrez lire aussi le nouveau livre de Simone Dumont : **Un astronome des lumières** (voir notre rubrique : lecture pour la marquise).*

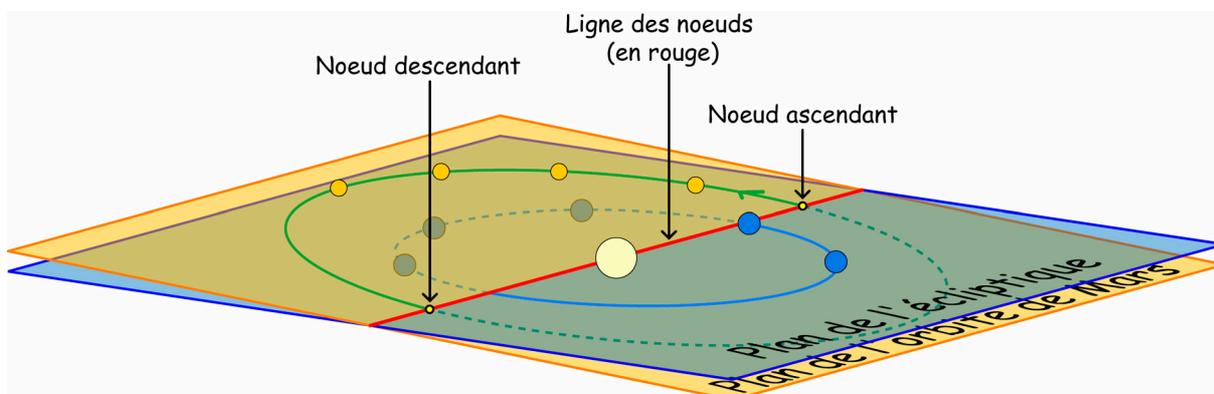


Vous y apprendrez par exemple, que la précision de pointé du quart de cercle de Sisson, dont il vient d'être question, était de 15 secondes d'angle. C'est l'angle sous lequel on voit une pièce de 1€ placée à 316 mètres. Faites l'expérience, vous comprendrez mieux la performance.

Les boucles de rétrogradation de Mars

Pierre Causeret,
pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : En ce mois de décembre, Mars est à l'opposition, en plein milieu et au plus haut de sa boucle de rétrogradation (voir le dernier Cahier Clairaut page 33). En 2003, la boucle était tournée dans l'autre sens alors qu'en 2005, Mars a suivi une trajectoire en forme de Z. Comment peut-on expliquer et prévoir la forme de ces différentes boucles ? Ce peut être une question intéressante de recherche à donner à des élèves après avoir étudié le principe de la rétrogradation, il suffit de leur fournir les courbes.



Le plan de référence est toujours le plan de l'écliptique. Le plan de l'orbite de Mars coupe ce plan en deux points appelés noeuds.

Si les planètes tournaient autour du Soleil toutes dans le même plan, on les verrait toujours sur l'écliptique et les boucles de rétrogradation seraient totalement aplaties. Le sens habituel du mouvement de Mars par rapport aux étoiles est de la droite vers la gauche si on place le nord en haut. Il provient du sens de déplacement de Mars autour du Soleil. Pendant la rétrogradation, il est de la gauche vers la droite quand la Terre dépasse Mars. À ce déplacement "horizontal", il faut rajouter un mouvement "vertical" (nord sud) dû à l'inclinaison du plan de l'orbite de Mars par rapport au plan de l'orbite de la Terre ou plan de l'écliptique, qui vaut à peine 2° ($1^\circ 51'$). L'orbite de Mars coupe le plan de l'écliptique en deux points appelés noeuds. Mars est au noeud ascendant en passant du sud au nord du plan de l'écliptique et au noeud descendant en passant du nord au sud.

Voyons différentes rétrogradations et la forme des "boucles" obtenues. Toutes les figures qui suivent sont faites à la même échelle. La position de Mars est indiquée tous les 5 jours pendant les 8

mois entourant l'opposition. Rappelons que l'opposition (alignement Soleil Terre Mars) correspond au milieu de la rétrogradation. Les termes de haut et bas, monter et descendre, sont utilisés par rapport au nord de l'écliptique que l'on place en haut.

En 2003



28 février 2003 : passage de Mars au noeud descendant de son orbite.

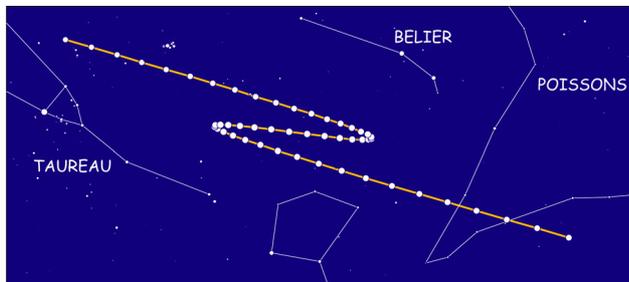
4 août 2003 : Mars est au plus bas (latitude écliptique héliocentrique minimale).

28 août 2003 : opposition de Mars.

29 décembre 2003 : passage de Mars au noeud ascendant.

Pendant toute la rétrogradation, Mars était sous le plan de l'écliptique, passant au plus bas presque au moment de l'opposition. On obtient une belle boucle dirigée vers le bas.

En 2005

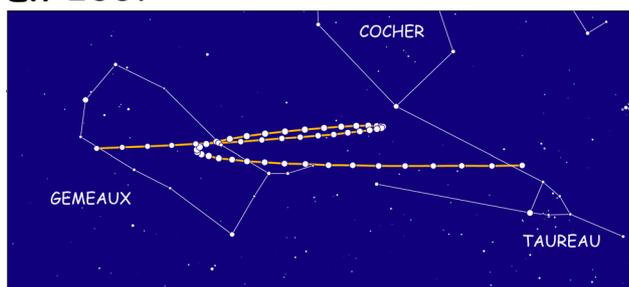


7 novembre 2005 : Opposition de Mars.

15 novembre 2005 : Mars passe au noeud ascendant.

Pendant toute la rétrogradation, Mars n'a fait que monter, passant du sud au nord du plan de l'écliptique. On obtient un superbe Z.

En 2007

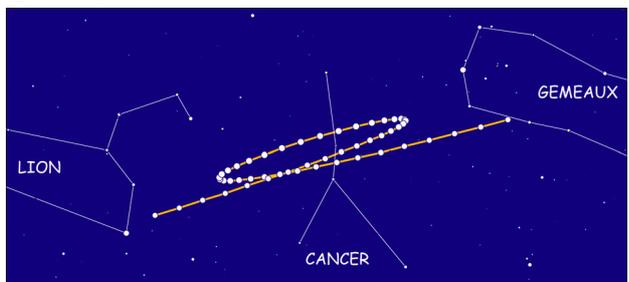


3 octobre 2007 : passage au noeud ascendant.

24 décembre 2007 : opposition de Mars.

Mars monte au début de la rétrogradation. Le passage au noeud ascendant ayant eu lieu presque trois mois avant l'opposition, la boucle n'est pas symétrique.

En 2010



20 août 2009 : passage au noeud ascendant.

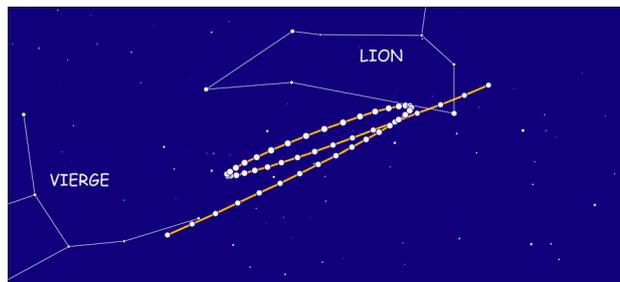
29 janvier 2010 : opposition de Mars.

21 février 2010 : Mars est au plus haut (latitude écliptique maximale).

7 septembre 2010 : passage au noeud descendant.

La situation ressemble à celle de 2003 mais inversée. Le milieu de la rétrogradation correspond presque à la position la plus haute de Mars. On obtient encore une belle boucle, mais orientée vers le haut.

En 2012



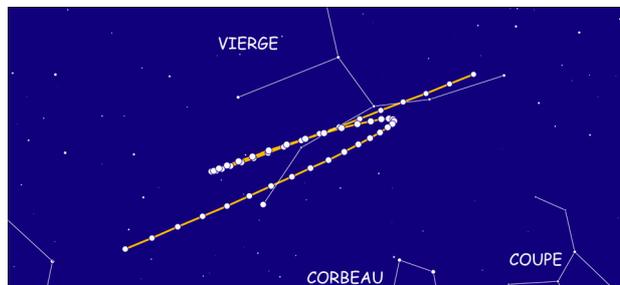
9 janvier 2012 : Mars est au plus haut (latitude écliptique maximale).

3 mars 2012 : opposition de Mars.

25 juillet 2012 : passage au noeud descendant.

Les paramètres ont peu changé par rapport à la dernière rétrogradation. Le passage au plus haut de Mars a lieu un peu avant l'opposition au lieu d'avoir lieu un peu après. La forme de la boucle est similaire mais Mars redescend plus rapidement.

En 2014



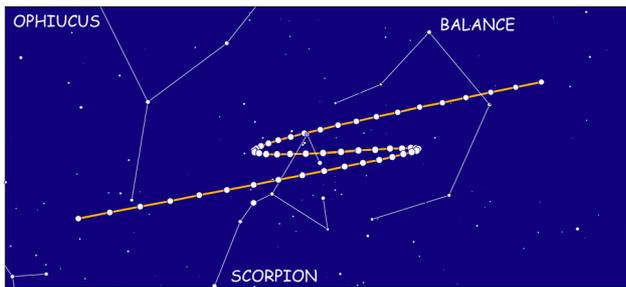
26 novembre 2013 : Mars est au plus haut (latitude écliptique héliocentrique maximale).

8 avril 2014 : opposition de Mars.

11 juin 2014 : passage au noeud descendant

Pendant les mois qui précèdent l'opposition, la hauteur de Mars au-dessus de l'écliptique est quasiment constante, vue depuis la Terre. En effet, alors que Mars redescend légèrement tout en restant au nord de l'écliptique, la Terre s'en approche, ce qui maintient à peu de choses près sa latitude écliptique géocentrique. Le début de la boucle est ainsi presque linéaire. Mais ensuite, Mars descend rapidement.

En 2016



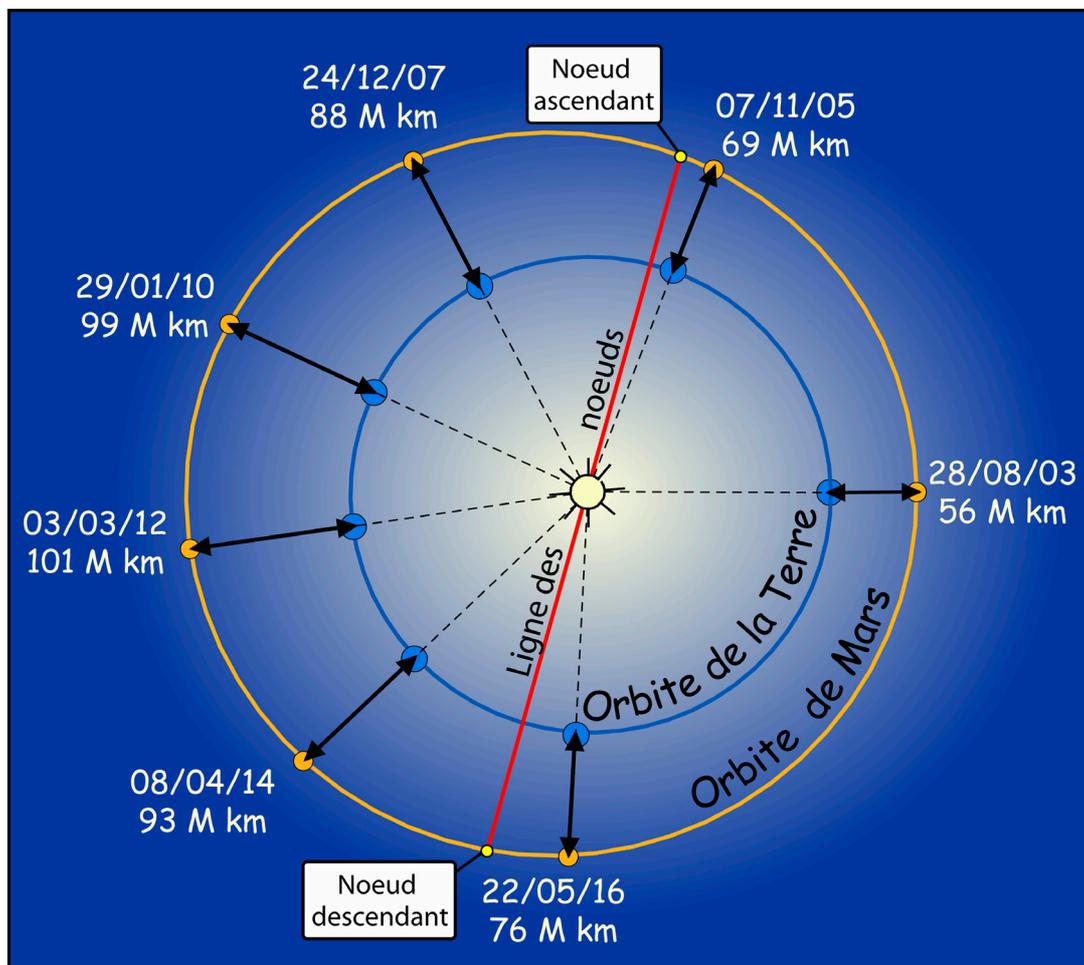
28 avril 2016 : passage au nœud descendant.
22 mai 2016 : opposition de Mars.

Pendant toute la rétrogradation, Mars redescend en suivant une belle forme de S.

Compléments

Tous les schémas précédents sont réalisés à la même échelle. Il est amusant de voir que la longueur de la rétrogradation est très variable. Elle était minimale en 2003, quand Mars est passé au plus près de la Terre, le périhélie de Mars ayant eu lieu à la même époque. Par contre, lors des rétrogradations de 2010 et 2012 qui se passent au voisinage de l'aphélie, la boucle est beaucoup plus large.

On peut aussi vérifier que les différentes rétrogradations ne se déroulent pas devant les mêmes constellations. L'intervalle de temps moyen entre deux oppositions (révolution synodique) est de 780 jours soit, 2 ans et 50 jours. Les dates se décalent de 50 jours en moyenne et les rétrogradations de 50° sur l'écliptique, donc d'une ou deux constellations du zodiaque.



Les oppositions de Mars de 2003 à 2016

REMUE-MÉNINGES

Le bon choix de Friedrich Wilhelm Bessel, en 1838

L'étoile 61 Cygni est une étoile assez peu lumineuse (magnitude 5,2) qui, comme son nom l'indique, appartient à la constellation du Cygne. C'est la première dont on ait déterminé la distance, en 1838, par une méthode de parallaxe. Le principe est de mesurer une légère modification de position par rapport à des étoiles lointaines à 6 mois d'intervalle, quand la Terre s'est déplacée de 300 millions de km. Située à 3,5 parsecs (11 années de lumière), 61 Cygni fait effectivement partie des étoiles les plus proches puisque, par ordre de distance à la Terre,

elle est en douzième position. Et pourtant il y a environ 2000 étoiles plus brillantes que 61 Cygni, donc susceptibles, a priori, d'être plus proches. Alors pourquoi avoir choisi une étoile si banale et si peu lumineuse pour essayer de mesurer une parallaxe ?

Pierre Causeret

La solution de ce remue-ménages est donnée en page 40

Question subsidiaire

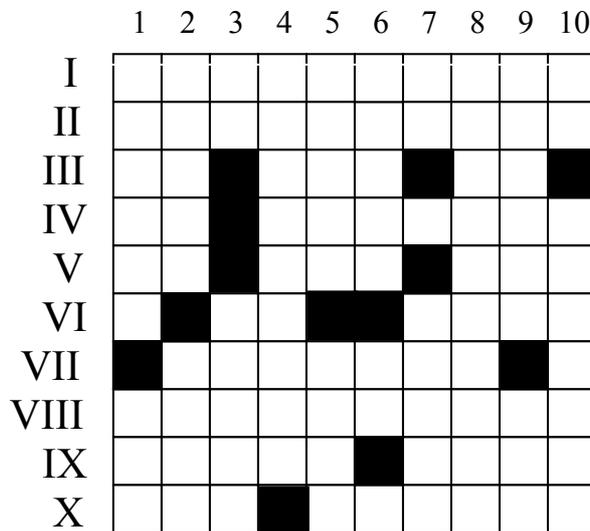
Quel est le nom de l'étoile la plus proche de nous ?

Solution page 40

Mots croisés

Horizontalement:

I: Extra solaire.
II: Comme la Terre. **III:** Pige - Pronom - En Chaldée.
IV : Saint Breton - Attirant.
V: Fait parler - Tente - Fait revenir. **VI:** Étain - Installa.
VII: Façonner un miroir.
VIII: Procédé de cémentation. **IX:** Senteur - Composante d'un spectre.
X: Personnel - Utilisée pour boire.



Verticalement:

1: Calibre - Blesse parfois. **2:** Gaz rare - Surface de révolution.
3: Soutenu par les Lyonnais - Cycle lunaire. **4:** Radionucléide artificiel (période : 24000 ans).
5: Comptées par les Sioux - Marque japonaise d'optique (à l'envers). **6:** Sable - Note du chef. **7:** Nickel - Imbu. **8:** Assure le suivi pendant l'observation. **9:** Chambres - Ancienne

langue. **10:** Voyelle doublée - Laisée par une étoile filante.

Jipé

La solution de ces mots croisés est donnée en page 40

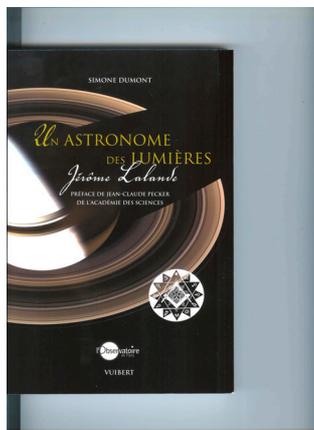
LECTURE POUR LA MARQUISE

Un astronome des lumières : Jérôme Lalande

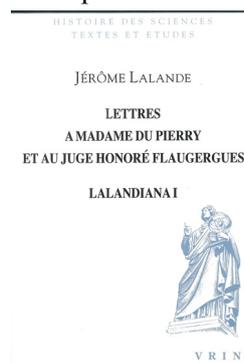
Simone Dumont aux Éditions Vuibert.
Préface de Jean-Claude Pecker.
ISBN 2 02 085500 3

Jérôme Lalande fut un astronome mal aimé des grands ; il est mal connu aujourd'hui. Simone Dumont lui rend justice en retraçant les quatre grandes étapes de la vie de ce savant "souvent attachant, parfois irritant".

Le livre est un remarquable travail historique qui nous fait parcourir toute une époque riche en avancées scientifiques, en astronomie en particulier. J'ai bien aimé l'introduction de notre Président d'honneur, Jean-Claude Pecker, qui souligne le courage du savant, qui, interdit de parole par Napoléon, n'hésitait pas à s'installer sur le Pont-Neuf pour faire la promotion de l'astronomie.



Jérôme Lalande aurait sans doute été un excellent correspondant académique du CLEA ! J'ai été



touché par le tout début de cette introduction qui constitue un émouvant plaidoyer pour la liberté de pensée, liberté parfois si mal menée.

Enfin, j'ai beaucoup apprécié les citations dépeignant le caractère du savant. Je dois avouer que j'y ai découvert plein de traits de caractères qui m'ont rendu Jérôme

Lalande plus sympathique que je ne le pensais auparavant.

Vous trouverez aussi aux éditions VRIN (ISBN 978-2-7116-1939-9) des lettres de Jérôme Lalande présentées par Simone Dumont et Jean-Claude Pecker.

GP ■

Georges et les secrets de l'Univers.

Lucy et Stephen Hawking. Ed Pocket Jeunesse.
ISBN 978-2-266-17645-3.

Lucy Hawking, écrivain, a imaginé, avec son père, Stephen Hawking, physicien mondialement connu, un roman d'initiation pour les 8-14 ans ou... pour qui aura gardé une âme d'enfant.

Tout y est : action, suspens, méchants camarades de classe et méchant professeur de... mathématiques qui harcèlent Georges, le jeune héros.

Ce récit est destiné à tenir en haleine le lecteur qui va faire connaissance, au fil du

récit, des comètes, des planètes, du vide spatial... Il y découvrira même un trou noir dont un des héros pourra sortir grâce à la radiation de Hawking qui dit que les trous noirs « s'évaporent » petit à petit.

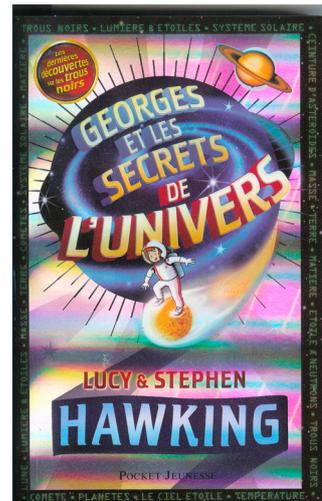
En dehors de cette initiation, les auteurs transmettent deux messages au jeune lecteur : 1) la science ne doit pas servir à des fins de profit et de destruction (Georges doit prêter le serment scientifique avant d'être initié). 2) science et protection de la planète peuvent œuvrer ensemble.

Ce livre est donc une bonne idée de cadeau qui peut éveiller la curiosité des plus jeunes. Le deuxième tome est annoncé pour septembre 2008... il restera donc un an pour répondre aux questions qu'il va susciter !!

J-N T

Liste de diffusion, ou, "Comment pouvoir poser des questions et recevoir des réponses", avoir accès à des images du CLEA etc., via le Web

Les adhérents qui souhaitent être inscrits peuvent envoyer un message à : jripert@ac-toulouse.fr
C'est gratuit !



LA VIE ASSOCIATIVE

EEA2007 du col Bayard à Gap



L'École d'Été d'Astronomie 2007 s'est déroulée dans la bonne humeur et le travail sérieux. Cette année nous avons bénéficié de la présence de deux jeunes astronomes professionnels : Christophe Adami et Delphine Russeil.

Voici des dates à retenir dès à présent pour participer à l'EEA 2008.

Du 22 au 29 août 2008

Un atelier sera consacré à la préparation de l'année mondiale de l'astronomie en 2009 (AMA09).

Au fil des perles des enseignants, des astronomes et des autres

DEUX « LUNES » DANS LE CIEL

Le 27 août (un LUNDI), à Minuit 30 minutes, regardez dans le ciel. La planète Mars sera la plus brillante dans le ciel étoilé. Elle sera aussi grosse que la pleine lune. Cela se passera le 27 août (LUNDI) prochain, à minuit et 30 minutes, Mars sera à 34,65 millions de miles de la Terre.

Ne croyez pas tout ce qui circule sur le web ! Cette information fantaisiste est évidemment fausse. Mars n'est jamais assez proche pour avoir un diamètre apparent comparable à celui de la Lune. En revanche, ce qui est vrai est qu'un tout petit astéroïde du nom poétique 6R10DB9 s'est satellisé le temps de quelques révolutions autour de la Terre. Il y a donc bien eu deux "Lunes" autour de la Terre, l'espace d'un instant.

Les auteurs du message ci-dessus ont probablement mal compris l'information.

Compte rendu de l'Assemblée Générale du CLEA, le 18 novembre au Palais de la découverte.

Cette année l'AG a été organisée, par Marie-Agnès LAHELLEC au Palais de la découverte

En raison des grèves dans les transports, certains membres n'ont pas pu participer. Néanmoins, 60% environ des gens prévus étaient présents. Nous avons eu des exposés tous remarquables et la conférence d'André BRAHIC restera inoubliable. C'est bien ce qu'il fallait pour célébrer les 30 ans du CLEA.

Étaient présents ou représentés 96 adhérents : ACKER Agnès, AUGÉ Annick, AUGER Carl, BALIN Dominique, BARDIN Daniel, BELET André, BERLIOUX Jacques, BERNARD Dominique, BIGOT Christian, BIRON Madeleine, BOBIN Michel, BOTTINELLI Lucette, BOURGOIS Daniel, BREMOND Alain ; BUREAU GONTIER Sophie, CAGNARD Jean-Michel, CAUSERET Pierre, CHAGRIN Françoise, CHANAL Daniel, CHEVALY André, COLLONGUES Daniel, CONVERS Jean Pierre, DAHRINGER Frédéric, DALLA TORRE Jean, DEBARBAT Suzanne, DEBOST Marie-Hélène, DUMONT Simone, DUVAL Marie-France, ESPINAT Daniel, FAUGÈRE René, FERRARI Cécile, FOUQUET Jean-Luc, GARREAU Brigitte, GAUDRAIN Joël, GAUTIER Youri, GERBALDI Michèle, GOUGUENHEIM Lucienne, GOUTVERG Philippe, HADAMCIK Edith, HESS Gérard, HUET Alain, JACQUELIN Jean, JOSSELINE Éric, JOUBIN Daniel, LAGIEWKA LEFEVRE Gérard, LAHELLEC Marie Agnès, LAMBERT Dominique, LAPOTRE Philippe, LARCHER Christian, LE GUET TULLY Françoise, LE LAY Claire, LEGRAND Eliane, LEPOIVRE Olivier, LESCURE Régine, LOUIS Anne-Marie, MARTIN André, MATHIEU Alain, MAUBOURGUET Albert, MAUREL Danièle, , MAYER Lucette, MEUNIER Roger, MINIERE Patrice, MOREELS Guy, MULLER Lionel, OSMAN Robert, PADELOUP Eugène, PALA Jean-Luc, PASCAL Daniel, PASKOFF Marie-Claude, PATUREL Anne-Marie, PATUREL Georges,

PAUPART Daniel, PEDRON François, PETIT Annie, PEYBERNARD Michèle, PONS Michel, RAUGEL-DURAND Marie-Claire, REY Danièle, RICHELMI Roger, RIPERT Jean, ROBERT Jean-Luc, SANDRE Béatrice, SEMERJIAN Claudine, SIMON Blaise, STIERS José, TAKVORIAN Renelle, TERRY Jean-Noël, THOREL Jean-Claude, TOUSSAINT Daniel, VANGIONI Pierre, VIENNEY Jean-Michel, VIGNAND Michel, VIGNON Catherine, VIGOUROUX Charles-Henri, VILAS Liliane, WEILL Laurent

Rapport moral de notre président Georges Paturel. Rappel des activités de 2007 et des projets pour 2008 et 2009.

Rapport financier de notre trésorier Jean Ripert

Avoir Novembre 2003

Compte postal : 64 459,25 €; Livret A : 44 225,58 €; Total : **108 684,83 €**

Dépenses de Novembre 2003 à Novembre 2004

CC Impression et routage (CC 116, 117, 118, 119) : 16217,78 €; Communication (tirage DVD, envois promotionnels, ...) : 2205,51 €; A.G 2006 : 868,21 €; Assurance : 550,52 €; Fonctionnement général (timbre, fournitures, frais bancaires) : 949,22 €; salaires : 6039,00 €; Déménagement : 2717,10 €; EEA 2007 (école d'été) : 10968,25 €; DU-astro : 157,50 €; Remboursement (trop perçu) : 194,58 €; virement sur le livret d'épargne : 20 000 €;

Soit un total de **60 867,67 €**

Recettes de Novembre 2003 à Novembre 2004

Abonnements Cahiers Clairaut (535 abonnés) : 15 439,58 € (dont trop perçu de 194,58 €); Adhésions (592 adhérents) : 2 960 €; Intérêts livret A : 1125,90 €; Starlab (9 semaines à 80 €) : 720 €; Ventes : 2614,63 €; EEA2006 : 391,20 €; EEA2007 : 4856,75 €; AG2006 (repas) 682 €; virement depuis CCP 20 000 €.

Soit un total de **48 790,06 €**

Bilan de l'année écoulée.

Dépenses 60 867,67 €; Recettes : 48 790,06 € soit un **déficit de 12 077,61 €**

Avoir Novembre 2006

Compte postal : 45801,55 € et Livret A : 46191,01 €; Total = **91992,56 €**

Donc solde en novembre 2007 : 91992,56 - 12 077,61 = 79 914,95 €

Rapprochement : Actuellement, nous avons Compte postal : 12 598,04 € et Livret A : 67 316,91 €

Nous vivons actuellement un peu au dessus de nos moyens, mais ce n'est pas catastrophique, surtout que certaines dépenses sont exceptionnelles. Après quelques questions et présentations de tableaux montrant l'évolution des différents postes, **le quitus est donné à l'unanimité à notre trésorier.**

Renouvellement du Conseil (nouveaux entrants en rouge)

Au moment du vote, 91 adhérents votèrent. Sur 91 bulletins exprimés et 91 voix pour :

ACKER Agnès, BALIN Dominique, BARDIN Daniel, BERNARD Dominique, BERTHOMIEU Francis, BILLARD Francine, BOBIN Michel, BOTTINELLI Lucette, BOUTEVILLE Gilles, BRAHIC André, CAUCHOIS Michel, CAUSERET Pierre, DUPRÉ Jacky, DUVAL Marie France, EYRAUD Charles-Henri, FERRARI Cécile, FOUQUET Jean-Luc, GOUGUENHEIM Lucienne, JOSSELIN Eric, **JOUBIN Daniel**, LAHELLEC Marie-Agnès, LARCHER Christian, MAUREL Danièle, MAYER Lucette, MERLIN Philippe, MULLER Lionel, PATUREL Georges, PECKER Jean-Claude, **PEDRON François**, PETIT Annie, PETIT Jean, RIPERT Jean, SANDRÉ Béatrice, SCHATZMAN Évry, SERT Josée, TERRY Jean-Noël, VALORGE Céline, **VIENNEY Jean-Michel**, VIGNAND Michel, VILAS Liliane.

Renouvellement du Bureau

Cette année nous avons souhaité voter pour le Bureau au moment de l'AG. C'est pour cela que nous avons demandé aux membres potentiels du Conseil d'envoyer un pouvoir en cas d'absence à l'AG.

Sur les 40 membres du Conseil, 28 étaient présents ou représentés. Le Bureau suivant a donc été élu :

Président : PATUREL Georges, **Vice-président** : JOSSELIN Eric, **Trésorier** : RIPERT Jean, **Trésorier adjoint** : DUPRE Jacky, **Secrétaire** : LARCHER Christian, **Secrétaire adjoint** : CAUSERET Pierre, **Rédacteur Cahiers Clairaut** : PATUREL Georges, **Responsable du site web** : BERTHOMIEU Francis

Nous vous parlerons bientôt de spectroscopie

Plusieurs de nos membres s'y consacrent, en particulier grâce aux nouveaux spectrographes, aujourd'hui disponibles.

La société Shelyak Instruments - dans la région de Grenoble - conçoit, fabrique et distribue une gamme complète de spectroscopes: -le "Star Analyser 100" (110EUR TTC), un réseau de 100 traits/mm monté sur un support porte-filtre standard en astronomie;-le "Lhires Lite" (990EUR TTC) pour observer visuellement le spectre du Soleil ou de lampes spectrales en très haute résolution (réseau de 2400traits/mm), idéal pour l'animation scientifique en club ou en classe;-le "Lhires III" (2570EUR TTC), spectrographe haute résolution (réseau de 2400 traits/mm) pour analyser en détail les profils spectraux d'étoiles et autres objets célestes; résolution modifiable avec bloc réseaux en option (150 traits/mm au 1200 traits/mm), adaptation appareil photographique reflex ou caméra CCD, port de guidage intégré.



LE COURRIER DES LECTEURS

Retour sur le GPS

J'avais promis d'apporter une précision sur l'affirmation que le GPS que nous utilisons dans nos voitures était la première application quotidienne de la Relativité Générale (RG).

La localisation du récepteur GPS se fait par mesure du temps de trajet d'une onde entre des satellites et le récepteur. La précision ordinaire est d'une dizaine de mètres environ. Cette incertitude correspond à une incertitude sur le temps de mesure de 3×10^{-8} sec (30 milliardièmes de seconde).

Calculons maintenant l'incertitude relative due, selon la RG, au changement du potentiel gravitationnel entre satellite et récepteur (avec des notations évidente) :

$$\left| \frac{\Delta v}{v} \right| \approx \left| \frac{\Delta t}{t} \right| \approx \left| \frac{\Delta l}{l} \right| = \left| \frac{GM}{c^2} \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r} \right) \right| = 5 \times 10^{-10}$$

M et R sont la masse et le rayon de la Terre et r le rayon de l'orbite du satellite ($r = 20000$ km). Le résultat est $\Delta l \approx 1$ cm, soit mille fois inférieur à l'incertitude observée. Donc, la correction de RG semble négligeable, du moins, pendant le temps de trajet de l'onde entre le satellite et le récepteur. C'est ce que j'avais conclu, en première analyse.

Mais en fait, l'horloge atomique du satellite dérive constamment par rapport à l'horloge atomique terrestre, selon la relation précédente, en accord avec la RG. Ce décalage ne doit pas être pris pour une variation de position du récepteur. Calculons le, par exemple, après une période de révolution du satellite ($T = 28000$ s). Le défaut de synchronisation est alors :

$$\Delta t = 5 \times 10^{-10} \times 28000 = 10^{-5} \text{ s (soit } \Delta l = 4200 \text{ m)}$$

Donc, si les horloges étaient synchronisées seulement à chaque révolution, il faudrait prendre en compte la correction de RG, faute de quoi l'incertitude sur la position serait inacceptable. L'affirmation de Jean-Claude Carrière, que nous citons dans le dernier Cahier, semble donc bien fondée. La correction de Relativité Restreinte (due à la vitesse relative entre le satellite et le récepteur) doit aussi être prise en compte.

Notons que des mesures relatives sont possibles en se référant à une station terrestre de position connue. La précision devient alors bien meilleure que la précision couramment atteinte par nos GPS de voiture.

GP (rien à voir avec GPS !) ■

Une maternelle de haut niveau

Vous trouverez en pièce jointe quelques réflexions (voire l'article à la rubrique "Réflexions") sur l'article "Astronomie en maternelle", publié dans le Cahier Clairaut 119, page 4. Cet article a suscité des réactions, parfois un peu vives. Nous publions la réaction la plus constructive rédigée par Liliane Vilas. Une lectrice (Madame Anne-Marie Louis, de Villepreux -78) conclut heureusement :

Enfin ce n'est pas grave ; les articles de Madame Sandré et de Madame Vilas sont toujours fort intéressants. Faites aussi tous mes compliments à Monsieur Causeret pour l'ensemble de ses articles ! [...]

Einstein mal traité !

Nous avons recommandé à la "Marquise" la lecture du livre de François de Closets. Nous avons justifié l'intérêt que nous y avons trouvé : essentiellement une présentation humaine du savant. Certes, ce livre n'était résolument pas un livre d'historien, mais il nous semblait présenter un certain intérêt. Un de nos lecteurs, Pierre Magnien, nous livre un point de vue nettement plus critique, preuve absolue que tout est relatif. Nous l'en remercions vivement.

Le livre de F. De Closets est écrit avec brio et sa construction dynamique en permet une lecture facile. De nombreux passages sont intéressants et présentent les choses d'une manière pertinente. Malheureusement cette première (bonne) impression est vite tempérée car la vision quelque peu romancée qui nous est donnée ici est quelquefois excessive, voire incohérente, et contient, aussi bien sur la vie d'Einstein que sur son œuvre, des erreurs, des approximations et des conclusions dont les bases sont, pour le moins, peu solides. Pour illustrer cela, développons quelques impressions de lecture.

Une des intentions du livre est d'essayer de démontrer que la vie d'Albert Einstein a basculé très brutalement à 40 ans sur tous les plans (personnel et scientifique) : on serait passé d'un « génie triomphant » à un « savant de parade ». Ceci est très réducteur et la démonstration peu convaincante ! Rappelons, en se limitant à son activité scientifique, que l'énonciation du paradoxe EPR cherchant à montrer l'incomplétude de la mécanique quantique date de 1935 alors que sa solution a dû attendre 1982 : prêt de 50 ans pour résoudre un problème posé par Einstein alors qu'il avait déjà 56 ans montre que les « dents du vieux lion » étaient encore bien affûtées !

Les différents épisodes de sa vie privée sont abondamment développés et donnent lieu à des

jugements de valeur qui vont bien au-delà de ce qu'il est possible de dire à partir des documents disponibles. Le cas de sa première fille Lieserl que l'on n'a découvert qu'en 1986 est exemplaire : affirmer qu'Einstein a « abandonné » cette dernière n'est pas convenable lorsque l'on connaît la maigreur des documents disponibles sur le sujet qui se résument à quelques lettres échangées entre le savant et sa future épouse. F. De Closets les utilise d'ailleurs mal puisqu'il ne donne pas le bon nombre de lettres échangées, et attribue à l'un ce qui a été écrit en réalité par l'autre ! Ce dernier point permet d'ailleurs de charger encore un peu plus le pauvre Einstein !

Certains traits de caractères qui lui sont attachés sont surprenants et leur attribution au savant repose plus souvent sur des impressions que sur des faits avérés : opportuniste, anarchiste (il faut se rappeler le sens de ce mot au début du XX^e siècle), égoïste, solitaire, ingrat, misogyne voire macho ! F. De Closets va jusqu'à poser la question : "Albert Einstein cache-t-il un monstre froid ?"

La présentation de son « antagonisme » avec Henri Poincaré n'est pas entièrement impartiale et surtout trop simplifiée. Visiblement F. De Closets n'a pas compris que Poincaré et Einstein ont développé chacun de leur côté une relativité basée sur des principes différents et qu'il n'y a pas vraiment de filiation entre les travaux du premier et ceux du second, hormis quelques lectures précoces d'Einstein (voir pour plus de détails sur cette question le livre de Jean Marie Vigoureux, chez Ellipses, « L'univers en perspective »)

F. De Closets semble également avoir des problèmes de compréhension avec la physique et, bien qu'il se mette, dès son introduction, sous la protection d'une physicienne reconnue, de nombreuses erreurs, dont certaines graves, sont restées. On peut citer, parmi d'autres, le passage suivant :

Une grue travaille plus facilement en pesanteur lunaire que terrestre mais qu'en serait-il d'une automobile ? L'expérience a été faite avec la fameuse Jeep lunaire qu'utilisaient les astronautes d'Apollo. Sur Terre, elle pesait 210 kilos et, là-bas, 35 seulement. Les astronautes pouvaient donc la soulever lors des missions, mais en auraient été incapables lors des répétitions. Le poids a diminué puisqu'il dépend de la gravité, mais la propulsion, elle, est liée à l'inertie. Il faut la vaincre pour faire démarrer le véhicule. Pourtant les ingénieurs de la Nasa avaient prévu une motorisation très réduite. Ils savaient qu'en conservant le moteur utilisé sur Terre, ils auraient provoqué une embardée sur la Lune. La Jeep aurait bondi comme une F1 au risque de se précipiter dans le premier cratère venu. **Ils avaient prévu que l'inertie du véhicule se réduirait à l'égal de son poids.** Imaginons maintenant que la Jeep ait été équipée de puissants aimants permanents. **Sur la Lune, ceux-ci auraient été plus légers, leur inertie aurait diminué, mais leur puissance magnétique serait restée la même.**

Cette carence a un deuxième inconvénient : la partie scientifique étant plutôt faible, l'œuvre d'Einstein n'est

pas vraiment valorisée d'autant plus que ses soi-disant « errements », à la fin de sa vie, et sa prétendue « incompréhension » de la mécanique quantique sont présentés d'une manière "pathétique".

Pour finir, aucun schéma ne vient aider le lecteur pour mieux comprendre ce qui est dit dans le texte, aucun index n'est disponible, aucune bibliographie n'est donnée. Il aurait d'ailleurs été intéressant de connaître les ouvrages originaux d'Einstein et de ses contemporains ayant permis à François De Closet de construire sa vision « originale » du grand savant. Pour ma part, rien de ce que j'ai pu lire ne confirme cette approche surprenante de la question.

Il ne s'agit pas de charger exagérément ce livre qui a quelques belles pages, mais le problème est que l'impression qui risque de rester dans l'esprit du lecteur qui n'aura pas d'autre source d'informations sur le savant et son œuvre est celle d'un homme qui a raté sa vie personnelle par égoïsme et a fini sa vie professionnelle dans un échec lié avant tout à son entêtement insensé. Il faut donc prendre une certaine distance par rapport à la vision de F. De Closets, ce qui n'est pas forcément facile pour quelqu'un qui découvre le personnage d'Albert Einstein avec cette lecture et conservera des impressions très réductrices et outrancières sans pour autant mieux comprendre son œuvre qui continue à irriguer et enrichir la physique d'aujourd'hui.

Malgré ces nombreux défauts, le contenu de ce livre est une base "intéressante" pour mieux connaître Albert Einstein mais il serait dommage qu'il devienne la référence en la matière. D'autres biographies plus intéressantes ont été publiées et sont malheureusement moins bien connues.

Pierre Magnien
Enseignant physique - Besançon

Erreur imaginaire ou pas !

Suite à notre remue-méninges du trimestre précédent nous avons eu deux critiques que nous acceptons bien humblement. En voici une (l'autre, assez similaire, venait de notre Président d'honneur, J.C. Pecker). Je vous expliquerai ensuite ma justification.

Lecteur assidu des cahiers Clairaut, j'ai parfois tiqué à propos des « Remue-méninges » utilisant des paradoxes mathématiques. Le dernier (page 35 du numéro 119) est très banal, mais l'explication que vous en donnez page 40 est complètement erronée !

Contrairement à ce que vous affirmez, la racine carrée d'un nombre complexe existe pour tous les complexes, qu'ils soient réels ou non :

- Le nombre 0 ne possède qu'une seule racine carrée : $0^2 = 0$

- Tous les autres nombres complexes ont deux racines carrées distinctes et opposées.

L'égalité $i^2/1 = 1/i^2$ est correcte. Puis, vous passez aux racines. Il est clair que l'implication :

$$9 = 9 \Rightarrow \sqrt{9} = -\sqrt{9} \quad \text{soit } 3 = -3$$

n'est pas excessivement subtile. La fraude est un peu trop facile à détecter ! Or c'est exactement ce que fait votre "remue-méninges" :

Les deux racines de i^2 sont i et $-i$ (qui est égal à $1/i$). Lorsque vous passez aux racines, pour $i^2/1$ vous prenez i et pour $1/i^2$ vous prenez $1/i$ qui est égal à $-i$ et vous écrivez avec aplomb que $i = -i$; tout comme $3 = -3$.
[...]

Michel DUMONT
Levesville, le 7 octobre 2007
Astronome amateur (variabiliste).
Professeur de Mathématiques

Voici ma réponse. La racine carrée de a est définie dans les manuels de collèges comme le **nombre positif** dont le carré est égal à a (voir la copie d'un manuel ci-dessous).

Partant de $\frac{i^2}{1} = \frac{1}{i^2}$, on en tire $1 = i^4$ (ce qui est correct). En prenant la racine carrée (toujours pour les collèges), on croit trouver $1 = i^2$, ce qui est faux. Nous avons bien $\sqrt{1} = 1$, mais je persiste à dire que nous n'avons pas le droit d'écrire $\sqrt{i^4} = i^2$ (c'est pour cela que nous ne l'écrivons pas), car la racine carrée de i^4 n'est pas définie, i^4 n'étant pas un **nombre positif**, comme le veut la définition du manuel.

Merci néanmoins pour ce commentaire et, Dieu merci, il y avait bel et bien une erreur dans ce piège.

GP ■

REtenir le cours

1 Racine carrée d'un nombre positif

Définition
Soit a un nombre positif. On appelle **racine carrée de a** , et on note \sqrt{a} , le seul nombre positif dont le carré est a .

\sqrt{a} est la racine carrée de a , \sqrt{a} est un nombre positif. Le symbole $\sqrt{\quad}$ est appelé « radical ».

EXEMPLE

16 est le carré de 4 et de -4 . On a donc $\sqrt{16} = 4$.

$4 \xrightarrow{\text{J'élève au carré.}} 16$

$16 \xrightarrow{\text{Je prends la racine carrée.}} 4$

$-4 \xrightarrow{\text{J'élève au carré.}} 16$

$16 \xrightarrow{\text{Je prends la racine carrée.}} 4$

Une lettre aimable

J'ai reçu de mon collègue allemand Roland Szostak une agréable lettre qui fera plaisir, j'en suis sûr, à plus d'un membre du CLEA.

Chère Georges,

par cette lettre je veux vous remercier cordialement de votre envoi de „Les Cahiers Clairaut“ et de votre adjonction des salutations personnelles. Excusez mon retard.

Toujours je me réjouis de recevoir ce journal avec les nouvelles, qui m'intéressent très personnellement. Et j'admire la continuité de ce journal pendant tous les annés. Les contributions sont excellentes. Et la couverture est devenue très elegante aussi maintenant. Mes félicitations!

J'ai lu avec plaisir, que la prochaine école d'été d'astronomie aura lieu au Col Bayard pendant prochaine août comme autrefois. Et je me rappelle vivement de la coopération cordiale avec tous les collègues: Lucienne Gougouenheim, Jean Ripert, Jacky Dupré, Lucette Mayer, Francis Bertomioeu, Daniel Bardin, Frédéric Dahringer, Jean-Luc Fouquet, Josée Sert, Daniel Toussaint, Christian Larcher et Mais il est faux de dénombrer les noms, parcequ' il y a le danger d'oublier une personne très aimé.

Quand vous serez ensembles au Col Bayard, donnez mes salutations très cordiales aux tous les collègues et amis.

Aves mes sentiments distingués

Roland

Solution du remue-méninges

La solution est assez logique. 61 Cygni est une étoile qui a un important mouvement propre, le plus important connu à l'époque : environ 5 secondes d'arc par an. Si on la voit se déplacer si rapidement, c'est qu'elle doit être assez proche. Ce qu'a montré Bessel en trouvant sa parallaxe en 1838. **PC.**

Réponse à la question subsidiaire : La question était une question piège. Les plus érudits des lecteurs auront répondu "Proxima du Centaure", qui est effectivement une étoile très proche. Mais la bonne réponse était : Soleil !

Solution horizontale des mots croisés: exoplanète - tellurique - an - une - ur -Lo - tentant - on - ose - ter -sn - posa - tailler - boruration -arôme - raie -tes - paille **Jipé**

Articles à venir

La limite de Roche revisitée ; Les Olympiades de physiques : Les nébuleuses ; Détection des astéroïdes - Le parallaxomètre de Bardin - Les finesses de la régression linéaire - La relation Période Luminosité Couleur des étoiles variables Céphéides - L'orbilune - La nébuleuse du Crabe revisitée - Les ondes gravitationnelles - Le chaos - La sismologie stellaire. Le Solarscope - L'étoile laser artificielle - Mesure de la distance Terre Lune par la méthode de Ptolémée.

L'engin mystérieux !



Non ce n'est pas Francis qui s'apprête à décoller avec un nouvel hélicoptère, c'est tout simplement une présentation, en avant-première, du parallaxomètre de Bardin dont nous vous parlerons prochainement.

FICHE DE RE-ABONNEMENT ET/OU D'ADHESION

Pour vous abonner aux Cahiers Clairaut et/ou adhérer au CLEA en 2008, envoyez la fiche ci-dessous avec un chèque à l'ordre du CLEA à :

Jean RIPERT
Impasse des Mouyracs
46090 PRADINES

VOTRE NUMERO D'ABONNE (voir sur l'adresse d'expédition) :

NOM (en lettres capitales) :

PRENOM :

RUE :

CODE POSTAL

VILLE :

ABONNEMENT AUX CC EN 2008 ----- 30 €

ADHESION AU CLEA EN 2008 ----- 5 €

TOTAL :

Nous remercions Jean-Noël Terry, Marie-Agnès Terry, Michel Bobin et Émilie Wernli pour la relecture de ce Cahier.