

Bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Les Cahiers Clairaut



numéro 115 - AUTOMNE 2006

ISSN 0758-234X

Comité de liaison enseignants astronomes

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

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

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

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés. L'adresse est la suivante : C-L-E-A@yahogroupes.fr

Bureau du CLEA pour 2006

Présidents d'honneurs : Lucienne Gouguenheim,
Jean-Claude Pecker
Evry Schatzman

Président : Georges Paturel

Trésorier : Jean Ripert

Trésorier Adjoint : Jacky Dupré

Rédacteur des Cahiers : Georges Paturel

Secrétaire : Lucette Mayer

Secrétaire Adjoint : Eric Josselin

Responsable du site web : Francis Berthomieu

Rédacteurs Adjoins des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Michel Bobin, Pierre Causeret, Frédéric Dahringer, Charles-Henri Eyraud, Marie-Agnès Lahellec, Christian Larcher, Chantal Petit, Jean Ripert, Jean-Noël Terry, Daniel Toussaint

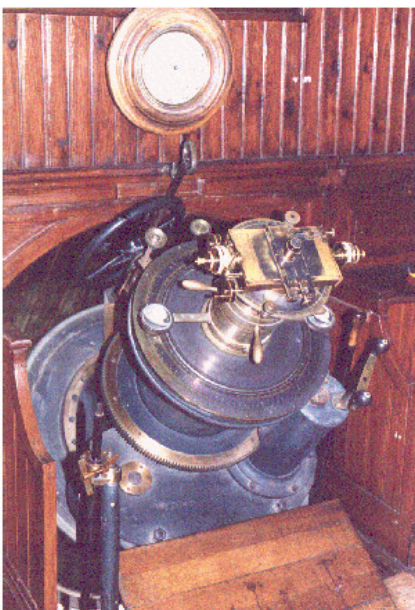
Associés de rédaction

Lucette Bottinelli, Jacky Dupré, Jean-Luc Fouquet, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Colette Le Lay, Lucette Mayer, Philippe Merlin, Josée Sert

A PROPOS DE LA COUVERTURE

Lunette coudée de l'observatoire de Lyon.

Cette lunette, fabriquée par les établissements Gautier de Paris, a été mise en service en 1887. Elle a un objectif constitué d'une lentille de 35 cm de diamètre (diaphragmée à 32 cm) et de 7,80 m de distance focale. Cet instrument est unique. Parmi les six autres instruments semblables, il est le seul encore utilisable dans son état d'origine. La caractéristique principale d'une telle lunette est que, par un jeu de miroirs plans, l'image se forme toujours au même endroit (photo ci-contre), dans un local situé au sommet du bâtiment. C'est de ce local d'observation que s'effectuent toutes les opérations de pointage, à l'aide de commandes mécaniques. L'entraînement est assuré par un mécanisme d'horlogerie à poids.



G. Paturel

Photographies : Ph. Merlin

Les Cahiers Clairaut

Automne 2006 n° 115

EDITORIAL

Comme nous l'avions promis nous allons poursuivre nos efforts pour coller davantage aux programmes scolaires, tout en préservant l'intérêt pour les aspects historiques et pour les développements récents en astronomie.

Une analyse détaillée des programmes scolaires devrait nous permettre, dès l'année prochaine de proposer des fiches pédagogiques nouvelles, exploitables en classe. Le but est de faire un travail attractif pour les jeunes enseignants, pour qu'ils aient envie de venir grossir les rangs du CLEA. Nous avons besoin de leur participation et de leurs témoignages.

Par ailleurs, un nouveau CD des comptes-rendus des Écoles d'Été du CLEA est en préparation. Les 4000 pages de documents ont été digitalisées, reste la mise en forme. C'est une source très riche en applications pratiques, en travaux dirigés et articles de fonds.

La Rédaction
patu@obs.univ-lyon1.fr

Cours

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique XI- des étoiles aux galaxies
 G. Paturel p. 2

Histoire

Sur une erreur de Galilée
 P. Lerich p. 6

Avec nos élèves

Mesures de distances : Les Céphéides
 G. Paturel p. 9

Article de fond

Les marées dans l'univers
 L. Bernard, C. Larcher, E. Wernli p. 12

Avec nos élèves

Résolution du jour de la semaine d'une date donnée dans le calendrier grégorien
 E. Varanne p. 17

Avec nos élèves

À la recherche des reines de la nuit
 J.N. Terry p. 20

Réalisation

Une monture équatoriale pour une webcam
 G. Lecoutre p. 25

Documents anciens

Les solutions de l'équation $ax^3=b$, par Clairaut
 G. Paturel p. 29

Observation

Quelques idées d'observation pour 2006-2007
 P. Causeret p. 31

Rubriques fixes p.34

- *Remue-méninges*
- *Lecture pour la Marquise*
- *Les potins de la Voie Lactée*
- *La vie associative*
- *Courrier des lecteurs*



COURS

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique : XI- Des étoiles aux galaxies

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : *Voici un cours facile, sans calculs, sur l'histoire de la découverte des galaxies.*

Introduction

Au début du siècle dernier, vers les années 1920, l'image que les astronomes donnaient de l'univers était très différente de ce que nous savons aujourd'hui. Certes, on avait dépassé la conception antique selon laquelle tout l'univers était limité à notre système solaire. Les étoiles commençaient à livrer leur mystère. Leur source d'énergie était identifiée, même si le détail de leur formation et de leur évolution n'était pas encore compris¹.

Les étoiles sont-elles les briques de l'univers ?

Les astronomes avaient donc compris que notre Soleil n'était qu'une étoile parmi d'autres. Une étoile bien quelconque d'ailleurs, une étoile naine. Bon, admettons. Depuis Galilée et sa célèbre lunette astronomique (c'est-à-dire, depuis 1610 environ), on savait que la traînée laiteuse qui barrait le ciel était composée d'étoiles. Elles y étaient si serrées que le ciel devenait laiteux, d'où le nom de Voie Lactée.

Quand nous regardons la Voie Lactée, nous n'avons pas vraiment l'impression que notre

Soleil en fait partie. Pas plus que les étoiles que l'on voit de part et d'autre de ce chemin laiteux. Et pourtant les astronomes vont montrer que toutes ces étoiles, Soleil compris, forment un objet unique, notre Galaxie. C'est William Herschel qui, le premier, comprit cela.

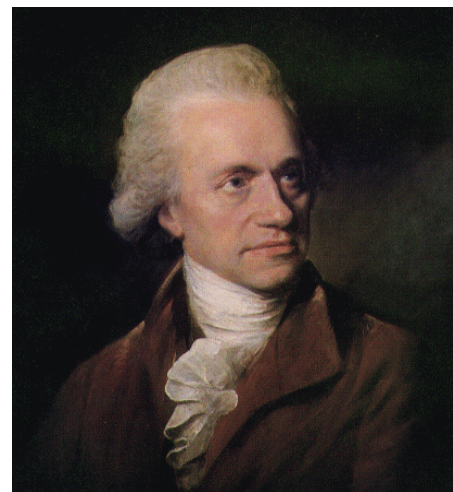
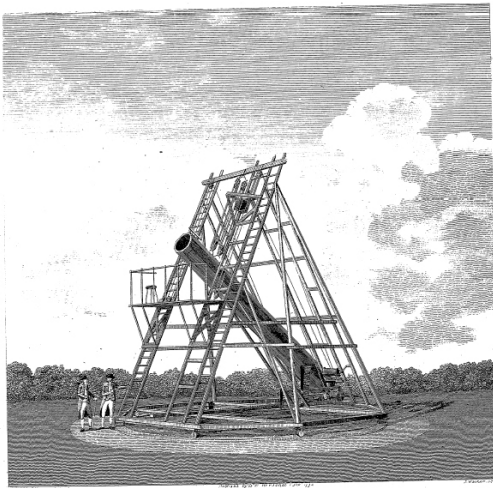


Image Wikimedia, libre de droit
William Herschel (1738-1822)

Venu tard à l'astronomie, William Herschel fit de nombreuses découvertes, dont celle de la planète Uranus. Il découvrit aussi le rayonnement infrarouge. C'était également un compositeur de musique dont les œuvres pour l'orgue rappellent un peu la musique de J.S. Bach.

¹ C'est en 1938 que les réactions nucléaires précises seront découvertes par Bethe et il faudra attendre les calculateurs des années 1960 pour faire les premiers modèles précis.



Cliché, libre de droit, communiqué par A. Bremond

*Le télescope de 20 pieds de distance focale
construit par W. Herschel*

La découverte n'a pas été facile. Herschel, un des premiers, avait recensé les étoiles entourant le Soleil. En supposant que toutes avaient la même luminosité, il estima leurs distances relatives par la mesure de leur éclat apparent. Il cartographia ainsi la forme de la distribution apparente des étoiles qui nous entourent. Que pensez-vous qu'il trouva ? Il trouva que ce n'était plus la Terre qui occupait le centre de l'univers mais le Soleil.

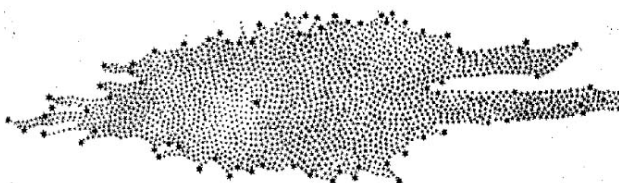


Image Wikimedia, libre de droit

*Notre Voie Lactée vue par Herschel. Le Soleil est
presqu'au centre.*

Mais ce résultat était faux. En effet, dans le brouillard d'étoiles qui forme notre Galaxie, le regard porte à une distance limitée. En regardant autour de soi, on a l'impression d'occuper le centre. Il semblait même que notre Galaxie d'étoiles *était* l'univers. Les étoiles apparaissaient alors comme les briques de l'univers.

William Herschel et son fils John firent un travail remarquable. Ils recensèrent dans le ciel un très grand nombre de nébuleuses, objets flous de constitution mystérieuse. Ce relevé

conduisit à la publication du "General Catalog", augmenté plus tard par Dreyer sous le nom de "New General Catalog". Tous les objets de ce catalogue étaient désignés par leur numéro NGC. La diversité et la nature de ces objets étaient tout aussi nébuleuses que leur aspect. Nous allons voir bientôt que ce catalogue allait se révéler de première importance. Mais il fallait encore améliorer la description de notre Voie Lactée.

Un astronome américain, H. Shapley, ancien reporter spécialisé dans les affaires criminelles², refit en 1918, ce que Herschel avait fait, mais il eut la chance, ou l'idée brillante, de ne pas prendre les étoiles comme traceurs, mais des amas d'étoiles, plus précisément, des amas globulaires. Ces amas de quelques 100 000 étoiles étaient plus lumineux qu'une étoile individuelle, ils devaient donc être détectables plus profondément. Mais la chance, qui sourit aux esprits éclairés, fit que ces amas globulaires n'étaient pas répartis dans le plan de la Voie Lactée, mais dans une sorte de halo sphérique.



Harlow Shapley (1885 - 1972)

Shapley dressa la distribution des amas et il constata que notre Soleil n'était pas au centre de cette distribution, mais plutôt sur un bord, à environ 30 000 pc du centre. Nous reproduisons ci-après la figure originale publiée par cet astronome.

² Comme Tintin dont il a un peu la physionomie

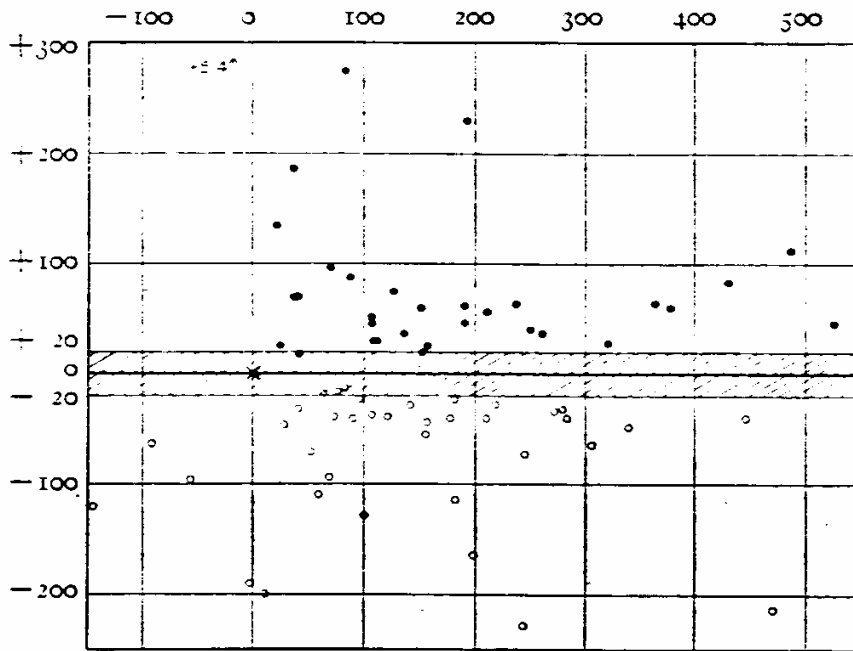


FIG. 4.—Projection of the positions of globular clusters on a plane perpendicular to the Galaxy, illustrating (1) the absence of clusters from the mid-galactic region, (2) their symmetrical arrangement with respect to the Galaxy, (3) the eccentric position of the sun (the cross) with respect to the center of the system of clusters. The ordinates are distances from the galactic plane, $R \sin \beta$; the abscissae are projected distances in the direction of the center, $R \cos \beta \cos (\lambda - 325^\circ)$. The unit of distance is 100 parsecs; the side of a square is accordingly 10,000 parsecs. On this scale the actual diameter of the clusters is about one-fifth the diameter of the circles and dots. The cluster N.G.C. 4147 is outside the boundary of the diagram, as indicated by the arrow.

Astrophysical Journal 48, 1918

Il remarque que les amas globulaires ne sont pas particulièrement localisés dans le plan de la Voie Lactée, qu'ils sont distribués de manière symétrique et que le Soleil n'est pas au centre de cette distribution. D'après son article, le Soleil serait à environ 20 000 pc du centre de notre Galaxie. Le diamètre de notre galaxie serait environ de 50 000 pc, soit environ 163 000 années-lumière.

Les nébuleuses extragalactiques

Le problème suivant s'est posé : Est-ce que les taches floues, visibles sur les photographies astronomiques, sont des nébuleuses internes à notre Galaxie, ou sont-elles d'autres galaxies, extérieures à la nôtre, des Univers-îles comme on le disait à l'époque ?

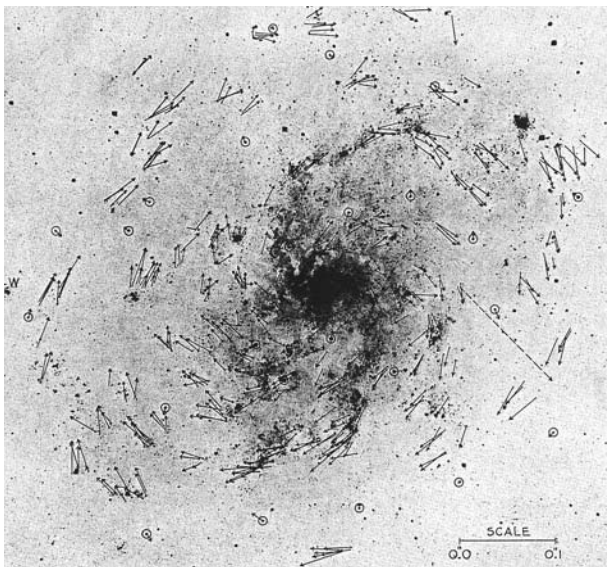
Quelques astronomes, comme H.D. Curtis et K. Lundmark, pensent que ces nébuleuses sont "extragalactiques", hors de notre Galaxie. L'observation de novae, ces étoiles qui subissent des sursauts d'éclat dus à la réalimentation en hydrogène par une étoile voisine, place la grande nébuleuse d'Andromède en dehors de notre Galaxie.

Mais un argument imparable va montrer le contraire (je vous préviens de suite pour le cas où vous cesseriez la lecture ici, cet argument imparable s'est révélé faux).

L'argument imparable

Van Maanen était un spécialiste reconnu pour la mesure de mouvements propres. Si on observe une étoile sur deux clichés pris à de

nombreuses années d'intervalles, il est possible de voir un déplacement angulaire, très faible, de quelques étoiles. C'est le mouvement propre. Naturellement, un tel mouvement n'est pas détectable pour les objets distants. C'est pour la même raison que vous voyez les avions à réaction se déplacer tout doucement dans le ciel, alors que, s'ils passaient plus près de vous, leur grande vitesse réelle serait évidente.



Astrophysical Journal 63, 1926

Les mesures erronées de mouvement propre des étoiles de quelques nébuleuses spirales forcèrent, pour un temps, à les considérer comme faisant partie de notre Voie Lactée.

Or Van Maanen mesura des déplacements pour des étoiles des bras spiraux de quelques nébuleuses, comme³: M33, M101 ou M51. Les vitesses angulaires étaient telles que si ces nébuleuses avaient été en-dehors de notre Galaxie, leur vitesse réelle aurait été plus grande que la vitesse de la lumière. Donc, nécessairement, les nébuleuses devaient être dans notre Galaxie. Le débat semblait clos.

Mais Lundmark reprit les mesures de Van Maanen et, bien qu'il ne voulût pas critiquer trop ostensiblement celui-ci, il ne confirma pas les résultats. On peut s'interroger sur l'origine des erreurs de Van Maanen. Nous ne le ferons pas ici mais nous en reparlerons peut-être dans un autre contexte, même si ce genre de recherche a seulement un intérêt académique.

³ Objets du catalogue de Messier

La confirmation des galaxies

La confirmation de l'existence de nébuleuses extragalactiques (les galaxies) est venue des travaux de E. Hubble.



NASA & MtWilson observatory

Hubble guide le télescope Schmidt du Mt Palomar à l'aide de la "raquette", en suivant une étoile du champ dans le "chercheur".

Grâce au nouveau télescope du Mont Wilson, Hubble put détecter des étoiles variables Céphéides. Ces étoiles obéissent à une relation Période-Luminosité, découverte en 1913, par Henrietta Leavitt. La simple mesure de la période de variation donne la luminosité moyenne. De la comparaison avec l'éclat apparent on peut déduire la distance (voir l'article sur la mesure des distances par les Céphéides, dans ce même Cahier). C'est ainsi que Hubble a pu obtenir la distance des nébuleuses, M33, M31 et de quelques d'autres.

On comprit alors que notre univers était peuplé d'innombrables galaxies, semblables à la nôtre. Cette découverte, pressentie par plusieurs astronomes, comme Lundmark ou Curtis, était enfin la preuve attendue et l'aboutissement de cette longue quête pour décrire notre Univers.

Dans le prochain et dernier cours, nous aborderons l'étude de l'univers, pris dans son ensemble. Nous estimerons le nombre de galaxies de notre Univers.

HISTOIRE

Sur une erreur de Galilée

Pierre Lerich

Résumé : *En lisant le Dialogue sur les deux grands systèmes du Monde, de Galilée, le lecteur sursaute en découvrant qu'un boulet de canon lâché depuis l'orbite de la Lune, tomberait sur la Terre en 3 heures, 22 minutes, 4 secondes (page 363 de l'édition du Seuil). Le lecteur incrédule consulte son manuel de physique, sort sa calculette et refait le calcul de Galilée : il trouve 4 jours 20 heures. Il doit y avoir une erreur quelque part.*

Chute d'un objet depuis la Lune

Il y a deux méthodes pour calculer le temps de chute d'un objet depuis l'orbite de la Lune. La première est celle de Newton (*PRINCIPIA, Livre I section VII : mouvements rectilignes*). Elle consiste à imaginer que l'objet pourrait avoir gardé une petite vitesse le long de l'orbite lunaire, et tomberait donc sur la Terre selon une ellipse très aplatie. En poussant le raisonnement à l'extrême, cette ellipse pourrait être tellement aplatie qu'elle ressemblerait à s'y méprendre à une ligne droite. Cela ne l'empêcherait pas de respecter la 3^e loi de Kepler, qui parle du grand axe, mais pas du petit. Celui-ci peut donc être nul.

Connaissant le temps de révolution de la Lune autour de la Terre, on peut calculer grâce à la 3^e loi de Kepler le temps de révolution correspondant à n'importe quelle ellipse, même aplatie, proportionnelle à la puissance 3/2 du grand axe. Il suffit que ce grand axe soit égal à la distance Terre-Lune pour que l'objet tombe sur la Terre (et s'enfonce jusqu'au centre de la Terre, mais ceci est un détail). C'est ainsi qu'on trouve un temps de chute (la moitié du temps pour ellipse complète) égal à 4 jours 20 heures = 34 fois le temps trouvé par Galilée.

La seconde méthode, plus moderne, consiste à écrire une équation exprimant le fait qu'à chaque instant, l'accélération subie par l'objet est inversement proportionnelle au carré de la distance au centre. On retrouve Newton par un chemin différent. Plus l'objet se rapproche, plus il est attiré, donc plus il se rapproche, etc. Comme on établit un rapport entre une distance et la variation de cette distance (entre une variable et sa dérivée), on est donc en présence d'une équation différentielle, dont la résolution a occupé des générations de mathématiciens au XVIII^e siècle : certaines équations sont faciles à résoudre, d'autres difficiles, d'autres impossibles. Celle qui concerne le problème posé par Galilée est très classique, et aboutit à une formule qu'il suffit d'appliquer : on trouve de nouveau 4 jours 20 heures.

Si l'on appliquait ce même calcul à un objet en chute libre vers le Soleil, abandonné sans vitesse initiale en un point de l'orbite terrestre, on trouverait une durée de 64 jours.

Galilée

À l'époque de Galilée, ces deux méthodes étaient inconnues. Pour la première, il a fallu encore attendre 50 ans, pour la seconde un siècle au moins. Galilée avançait donc seul, sans carte et sans boussole en territoire inconnu.



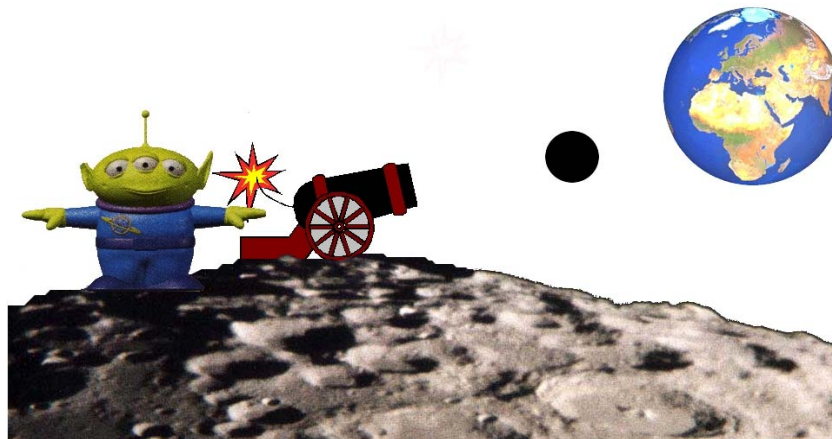
Image Wikimedia libre de droit
Portrait de Galilée par Sustermans

Or, la chose dont il était le plus fier, c'est d'avoir le premier quantifié le mouvement accéléré. Jusqu'à lui, on en parlait d'une manière vague, sans pouvoir rien mesurer. Il a été le premier à démontrer que dans le mouvement accéléré, les espaces parcourus sont proportionnels aux carrés des temps. La chute libre étant le plus commun des mouvements accélérés, il était facile (en principe) de mesurer le temps de chute d'un boulet de canon lâché d'une certaine hauteur : cent coudées en 5 secondes selon Galilée. La mesure du temps avait sans doute été mal faite (1 coudée = 0,55 m). Ce temps et cet espace fournissent la valeur de g , qui détermine la proportionnalité entre les espaces et les temps (élevés au carré). A partir de là, rien n'empêche de calculer le temps de chute d'un objet lâché à 1000 mètres, à 10 000 mètres, et pourquoi pas à la hauteur de l'orbite lunaire. C'est de cette façon (il nous donne le détail de son calcul) que Galilée a trouvé le temps de chute de 3 heures 22 minutes 4 secondes.

Où est l'erreur ?

L'erreur de ce raisonnement apparaît clairement si on le compare avec la 2^e méthode exposée plus haut. Galilée a pris la valeur de g telle qu'on peut la mesurer à la surface de la Terre et l'a considérée comme une valeur universelle et invariable, une constante fondamentale de l'univers, un peu comme la vitesse de la lumière. Pour savoir si c'était vrai ou faux, il aurait fallu faire l'expérience en lâchant un objet depuis l'orbite de la Lune, mais à l'époque de Galilée, c'était du domaine du rêve. Aujourd'hui, il suffirait d'immobiliser une fusée à la bonne hauteur et d'attendre qu'elle tombe, mais l'expérience n'aurait plus aucun intérêt. Il est certain que si Galilée avait pu expérimenter, il aurait constaté son erreur et aurait supprimé ce passage qui n'était pas indispensable, puisqu'il n'apportait rien à la défense de Copernic.

Cinquante ans plus tard, le bruit courait dans le monde savant, en Angleterre, que tous les corps célestes possédaient une force attractive, mais que celle-ci décroissait rapidement avec la distance. Une décroissance selon l'inverse du carré de la distance paraissait plausible, mais on n'en était encore qu'aux hypothèses, comme le constatait une lettre de Hooke à Newton de 1679, lettre qui semble avoir été à l'origine des PRINCIPIA (1687). Une fois lancé sur ce problème, Newton réalisa le tour de force de démontrer tout ce qui jusque là était seulement supposé. Ces démonstrations sont si magistrales qu'elles pourraient se passer de vérification, mais ce serait dommage de s'en priver si une telle vérification est rapide et facile à réaliser.



Trouvez l'erreur qui se cache dans cette image.

Newton se trouva ainsi devant le même problème que Galilée : la chute des corps sur Terre étant connue, comment l'étudier à la distance de la Lune ? Galilée a supposé que cette chute était la même partout et aboutissait ainsi à un temps de chute peu vraisemblable. Newton partait d'une hypothèse entièrement différente et a pu la vérifier non pas en lâchant un objet depuis l'orbite lunaire, mais en remarquant que si la Lune ne prend pas la tangente en s'éloignant de la Terre, c'est parce qu'elle « tombe » vers la Terre en même temps qu'elle progresse sur son orbite. Un calcul très facile permet de dire de combien elle « tombe » à chaque seconde et de comparer ce chiffre à la chute des corps sur terre. On peut vérifier ainsi que l'accélération subie par les objets qui tombent est inversement proportionnelle au carré de leur distance au centre de la Terre. A la distance de la Lune, la gravité terrestre est divisée par 3600, le carré de 60. Ainsi les démonstrations géométriques des *PRINCIPIA* sont définitivement confirmées.

Galilée aurait pu procéder comme Newton : il avait étudié les boulets de canon qui filent tout droit en même temps qu'ils tombent vers la terre, décrivant une parabole allongée. C'est le même raisonnement que celui de Newton au sujet de la Lune. Même s'il y avait de l'incertitude sur la distance Terre-Lune, sur le rayon terrestre, sur l'accélération des corps en chute libre, les données de l'époque permettaient d'éliminer immédiatement l'hypothèse d'une accélération unique partout égale à elle-même. Mais Galilée n'avait visiblement aucun doute sur la validité de son calcul, dont le résultat ne semble pas l'avoir étonné le moins du monde. Il n'avait aucune raison d'aller chercher plus loin.

Mouvement naturel

Comme la physique d'Aristote était au programme des universités, Galilée l'a enseignée pendant des années bon gré mal gré. C'est peut être là qu'il faut chercher la source de son erreur. Aristote distinguait deux sortes de mouvement : les mouvements « naturels » (comme la chute des corps) et les mouvements « violents » (flèche lancée par un arc). Les corps pesants tombent parce que c'est dans leur nature. Comme leur nature est la même à la surface de la Terre et à la

proximité de la Lune, il n'y a aucune raison de supposer que leur mouvement puisse être différent. Donc leur accélération doit être la même, et pour connaître la durée de la chute, il suffit d'appliquer cette accélération uniforme à la distance Terre-Lune. Galilée conserve donc cette notion de « mouvement naturel » héritée d'Aristote, alors qu'il sent fort bien son insuffisance. Par exemple, il reprend avec humour un problème curieux posé par un contemporain : si la Terre se volatilisait d'un seul coup, les corps pesants continueraient-ils de tomber de la même façon ? Ou bien cette variante : si plusieurs corps massifs flottaient librement dans l'espace, vers quoi pourraient-ils tomber ? Il pense que les corps lourds « conspirant par nature à s'unir » se rassembleraient, et que leur réunion formerait un centre capable ensuite d'attirer d'autres corps (page 390). On voit que ces réflexions contiennent en germe l'idée de gravitation. Pourtant, au moment de calculer le temps de chute depuis l'orbite lunaire, c'est l'idée simpliste de « mouvement naturel » qui s'est imposée, avec pour conséquence une accélération toujours égale, et une erreur considérable sur la durée de la chute.

Aristote es-tu là ?

Galilée n'a cessé toute sa vie de contester Aristote, bien souvent avec une ironie méchante. Aristote était sa bête noire. Il n'a pourtant jamais réussi à se libérer totalement de son influence. Il faudra toute la réflexion du XVIII^e siècle (Descartes, Pascal, etc.) pour remettre en question tout l'héritage des anciens, qui paralysait la science.



Image Wikimedia libre de droit
Aristote peint par Raphaël

AVEC NOS ÉLÈVES

Mesures de distances : les Céphéides

Georges Paturol, Observatoire de Lyon

Résumé : *Après avoir vu la méthode des parallaxes, applicable aux étoiles proches, nous découvrons ici la méthode photométrique utilisée avec les étoiles variables Céphéides. Après une application ludique, applicable avec des élèves, nous utilisons la méthode avec des données réelles, pour calculer la distance de la grande nébuleuse d'Andromède (M31).*

Introduction

Dans le précédent article de cette série, nous avons vu, à travers un exercice pratique, comment les astronomes calculaient la distance des étoiles les plus proches par la méthode des parallaxes. Nous avons réalisé à quel point ce travail était difficile.

Pour mesurer la distance de l'étoile la plus proche il faut être capable de mesurer des angles de l'ordre de une seconde d'angle (c'est-à-dire $1/3600$ degré, soit environ $0,0003^\circ$). Regardez un rapporteur ; un degré c'est déjà tout petit, alors $0,0003^\circ$... Heureusement, l'observation depuis l'espace nous permet d'atteindre des précisions étonnantes. Pourquoi ? C'est facile à comprendre. Quand on observe depuis l'espace, il n'y a pas d'atmosphère entre l'étoile et le télescope. De ce fait, la qualité des images n'est pas détériorée par les fluctuations de l'indice de réfraction de l'air. Les images apparaissent alors mille fois plus piquées que depuis le sol. Cette finesse permet d'atteindre une précision mille fois plus grande, soit environ $0,001$ seconde d'angle, c'est-à-dire, $0,0000003^\circ$ (soit 3×10^{-7} degrés). Pour vous donner une image de la petitesse de cet angle, c'est à peu près l'angle sous lequel on voit, depuis Lyon, une pièce de 1 euro placée à Saint-Pierre et Miquelon¹ ! Et les astronomes espèrent faire encore mieux dans les années prochaines, avec le projet GAIA par exemple.

Malgré ces prouesses techniques, on ne peut mesurer précisément la parallaxe (comprenez, la distance) que pour des étoiles "proches", situées à moins de 3000 années lumière. C'est bien peu. Ce n'est qu'une petite région autour de notre Soleil (notre Galaxie a un diamètre d'environ 100 000 années

lumière). Mais alors, comment mesurer les objets astronomiques plus lointains ? Comment, par exemple, avoir la distance des galaxies ?

Un petit exercice simple

Amusez-vous à faire calculer à quelle distance il faudrait placer une pièce de 1 euro pour la voir sous un angle de 1 seconde d'arc.

Le calcul est des plus simples. Le diamètre divisé par la distance est égal à l'angle de $1'' = 1/3600$ degré, exprimé en radian. Une méthode simple pour convertir en radian les tout petits angles exprimés en degrés consiste à en prendre le sinus. Donc :

$$\text{Diamètre Pièce} / \text{Distance Pièce} = \sin(1/3600)$$

Puisque le diamètre de la pièce est de 2,3 cm, la distance cherchée est de $2,3/\sin(1/3600) = 474\,409$ cm, c'est-à-dire 4,7 km.



Vous pouvez tester la finesse des élèves en leur demandant : « Si une pièce de 1 euro est vue sous un angle de $1''$ à 4,7 km, sous quel angle serait vue une pièce de 2 euro ? » Vous aurez certainement quelques élèves qui vous diront $2''$. (La réponse est $1,13''$ car la pièce est plus grosse, en taille, mais pas deux fois plus).

La méthode photométrique

Il faudra faire appel à une méthode originale, la *méthode photométrique*. De quoi s'agit-il ? L'éclat apparent d'une source varie comme l'inverse du carré de la distance de la source. Cette loi exprime

¹ Pour les moins érudits, on peut presque dire entre Paris et New York.

simplement la conservation de l'énergie rayonnante à travers la surface de la sphère, centrée sur l'objet et de rayon la distance de l'objet à l'observateur. Si nous parvenons à connaître l'énergie totale effectivement rayonnée par l'étoile par unité de temps (ce qu'on appelle la luminosité), la simple mesure de l'énergie reçue sur Terre par unité de surface et par unité de temps, nous permettra d'avoir la distance (voir l'encadré). Nous allons voir des exemples concrets de cette méthode.

La relation Période-Luminosité est "la" méthode photométrique emblématique. Nous expliquerons donc cette méthode simplement et dans un prochain article nous verrons les difficultés qui peuvent conduire à des distances biaisées.

Étoiles Céphéides simulées

Nous allons faire une petite expérience qu'il sera possible de réaliser avec des élèves, pour leur faire comprendre, de manière ludique, le principe de la méthode photométrique. La seule différence avec l'utilisation réelle sera que nous ne mesurerons pas un flux lumineux mais une longueur apparente. Dans ce cas, la variation avec la distance suit une loi plus simple ($1/d$ au lieu de $1/d^2$).



Nous fabriquons une dizaine de pendules : des grands, des petits, des moyens... Une baguette (10mm \times 10mm) piquée dans un socle (10 cm \times 10 cm), un boulon de 3 mm de diamètre pour la potence. On suspend un plomb de pêche fendu par un fil nylon de longueur quelconque (il suffit de pincer le fil dans le plomb, avec un étau, pour fixer le plomb). Chaque pendule ainsi constitué sera analogue à une Céphéide. Nous disposons quelques uns de ces pendules à des distances connues. Nous les faisons osciller et nous les observons (en fait, nous avons réalisé une vidéo et les mesures ont été faites en temps différé).

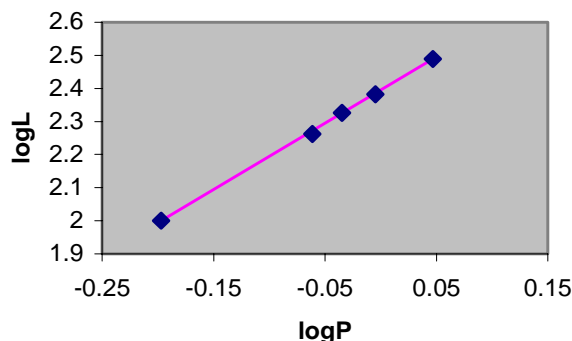


Nous sommes capables de mesurer la période d'oscillation des pendules et les longueurs apparentes des fils. Avec la distance, on peut déduire la longueur vraie. Ainsi, expérimentalement, nous pouvons représenter la relation donnant la Longueur L du fil en fonction de la Période P , sans avoir à approcher les pendules (comme c'est le cas pour les étoiles). Nous traçons en fait la courbe de la fonction $f: \log P \rightarrow \log L$ (les logarithmes donnent une relation affine, comme celle obtenue avec les magnitudes). Nous appellerons cette relation la relation PL.

L'observation des pendules de calibration nous a conduit aux résultats suivants :

pendule	Distance (cm)	Période (s)	Longueur apparente (degré)	Longueur réelle (mm)
1	315	1,114	5,58	308
2	226	0,635	2,55	100
3	375	0,923	3,23	212
4	287	0,989	4,80	241
5	251	0,868	4,16	183

$\log L$ en fonction de $\log P$ donne le graphique suivant² :



² On peut ne pas utiliser les logarithmes. Dans ce cas la relation n'est plus une droite.

Observons maintenant un pendule placé très loin, à une distance inconnue. Mesurons la longueur apparente du fil. Mesurons sa période d'oscillation. L'application de la relation P-L nous donne la longueur vraie. La comparaison avec la longueur apparente nous donne la distance. C'est ce que nous allons appliquer.

Dans notre expérience nous avons obtenu les résultats suivants (avec deux pendules A et B) :

Pendule	Période (s)	L apparente (degrés)	L réelle (mm)	Distance (m)
A	1,100	1,126	295	15,02 m
B	0,959	0,930	229	14,11m

Nous trouvons ainsi une distance moyenne de 14,6 m. En vérifiant sur le terrain nous avons trouvé 15,1 m, soit une incertitude de l'ordre de 3%.



Les deux pendules distants pour lesquels nous appliquons la méthode P-L.

Vous pourrez appliquer cette méthode avec vos élèves, par exemple au sein d'un club ou d'un atelier d'astronomie. Les élèves apprendront en s'amusant.

Application avec données réelles

Cette application simple, faite avec des données réelles pourra être faite en classe, car il s'agit d'un travail sur document pour obtenir la distance de la galaxie d'Andromède. On rappelle au préalable que le module de distance μ s'exprime en fonction de la magnitude apparente observée, m , et de la magnitude absolue, M , par l'expression simple :

$$\mu = m - M$$

Ce module exprime la distance dans une échelle logarithmique :

$$\mu = 5 \log D + 25$$

D est la distance en Mégaparsecs.

Le Tableau 1 donne les valeurs des modules de distances observées par HIPPARCOS pour des Céphéides de notre galaxie. Les périodes P et les magnitudes apparentes m_c , corrigées de l'absorption lumineuse dans notre galaxie, sont connues. On peut donc déduire la magnitude absolue $M = m_c - \mu$ et tracer la relation Période-Luminosité :

$$M = a \log P + b$$

En appliquant cette relation aux Céphéides de M31 (Tableau 2) on trouve leurs magnitudes absolues, et donc la distance de M31.

TABLEAU 1 : Quelques Céphéides de notre Galaxie. Le module de distance μ a été obtenu par la méthode des parallaxes avec le satellite HIPPARCOS. Les magnitudes apparentes moyennes $\langle m \rangle_c$ sont corrigées de l'extinction.

Nom de la Céphéide	logP (P en jours)	μ	$\langle m \rangle_c$
BF Oph.	0,609	9,50	6,49
VY Car	1,277	11,42	6,59
T Mon	1,432	10,58	5,46
S Nor	0,989	9,92	5,86

L'application d'une régression linéaire entre $M = \langle m \rangle_c - \mu$ et $\log P$ conduit aux coefficients suivants :

$$a = -2,60 ; b = -1,45.$$

La relation Période-Luminosité est donc :

$$M = -2,60 \log P - 1,45$$

TABLEAU 2 : Mesure d'une Céphéide de M31=NGC224 (Andromède), obtenue par le "Hubble Space Telescope".

Nom de la Céphéide	logP	$\langle m \rangle_c$
M31 : FIII-15	1,277	19,82

L'application de la relation période luminosité à une Céphéide de M31 donne la magnitude absolue moyenne de cette étoile variable : $\langle M \rangle = -4,77$ et donc au module de distance de M31 :

$$\mu(M31) = \langle m \rangle_c + 4,77 = 24,59,$$

ce qui correspond à une distance $D=0,83$ Mpc ou 2,7 millions d'années de lumière.



ARTICLE DE FOND

Les effets de marée dans l'univers

L. Bernard, C. Larcher, E. Wernli

Résumé : *Les différentes parties d'un corps étendu placé dans un champ de gravitation, sont soumises à un gradient de force, qui va se traduire par des tensions internes susceptibles de déformer ce corps. Cet effet est omniprésent dans l'Univers régi par la gravitation. Nous allons nous intéresser à quelques uns de ses aspects dans le système solaire et au-delà.*

Introduction

En 1993, C Shoemaker et D. Levy découvrent un curieux chapelet de petits objets au voisinage de Jupiter. Ils l'identifient aux restes d'une comète fragmentée par effet de marée, suite à son passage, un an plus tôt, près de la planète géante. Les fragments, piégés dans le champ gravitationnel, percutent la planète en juillet 1994. Ces phénomènes de marée doivent être courants dans l'univers puisqu'ils font intervenir la gravitation. C'est ce que nous allons découvrir.

Phénomène physique

Le phénomène des marées a été interprété par Newton. Pour en donner une explication nous allons reprendre une image chère à Einstein : l'image d'un ascenseur en chute libre dans un champ de gravitation. Tous les objets contenus dans l'ascenseur tombent, en première approximation, avec la même accélération. Tout se passe donc à peu près, comme si le champ gravitationnel était effacé.

Cependant, les points situés en haut sont moins fortement accélérés que les points situés en bas, puisqu'ils sont plus loin de la source du champ de gravitation. Les points du bas et du haut tendront donc à s'éloigner les uns des autres¹.

¹ Pour prendre une autre image triviale, imaginons deux voitures proches, la première accélérant plus que la seconde, elles se sépareraient.

Les parois de l'ascenseur seront sollicitées par une force d'étirement. Mais la cohésion de l'ascenseur pourra se maintenir, du moins tant que la force responsable de cette différence d'accélération ne sera pas plus forte que la résistance mécanique.

Comment expliquer les marées à de jeunes enfants

On prend trois enfants qui se placent en ligne, serrés les uns contre les autres. L'enfant du milieu représente la Terre solide et les enfants de part et d'autre représentent la mer entourant la Terre.

La maîtresse se place dans l'axe d'alignement des enfants. Elle explique qu'elle est la Lune et qu'elle attire les trois enfants. Le plus proche d'elle fera trois pas dans sa direction. Celui du milieu, moins attiré, fera deux pas et l'enfant le plus éloigné de la maîtresse fera un seul pas. Le résultat est que, des deux côtés, la mer se sera éloignée de la Terre.

Selon F. Berthomieu

L'expression de cette différence d'accélération gravitationnelle s'obtient en dérivant l'expression de l'accélération newtonienne :

$$a = G \frac{M}{d^2} \quad (1)$$

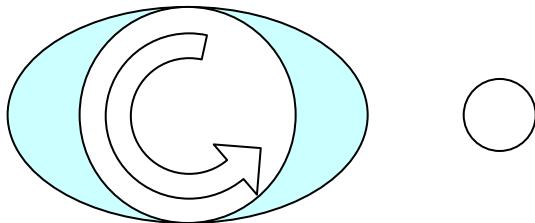
Elle s'écrit donc (en valeur absolue) :

$$\Delta a \approx \frac{2GM}{d^3} \Delta d \quad (2)$$

Δd est la distance entre deux points voisins qui vont subir l'effet de marée (par exemple le diamètre de l'astre si on considère deux points diamétralement opposés). La masse M est celle du corps qui produit l'effet sur l'astre considéré situé à la distance d . On dit qu'il se produit un gradient de champ gravitationnel.

Cas du système Terre-Lune-Soleil

La Terre soumise aux gradients de champ de gravitation produits par la Lune et le Soleil subit donc des effets de marées. L'étirement auquel la Terre est soumise agit essentiellement sur les parties les plus mobiles, c'est-à-dire les mers et les océans.



Nous comprenons aisément que quand la Lune et le Soleil ajoutent leurs contributions (à la nouvelle ou à la pleine lune), l'effet de marée est plus important. Ce sont les fortes marées. En revanche, si leurs contributions s'opposent (au premier ou dernier quartier de lune) nous avons des petites marées. Mais le phénomène est un peu plus compliqué, comme nous allons le voir.

Considérons pour simplifier la contribution d'un seul corps, la Lune par exemple². Comme nous l'avons expliqué, il se produit un double renflement des eaux, résultant en deux marées hautes par 24 heures. Ces renflements doivent s'orienter selon la ligne reliant la Terre et le corps attracteur. Par suite de la rotation de la Terre sur elle-même et de la rotation de la Terre autour du centre de gravité qu'elle partage avec le corps

² Le Soleil exerce lui aussi un effet sur les océans mais son action est environ deux fois plus faible que celle de la Lune (voir l'encadré)

attracteur³, ce renflement doit être vu comme une vague parcourant la Terre. Mais, les eaux ne circulent pas librement à cause de la configuration du relief terrestre. Il apparaît donc une force qui s'oppose à la rotation de la Terre. La Terre ralentit. Ce ralentissement est très faible (0,002 s par siècle). Par suite de la conservation du moment angulaire du couple Terre Lune, il s'ensuit une augmentation de la distance Terre Lune d'environ 3 cm par an, comme cela a été vérifié par télémétrie LASER. Une conséquence de ce ralentissement est que la rotation de la Terre sur elle-même tend à se synchroniser avec la rotation de la Lune autour de la Terre. C'est d'ailleurs la raison pour laquelle la Lune nous montre toujours la même face.

Effets comparés de la Lune et du Soleil

Avec la relation (1), calculer le rapport des accélérations gravitationnelles sur la Terre exercées par la Lune et le Soleil. Vous trouverez que le Soleil exerce sur les corps de la Terre une accélération 175 fois plus forte que celle produite par la Lune. Notez que pour calculer ce rapport la connaissance de G n'est pas nécessaire.

Avec la relation (2), calculer maintenant le rapport des accélérations différentielles Δa produites par le Soleil et par la Lune sur deux points diamétralement opposés de la Terre ($\Delta d = D_{\text{Terre}}$). Vous trouverez que l'effet de marée due à la Lune est environ 2 fois plus fort que celui dû au Soleil.

Ce résultat montre bien qu'il ne faut pas confondre attraction gravitationnelle et effet de marée.

On rappelle quelques données numériques :

$$M_{\text{Soleil}} = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg} ; M_{\text{Lune}} = M_{\text{Soleil}}/83$$

$$d_{\text{Terre-Soleil}} = 150 \cdot 10^9 \text{ m} ; d_{\text{Terre-Lune}} = 380 \cdot 10^6 \text{ m} ;$$

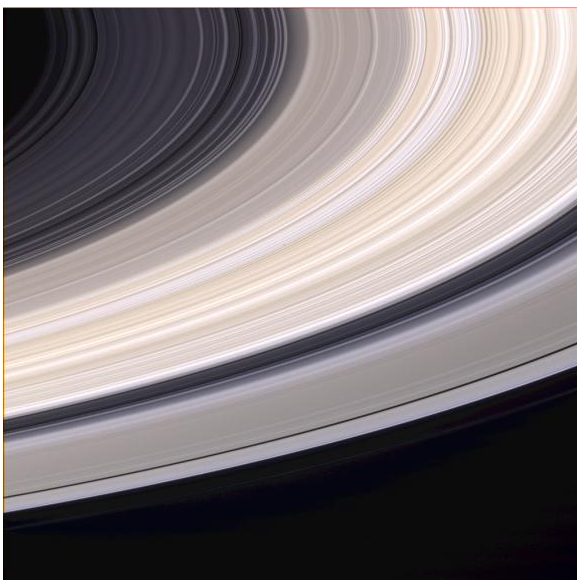
$$D_{\text{Terre}} = 13 \cdot 10^6 \text{ m}$$

³ Étant donné que la Terre tourne en 24 heures et que la Lune progresse dans le même sens autour de la Terre en 27 jours 1/3, la Lune passe à un méridien donné toutes les 24 heures 50 minutes. L'intervalle entre deux marées consécutives sera en moyenne de 12 heures 25 minutes.

Signalons pour conclure que sur Terre il existe aussi des marées continentales et atmosphériques. La marée relative à la partie solide est mesurable, l'amplitude étant de l'ordre de 30 à 50 cm. Elle causa un temps quelques troubles aux chercheurs du CERN qui avaient noté une corrélation entre le passage de la Lune et certaines anomalies lors d'expériences avec les accélérateurs de particules.

Les anneaux des planètes géantes

Observés par Galilée (1610), interprétés correctement par Huygens (1655), les anneaux de Saturne sont les seuls connus avant 1977. L'observation d'occultations d'étoiles par Uranus depuis la Terre, laissa penser qu'il présentait aussi un système d'anneaux, ce qui fut confirmé par les sondes interplanétaires... qui photographièrent aussi des anneaux autour de Jupiter et Neptune !



Anneaux de Saturne (NASA)

En 1849, Édouard ROCHE calcule qu'un satellite fluide⁴ s'approchant d'un astre de rayon R perd sa cohésion en deçà d'une limite donnée par :

$$d_{\text{lim.}} = 2,45 \left(\frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{3}} R,$$

⁴ Dans son mémoire "La figure d'une masse fluide, soumise à l'attraction d'un point éloigné", E. Roche ne prend en compte que la cohésion gravitationnelle, négligeant ainsi les forces de cohésion électromagnétique de la matière.

(ρ_M et ρ_m étant les masses volumiques respectives des deux objets).

Limite de Roche

Le calcul précis de cet effet est très complexe. On peut néanmoins retrouver la forme de cette expression dans un modèle simplifié, en écrivant que l'instabilité intervient quand la force de marée sur un élément de masse μ devient égale à la force newtonienne de cohésion gravitationnelle :

$$\frac{2GMr}{d^3} \mu = \frac{Gm}{r^2} \mu$$

En remplaçant M par $\frac{4}{3} \pi R^3 \rho_M$ et m par $\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_m$, on retrouve que la limite d_{lim} est de la forme :

$$d_{\text{lim.}} \propto \left(\frac{\rho_M}{\rho_m} \right)^{\frac{1}{3}} R$$

Le coefficient de proportionnalité trouvé ainsi serait de $\sqrt[3]{2} = 1,26$ au lieu de 2,45 par la théorie complète.

Les anneaux des planètes géantes sont tous contenus à l'intérieur de la limite de Roche. Les spécialistes pensent qu'ils correspondent à des particules qui n'ont pas pu s'accréter plutôt qu'à des satellites qui auraient éclaté.

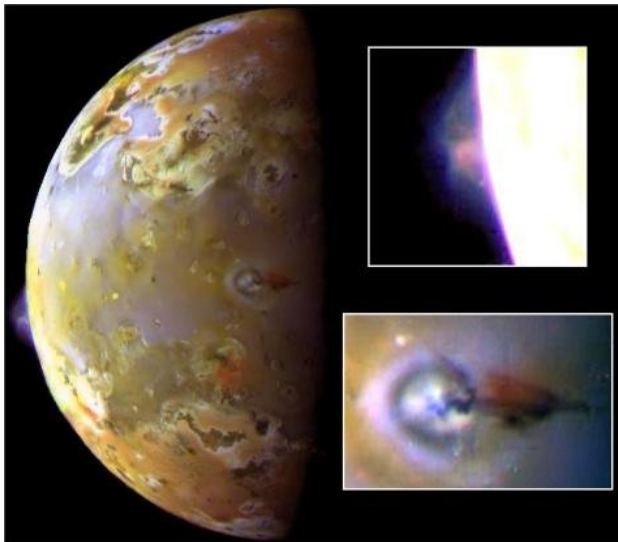
On pense que les fragments constituant les anneaux sont essentiellement constitués de glaces. Un calcul simple montre que la longueur d'un "glaçon" près de Saturne ne pourrait dépasser quelques dizaines de kilomètres.

D'autres faits

Signalons d'autres faits qui, dans le système solaire, se rattachent aux effets de marées.

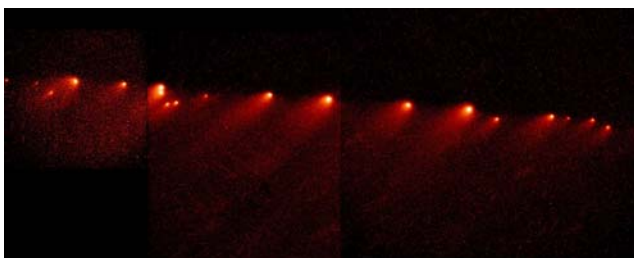
- L'intense activité volcanique de Io (satellite proche de Jupiter) serait probablement due aux interactions de marée avec Europe, Ganymède et Jupiter. Bien qu'Io présente toujours la même face à Jupiter, les interactions avec Europe et Ganymède le

font osciller un peu. Cette interaction déforme la surface de Io qui se soulève et s'abaisse avec une amplitude de 100 m environ, en produisant de la chaleur par frottement interne. Ainsi s'expliquerait l'intense activité volcanique de Io.



Activité volcanique sur Io (NASA)

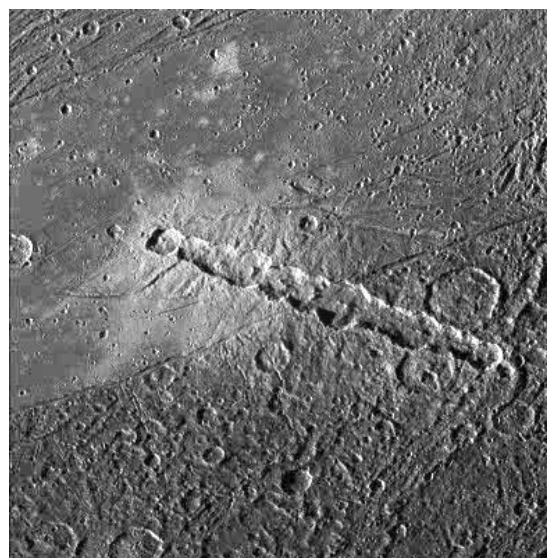
- La comète Shoemaker-Levy 9, découverte en 1993 par les susnommés, était composée d'une vingtaine de fragments. L'analyse de son orbite révéla qu'en 1992, cette comète s'était approchée de la surface de Jupiter (à seulement 40 000 km), en l'occurrence en deçà de la limite de Roche de la planète. La comète se disloqua probablement à ce moment-là. Les fragments tombèrent sur Jupiter en 1994, donnant lieu à un chapelet d'impacts dans l'atmosphère jovienne (voir CC114 « *Le danger vient de l'espace* »)



Comète Shoemaker-Levy (NASA)

- Des alignements presque parfaits de cratères observés sur Callisto et

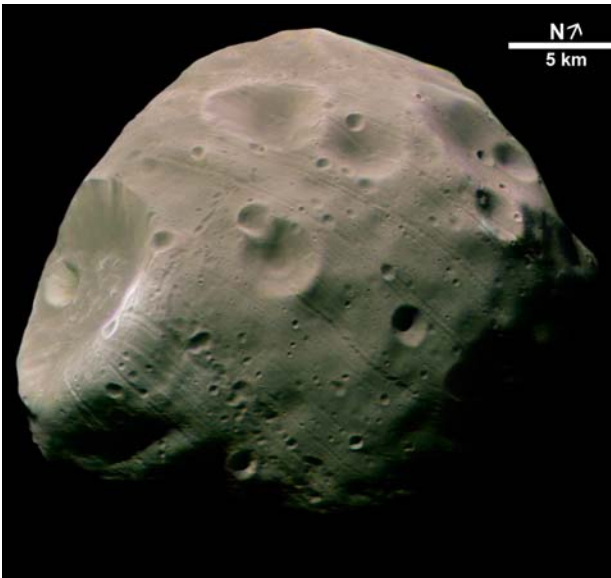
Ganymède⁵ restaient inexplicés depuis leur observation lors des missions Voyager. Nous pouvons désormais supposer que d'autres comètes ont pu partager un destin tout à fait similaire à celui de Shoemaker-Levy 9. Passant au voisinage de Jupiter en deçà de la limite de Roche de Jupiter, ces comètes ont pu se disloquer avant de finir leur course sur les lunes joviennes.



Chaîne de cratères d'impacts sur Ganymède (NASA)

- Phobos se rapproche de Mars à un taux de 1,8 m par siècle, car il se situe en dessous de l'orbite synchrone de Mars (il tourne plus vite autour de Mars que celle-ci ne tourne sur elle-même). Les stries parallèles observées à la surface de Phobos, perpendiculaires à la ligne Phobos-Mars, semblent d'ailleurs corrélées aux violentes forces de marée qu'il subit, et annonceraient une amorce de dislocation. En se rapprochant inexorablement de sa planète hôte, Phobos va soit s'écraser sur Mars, soit, plus probablement, se pulvériser en anneau en franchissant la limite de Roche de Mars.

⁵ On voit aussi de semblables alignements sur la Lune



Phobos (ESA)

Marées dans l'univers

Nous avons vu qu'un corps en orbite autour d'un autre corps possède une "limite" en dessous de laquelle sa cohésion n'est plus assurée. Les régions de l'espace où les particules sont gravitationnellement liées à l'un ou l'autre des corps se rejoignent au point appelé point de Lagrange L1 du système.

Les Novae

Dans le cas d'un système binaire composé d'une naine blanche et d'une étoile géante, la naine blanche va pouvoir accréter de l'hydrogène par ce point L1. De par la forte gravité à la surface de la naine blanche, les gaz vont être comprimés et chauffés, jusqu'au déclenchement de la fusion nucléaire de l'hydrogène en hélium. L'énorme quantité d'énergie libérée par ce processus expulse les gaz restants de la surface de la naine blanche et produit un éclat extrêmement lumineux mais de courte durée.



Vue d'artiste d'une naine blanche (droite) accréant la matière d'une étoile géante (gauche), à l'origine d'une nova.

Cette explosion, baptisée *nova*⁶ peut être récurrente ou même plus radicale, dans le cas où la naine blanche a accréte suffisamment de matière pour atteindre la masse limite (dite de Chandrasekhar), au-delà de laquelle la pression des électrons ne suffit plus à contrebalancer la gravitation. On assiste alors à l'implosion de la naine blanche, suivie d'une explosion en supernova de type Ia.

Bras de marée dans les galaxies

Lors d'une fusion de galaxies, les étoiles qu'elles contiennent ont très peu de risques d'entrer en collision : les galaxies passent tout simplement l'une à travers l'autre. Cependant l'aspect global des galaxies est modifié sous l'action de forces de marée.



Baptisées « souris » à cause de leur longue queue, ces galaxies spirales sont apparemment déjà passées au travers l'une de l'autre.

De par la taille de chacune des galaxies, le gradient de force gravitationnelle est très important. Les effets de marée sont ainsi à l'origine de la formation des antennes, queues ou bras observés pour des galaxies en interaction.

Ainsi on se rend compte que ces phénomènes de marées sont omniprésents dans l'Univers. Ils ont même été invoqués dans la théorie de l'évaporation des trous noirs !

■

⁶ "nova" signifie "nouvelle" en latin. La naine blanche subitement plus lumineuse est devenue visible, telle une étoile nouvelle.

AVEC NOS ÉLÈVES

Complément à la résolution du jour de la semaine d'une date donnée dans le du calendrier grégorien

E. Varanne

Résumé : Suite à l'article paru dans le dernier Cahier Clairaut (CC 114), nous allons adapter la méthode de résolution du calendrier julien au calendrier grégorien ; ainsi vous serez au top pour résoudre mentalement, avec de l'entraînement, et retrouver le nom du jour pour n'importe quelle date dans ces deux calendriers. Les mêmes notations sont adoptées.

Années bissextiles grégoriennes

cg correction grégorienne pour les années bissextiles et le décalage initial de jours, applicable seulement à partir du 15 octobre 1582 inclus.

cg = 11 du 15 octobre 1582 au 31 décembre 1582 sinon

$$cg = (11 - [(a - 1600) / 100] + [(a - 1600) / 400])$$

ta : type année dont la formule générale est donnée ci-dessous :

$$ta = (((a - 1) + [a / 4]) \bmod 28) + 5 + cg \bmod 7$$

lorsqu'une année est bissextile, *ta* est diminué d'une unité ($ta = ta - 1$) pour les mois de janvier et février.

Toutes les années multiples de 4 sont bissextiles en calendrier julien. En calendrier grégorien les années séculaires (multiples de 100) ne sont pas bissextiles, sauf si elles sont multiples de 400.

Pour le calendrier julien la méthode peut être appliquée avant sa mise en application (-44 soit 45 avant JC) on parle alors de **calendrier proleptique**.

Le code du jour *cj* est obtenu par la somme des termes *j*, *tm*, *ta* modulo 7 c'est-à-dire le reste de la division par 7 :

$$cj = (j + tm + ta) \bmod 7$$

Le résultat est toujours positif et est compris dans l'intervalle 0 à 6 inclus.

Le plus difficile dans cet algorithme est de calcul de *cg* et *ta* et aussi de se souvenir que la partie entière d'un nombre décimal obéit à la règle décrite par les exemples qui suivent :

$$[123,254] = 123 ; [-32,1001] = -33$$

Calcul du jour en calendrier grégorien

calcul de *cg* :

Si l'année grégorienne est antérieure à 1600, *cg* = 11. On calcule sinon la correction *cg* ainsi :

$$cg = (11 - [(a - 1600) / 100] + [(a - 1600) / 400])$$

calcul de *ta* :

$$(((a - 1) + [a / 4]) \bmod 28) + 5 + cg \bmod 7$$

Exemples :

15 octobre 1582 : *j* = 15 ; *tm* = 0 ; *cg* = 11 (avant 1600)

calcul de *ta* :

$1582 - 1 = 1581$; $1582 / 4 = 395,5$; $[395,5] = 395$
donc $1581 + 395 = 1976$; $1976 \bmod 28 = 16$
 $ta = (16 + 5 + 11) \bmod 7 = 32 \bmod 7 = 4$ donc
 $(15 + 0 + 4) \bmod 7 = 5$; c'est un **vendredi**.

1^{er} janvier 1900 : *j* = 1 ; *tm* = 0

calcul de *cg* :

$$(11 - [1900 - 1600] / 100) + [(1900 - 1600) / 400] = 11 - [3] + [0,75] = 11 - 3 + 0 = 8$$

calcul de *ta* :

$1900 - 1 = 1899$; $1900 / 4 = 475$; $1899 + 475 = 2074$
 $2074 \bmod 28 = 84$ reste 22 ; $22 \bmod 28 = 22$
 $ta = (22 + 5 + 8) \bmod 7 = 35 \bmod 7 = 0$ donc
 $(1 + 0 + 0) \bmod 7 = 1$; c'est un **lundi**.

Conclusion

Ne pas appliquer la correction *cg* à partir du 15 octobre 1582 revient à continuer l'utilisation du calendrier julien comme le font encore les russes dans l'église orthodoxe.

De plus il est assez facile de calculer la dérive entre le calendrier julien et grégorien par la formule suivante :

- du 15 octobre 1582 au 28 février 1700 grégorien, $dé = 10$ (*dé* comme dérive) 10 jours de retard du calendrier julien par rapport au calendrier grégorien.

- à partir du 1^{er} mars 1700 grégorien,
 $dé = 10 + [(a - 1600)/100] - [(a - 1600)/400]$

Vous remarquerez que la dérive s'applique toujours à partir du 1^{er} mars, dans le calendrier grégorien.

Actuellement en 2006 grégorien, en appliquant la formule : $dé = 13$.

À ce propos, deux anecdotes :

Lors de la "révolution d'octobre", l'insurrection éclata dans la nuit du 24 au 25 octobre julien ; dans le calendrier grégorien elle a eu lieu en novembre, mais à quelle date ? Et quel jour dans les deux calendriers ? Conseil : prendre la date du 25 octobre julien comme base.

Galilée est mort le 8 janvier 1642 en Italie et Newton est né le 25 décembre 1642 en Angleterre. Pourquoi prétend on alors que Newton est né l'année (et quelquefois le même jour) de la mort de Galilée ? Est-ce exact pour chacune de ces deux assertions ?

Un piège involontaire dans le Cahier précédent.

Nous posons la question : " Henri II est-il mort un jeudi ou un vendredi ? ". En fait sans le vouloir nous posons une question piège. Le tournoi fatal a eu lieu le 30 juin 1559, un vendredi (et non pas un jeudi comme il est dit dans le livre de A. Decaux), mais le roi est mort 10 jours plus tard, c'est-à-dire le lundi 10 juillet 1559.

Date origine de la période julienne et des jours juliens

Philippe Merlin, Observatoire de Lyon

Résumé : Voici un petit complément qui explique pourquoi l'origine des jours juliens dont nous parlions dans le Cahier précédent, n'est pas aussi arbitraire que ce que nous pourrions penser.

Le jour julien créé par Scaliger (1540-1609) permet de numéroter les jours sans tenir compte de la complexité du calendrier. Le jour origine de cette numérotation est le premier janvier de la première année d'une période dite *période julienne* qui, elle, est basée sur une chronologie utilisant trois indices annuels périodiques indépendants.

Période	Durée	Valeurs	Définition
<i>Cycle solaire</i>	28 ans	1 à 28	Nombre d'années pour que les jours de la semaine retombent aux mêmes dates dans le calendrier julien.
<i>Nombre d'or</i> (Cycle lunaire)	19 ans	1 à 19	Cycle de "Méton" donnant le nombre d'années pour que les éclipses se reproduisent aux mêmes dates.
<i>Indiction romaine</i>	15 ans	1 à 15	Période de 15 ans pour la levée des impôts chez les romains.

Chaque année, ces trois indices sont incrémentés de 1 et reviennent à 1 lorsqu'ils dépassent leur valeur maximale. On trouve les valeurs annuelles de ces indices sur le calendrier de *La Poste*, sur l'annuaire de l'IMCCE ou sur son site (www.imcce.fr). Une *période julienne* est une durée de $28 \times 15 \times 19 = 7980$ ans.

L'origine de la période julienne a été choisie de façon à ce que les trois indices soient tous égaux à 1, ce qui s'est produit en -4712, et se reproduira en 2668.

Problème : connaissant pour 2006, le *Cycle solaire*, le *Nombre d'or* et l'*Indiction romaine*, retrouver la date d'origine de la période julienne et de la numérotation des jours juliens.

Cycle solaire : **27**, *Nombre d'or* : **12**, *Indiction romaine* : **14**

Jour julien au 1^{er} janvier 2006 à 12 heures : **2453737**

Comment retrouver cette date origine et ce jour julien ?

Retrouvons l'année d'origine de la période julienne.

Regardons pour les quelques années à venir, les valeurs des trois indices.

Année	2006	2007	2008	2009	2010
Cycle solaire	27	28	1	2	3
Nombre d'or	12	13	14	15	16
Indiction romaine	14	15	1	2	3

L'année 2008 semble propice au calcul, car cette année là, deux des indices sont égaux à 1.

À partir de cette date, antérieurement ou postérieurement :

- tous les 28 ans, ou tous les multiples de 28, le *Cycle solaire* vaut 1

- tous les 15 ans ou tous les multiples de 15, l'*Indiction* vaut 1

Si l'on combine les deux :

- tous les $28 \times 15 = 420$ ans, les deux indices valent 1.

Donc en remontant les années, en 1588, 1168, 748... ces deux indices valaient 1.

En quelle année le *Nombre d'or* était-il lui aussi égal à 1 ?

Pour trouver ceci, regardons l'évolution du *Nombre d'or* tous les 420 ans. En 420 ans, il y a 22 période de 19 ans et 2 ans ($420 \text{ modulo } 19 = 2$). En remontant le temps, tous les 420 ans, le *Nombre d'or* recule de deux. Il reste à faire un petit tableau (à faire avec un tableur ou manuellement) pour trouver l'année cherchée.

Année	2008	1588	1168	748	328	-92	-512	-932	-1352	-1772	-2192	-2612	-3032	-3452	-3872	-4292	-4712
<i>Nombre d'or</i>	14	12	10	8	6	4	2	19	17	15	13	11	9	7	5	3	1

Jour julien du 1^{er} janvier 2006

Le calcul du jour julien à partir de cette date, est un plus complexe, car il faut tenir compte de la réforme grégorienne. Une période de 4 ans correspond à $4 \times 365 + 1$ jours soit 1461 jours.

Entre le 1^{er} janvier 2006 et le 1^{er} janvier -4712, il s'est écoulé 6718 années soit 1679 périodes de 4 ans plus deux ans (2004 et 2005) dont une bissextile, ce qui fait :

$$1679 \times 1461 + 365 + 366 = 2453750$$

De ce chiffre il faut soustraire les 10 jours perdus lors du passage du calendrier julien au calendrier grégorien et se souvenir que 1700, 1800 et 1900 n'ont pas été bissextiles. Il faut donc retirer 13 jours. Le jour julien du 1^{er} janvier 2006 est bien $2453750 - 13 = 2453737$.

À la recherche des reines de la nuit

Jean-Noël Terry

Résumé : *En 1998, j'ai lu dans Sky&Telescope, un article de Jocelyn Tomkin présentant des courbes qui donnaient l'éclat apparent, passé et futur, de quelques étoiles connues. J'avais voulu comprendre et simuler. Par paresse j'avais utilisé les moyens de calcul disponibles, en particulier le Fortran. Mais je pense que cette étude peut être reprise pour des lycéens... et au-delà. En plus de l'aspect scientifique, elle montre qu'il faut se méfier des apparences, et confirme que notre ciel nocturne n'a rien d'immuable. Par contre il faut accepter d'utiliser le tableur qui est disponible dans tout ordinateur. C'est donc un voyage sur quelques centaines de milliers d'années qui vous est proposé. Vous trouverez ci-dessous les nouvelles instructions pour les auteurs.*

Présupposés

Peu de choses sont demandées en mathématiques (relations dans le triangle, un peu de trigonométrie, la fonction log...); pour le reste les notions de magnitude et de parallaxe sont à connaître; l'usage du tableur, ou d'un logiciel permettant le tracé des courbes est indispensable.

Pour ne pas alourdir le texte pour ceux qui les connaissent, les notions utiles de magnitude et de parallaxe sont présentées sur le site : <http://www.ac-nice.fr/clea/lunap/> rubriques : Les fondements scientifiques (Éclat apparent : approfondissement) et L'univers observé (Les étoiles : les distances).

Le problème posé

Actuellement les 5 étoiles les plus brillantes du ciel nocturne sont Sirius, Canopus, Alpha Centauri, Arcturus et Vega. Mais en sera-t-il de même dans le futur, en était-il de même dans le passé ? Qui prendra la tête du classement ?

Précisons qu'il s'agit d'un voyage sur quelques centaines de milliers d'années, tout au plus quelques millions d'années, autrement dit rien par rapport à la durée de vie d'une étoile. Les variations d'éclat, sur ces durées, ne seront donc

dues qu'aux variations de distance et non à l'évolution stellaire. De même, sur cet intervalle de temps nous considérerons qu'il n'y a pas d'interaction gravitationnelle entre deux étoiles non doubles.

Que connaissons-nous, aujourd'hui, pour les étoiles qui nous intéressent ? La magnitude visuelle apparente de l'étoile, sa distance donnée par sa parallaxe, son mouvement apparent sur le fond du ciel (données du satellite Hipparcos) et sa vitesse radiale obtenue par l'étude de son spectre.

Avec un peu de réflexion, nous pouvons obtenir quelques éléments intéressants à partir de ces données. La *Figure 1* indique les notations choisies. Nous sommes en O , et observons aujourd'hui l'étoile en A . Elle sera « demain » en B , elle était hier en B' . La vitesse \vec{V} de l'étoile observée de la Terre O est supposée constante pendant la durée qui nous intéresse. Elle est décomposée en vitesse tangentielle (projetée sur la direction perpendiculaire à la ligne de visée) : \vec{V}_t et vitesse radiale (projetée sur la direction de la ligne de visée) : \vec{V}_r . \vec{V}_t est obtenue par le catalogue Hipparcos et \vec{V}_r est donnée par mesure spectrale.

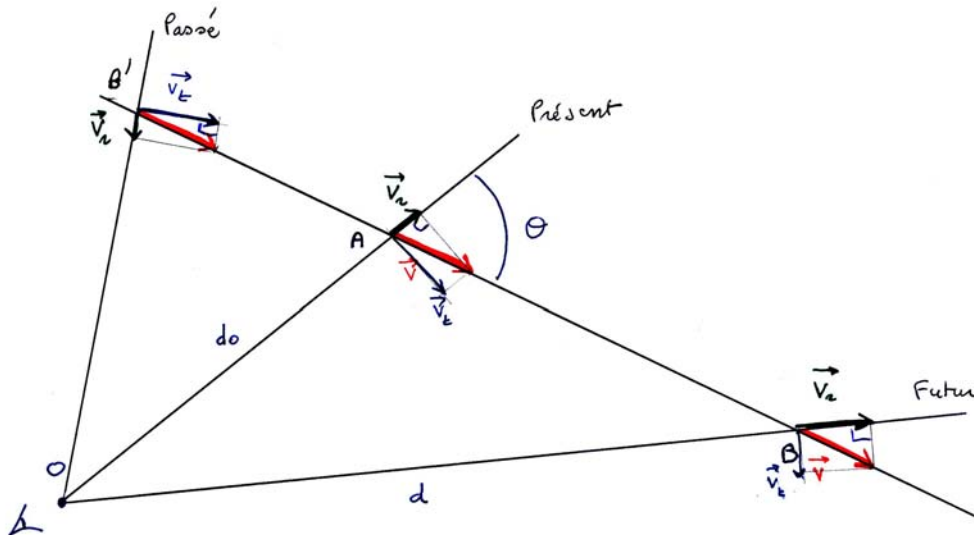


Figure 1 : Vitesse relative des étoiles par rapport à un observateur

Si nous notons m la magnitude visuelle apparente à la date qui nous intéresse et m_0 cette magnitude aujourd'hui ($t = 0$), alors nous avons :

$$m - m_0 = -2,5 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

$$\text{Soit } m = m_0 + 2,5 \log \left(\frac{d}{d_0} \right)^2$$

Il « ne reste plus » qu'à calculer $\left(\frac{d}{d_0} \right)^2$!

Une solution

Considérons le triangle OAB, nous avons :

$$d^2 = d_0^2 + AB^2 + 2d_0 AB \cos \theta$$

où $\theta = (\vec{OA}, \vec{AB})$

De plus $AB = V \cdot t$ où t est la durée séparant les observations O et B .

$$V^2 = V_t^2 + V_r^2$$

$$\tan \theta = \frac{V_t}{V_r} \quad \cos \theta = \frac{V_r}{V} \quad \sin \theta = \frac{V_t}{V}$$

et enfin $V_t = d_0 \tan \mu$ avec μ mouvement propre de l'étoile donné dans le catalogue Hipparcos en milliseconde d'arc par an.

Et dans le passé ?

t devient alors négatif, mais l'angle (\vec{OA}, \vec{AB}) est alors le supplémentaire de θ , la formule devient donc :

$$d^2 = d_0^2 + (V \cdot t)^2 + 2 \cdot d_0 \cdot (-V \cdot t) \cdot (-\cos \theta)$$

où $\theta = (\vec{OA}, \vec{AB})$

Ainsi, dans tous les cas nous pourrions écrire :

$$d^2 = d_0^2 + (V \cdot t)^2 + 2 \cdot d_0 \cdot (V \cdot t) \cdot (\cos \theta),$$

et enfin,

$$m = m_0 + 2,5 \log \left[1 + \left(\frac{V \cdot t}{d_0} \right)^2 + 2 \cos \theta \left(\frac{V \cdot t}{d_0} \right) \right]$$

Le problème des unités

Les calculs vont mêler petits et grands nombres et unités diverses !

Pour le temps nous choisissons l'année, ce qui permet d'écrire en notation scientifique les centaines de milliers d'années. Pour les angles en degré (mes premiers programmes en Fortran ajoutaient l'exigence du radian !). Les distances seront exprimées en kilomètres.

Ce qui conduit à établir des formules de conversion par rapport aux données des catalogues. Rien de difficile à établir, il faut juste éviter les étourderies. Ceci donne :

Pour d_0 , le catalogue Hipparcos donne la parallaxe π de l'étoile en milliseconde d'arc. On sait que la distance en parsec est l'inverse de la parallaxe exprimée en seconde d'arc, que :

$$1 \text{ parsec} = 3,08568 \cdot 10^5 \text{ km, d'où :}$$

$$d_0 = \frac{3,08568 \cdot 10^{16}}{\pi} \text{ km}$$

$$\mu \text{ (en } ^\circ \text{ par an)} = \frac{\mu_c}{3,6 \cdot 10^6}$$

où μ_c est lu dans le catalogue.

$V_r = 3,156 \cdot 10^7 v_r$, quand la vitesse radiale est donnée en km.s^{-1}

$$\cos \theta = \frac{V_r}{V} \text{ et (rappel) } V_r = d_0 \tan \mu$$

Nous sommes prêts à jouer avec le temps !

Les étoiles les plus brillantes aujourd'hui :

Le seront-elles demain, l'ont-elles toujours été ? Voici les données les concernant (HIP est le numéro de l'étoile dans le catalogue Hipparcos), j'ai pris les vitesses radiales dans le Sky Catalogue 2000 (volume 1 : Stars to Magnitude 8.0, 2^{nde} Edition):

Nom	HIP	m_0	π	μ_c	v_r
Sirius	32349	-1,44	379,21	1339,42	-8
Canopus	30438	-0,62	10,43	30,98	21
α_1 Centauri	71683	-0,01	742,12	3709,62	-24
Arcturus	69673	-0,05	88,85	2278,87	-5
Vega	91262	0,03	128,93	350,77	-14
Capella	24608	0,08	77,29	433,75	30
Rigel	24436	0,12	4,22	1,95	21
Procyon	37279	0,4	285,93	1258,50	-3
Bételgeuse	27989	0,50	7,63	29,41	21

Tableau 1 : magnitude apparente, parallaxe, ?? et vitesse radiale des étoiles les plus brillantes aujourd'hui

Le plus agréable est de faire tracer la courbe par un logiciel mathématique. Mais j'ai joué le jeu en me contentant d'un simple tableur, afin que ce soit utilisable par tous. Certes, la formule de la 1^{ère} cellule n'est pas très conviviale, du style, pour Sirius :

$$= -(-1.44 + 2.5 * \text{LOG10}(1 + 5.185 * 10^{(-11)} * (A1)^2 + 2 * 7.2 * 10^{(-6)} * (-0.4311) * (A1)))$$

Heureusement, on peut copier le contenu d'une cellule par simple glissement de curseur... à condition de ne pas relâcher la souris !

Sur la Figure 2 sont tracées les courbes pour les 5 étoiles actuellement les plus brillantes, pour un intervalle de -500000 ans à +500000 ans (pour le tracé un pas de 1000 ans est suffisant, mais on peut prendre moins, ce n'est qu'une question de taille de fichier). Noter qu'en ordonnée j'ai porté l'opposé des magnitudes : le maximum correspond donc bien à l'éclat apparent maximum.

Il est temps de récolter le fruit de notre travail. Ainsi :

- Sirius restera dominante en éclat apparent, avec un maximum vers 58000 ans jusque vers 230000, où Canopus prendra le relais.
- Arcturus est proche du maximum, et son éclat varie relativement rapidement (!)

L'éclat maximum

Le calcul de la dérivée en fonction du temps ne pose pas trop de problème. On trouve :

$$t = -\cos \theta \frac{d_0}{V}$$

Soit pour le tableau suivant, les dates, par rapport à « aujourd'hui », où l'éclat apparent est maximum :

Sirius	Canopus	Alpha Centauri	Arcturus	Vega
59870	-3079718	27816	3708	293040

Tableau 2 : dates d'éclat apparent maximal des étoiles les plus brillantes de notre ciel

Et pour les étoiles les plus proches ?

Les cinq plus proches sont les suivantes (la sixième est Sirius) :

Nom	HIP	m_0	π	μ_c	v_r
Proxima Centauri	70890	11,01	772,33	3852,99	-16
Alpha2 Centauri	71681	1,35	742,12	3724,12	-21
Alpha1 Centauri	71683	-0,01	742,12	3709,62	-24
Etoile de Barnard	87937	9,54	549,01	10357,7	-108
Lalande 21185	54035	7,49	392,40	4802,27	-85

Tableau 3 : magnitude apparente, parallaxe, ? et vitesse radiale des étoiles actuellement les plus proches de nous

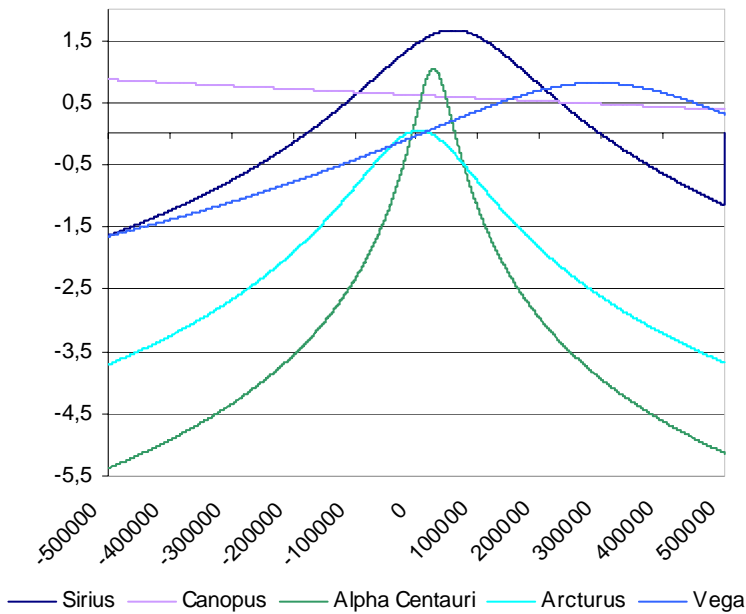
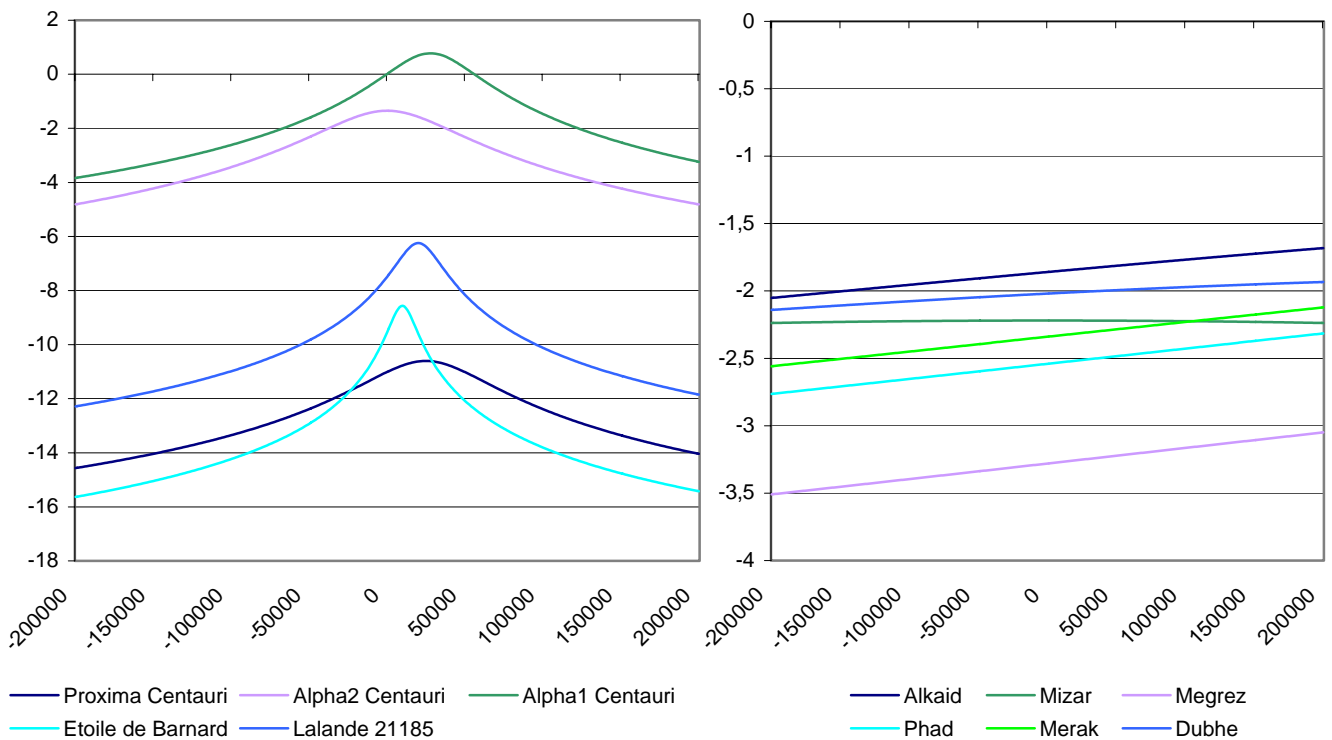


Figure 2 (ci-contre): opposé de la magnitude apparente des 5 étoiles actuellement les plus brillantes, sur un intervalle de -500000 ans à $+500000$ ans

Figure 3 (en bas à gauche): Évolution de l'opposé de la magnitude des étoiles les plus proches.

Figure 4 (ci-dessous): Évolution de l'opposé de la magnitude des étoiles de la constellation de la Grande Ourse.



(Les vitesses radiales de Proxima et Barnard viennent de l'ouvrage « Les étoiles » de Dominique Proust et Jacques Breysacher). La hiérarchie est inchangée sur 400000 ans pour les étoiles les plus proches, sauf pour l'étoile de Barnard qui est celle de plus grand mouvement propre. Vous pouvez chercher une justification (voir Figure 3).

Une remarque s'impose pour Alpha Centauri qui apparaît deux fois. Il s'agit en fait de 3 étoiles :

- Alpha1 (ou A) de classe G2 (HIP71683)
- Alpha2 (ou B) de classe K1 (HIP71681)
- Proxima Centauri (ou C) naine rouge (HIP70890)

Alpha 1 et 2 forment un système double, séparées de 11,2 à 35,6 UA, Proxima est plus éloignée de ce système, mais les trois semblent se déplacer ensemble.

La grande Ourse

On connaît l'apparence de la constellation la plus connue, il y a 100000 ans et dans 100000 ans (voir *Figure 5*) mais qu'en sera-t-il des éclats ? Voici le tableau de base :

Nom	HIP	m_o	π	μ_c	v_r
Alkaid	67301	1,86	32,39	122,22	-13
Mizar	65378	2,22	41,73	123,21	-6
Megrez	59774	3,28	40,05	103,85	-13
Phad	58001	2,54	38,99	103,34	-13
Merak	53910	2,34	41,07	88,36	-12
Dubhe	54061	2,02	26,38	140,94	-9

Tableau 4 : magnitude apparente, parallaxe, ?? et vitesse radiale des étoiles de la Grande Ourse

Ce qui peut s'illustrer sur la *Figure 4* de la façon suivante avec les magnitudes apparentes calculées :

t	Alkaid	Mizar	Megrez	Phad	Merek	Dubhe
-100000	1,96	2,22	3,40	2,65	2,45	2,08
0	1,86	2,22	3,28	2,54	2,34	2,02
+100000	1,77	2,22	3,16	2,43	2,23	1,97

Tableau 5 : Magnitudes apparentes des étoiles de la Grande Ourse à différents temps

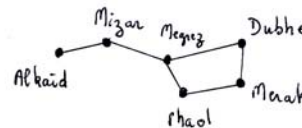
Rendez-vous dans 100000 ans pour vérifier... La Grande Ourse changera de forme, gagnera un peu en luminosité, seule Mizar restera de magnitude constante. Voici les distances actuelles de ces étoiles en année-lumière :

Nom	Alkaid	Mizar	Megrez	Phad	Merak	Dubhe
Distance	101	78	81	84	79	124
Type	B3	A2	A2	A0	A0	K0
$M_{absolue}$	-0,6	0,3	1,3	0,4	0,4	-1,1

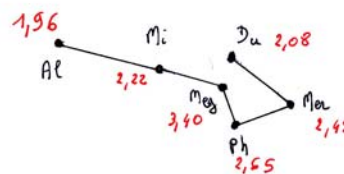
Les résultats obtenus se comprennent car ces étoiles sont loin, elles ont toutes une vitesse radiale négative (donc elles s'approchent de nous), plus faible pour Mizar et Dubhe. Remarquons qu'elles sont de classes spectrales voisines sauf Dubhe, super géante orange.

À vous de jouer...

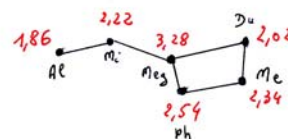
Il est possible de faire l'étude pour les étoiles de son choix, seules ou en groupes : étoiles ayant le plus grand mouvement propre, les plus brillantes en magnitude absolue, étoiles d'une même constellation... À vous de vous approprier le sujet au gré de votre curiosité... et de vos loisirs.



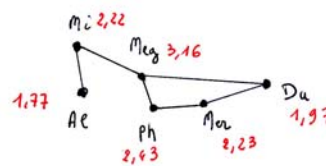
Aujourd'hui



Il y a 100 000 ans



Aujourd'hui



Dans 100 000 ans.

Figure 5 : évolution de l'aspect et des magnitudes des étoiles de la Grande Ourse. Les magnitudes apparentes sont notées en rouge.

Je remercie Marie-Agnès et Emmanuelle pour leur relecture et leurs questions pertinentes.

RÉALISATION

Construction d'un support équatorial pour une webcam

Georges Lecoutre,
Collège Gérard Philippe, Saint-Priest

Résumé : Nous vous présentons pas à pas la réalisation d'un support équatorial, qui va nous permettre de prendre des photos du Soleil à l'aide d'un téléobjectif ordinaire monté sur une Webcam.

But

La monture la plus pratique pour compenser la rotation de la Terre sur elle-même est la monture équatoriale. Ce type de monture nous permet de suivre les astres dans le ciel, que ce soit le Soleil ou les autres étoiles, en ne se déplaçant que sur l'axe horaire ou axe des ascensions droites, la déclinaison étant fixe pour chaque objet. Si vous ne possédez pas de telle monture (souvent fournie avec un instrument), nous vous proposons de construire un support équatorial, sur lequel peut se fixer un objectif photo équipé d'une webcam.

Matériel

Outils :

Vous devez préalablement vous munir d'une scie à bois, d'une perceuse et d'un marteau.

Matière première :

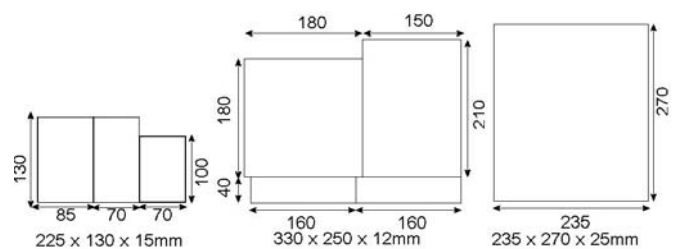
- Aggloméré de 25 mm d'épaisseur (235×270 mm)
- Contreplaqué de 15 mm d'épaisseur (225×130 mm)
- Contreplaqué de 12 mm d'épaisseur (330×250 mm)

Quincaillerie :

- 1 grand boulon \varnothing 6 mm (axe de rotation du support);
- 1 boulon \varnothing 6 mm ;
- 1 boulon poêlier \varnothing 6mm ;

- 2 boulons à ailettes \varnothing 6 mm ;
- 3 rondelles \varnothing 6 mm ;
- collier de fixation de tube PVC pour évacuation d'eau (dans ce cas \varnothing 50 mm)
- adaptateur en aluminium
- 30 pointes de 20 à 35 mm de long
- papier Mylar® + élastique

Voici un exemple de découpe des planches d'aggloméré et de contreplaqué :



Support équatorial

La première étape consiste en la construction du support équatorial proprement dit. Il est constitué d'un socle, de deux supports latéraux, de deux traverses et d'un plateau (*Fig. 1*).

Vous trouverez ci-dessous des photos illustrant le montage, avec les légendes correspondantes :

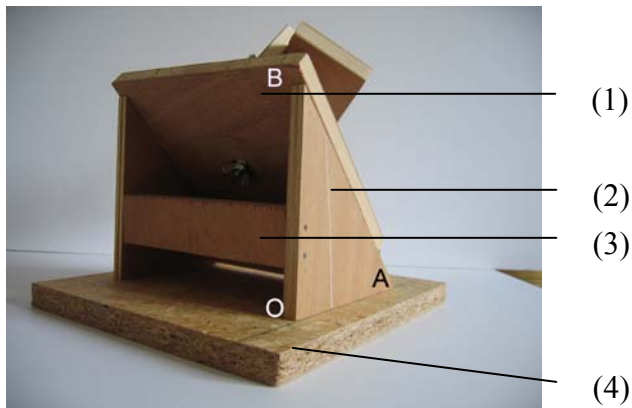


Figure 1 : support équatorial vu de 3/4

- (1) contreplaqué de 12mm : carré 18 cm × 18 cm
- (2) contreplaqué de 12mm : ici rectangle de 15cm×21cm à diviser en 2 triangles rectangles ;
Angle $O\hat{A}B$ = latitude du lieu (à Lyon $44^{\circ}46'$),
d'où : $OA = 15$ cm et $AB = 21$ cm
- (3) contreplaqué de 12 mm : 16 cm × 4cm
- (4) aggloméré de 25 mm : 23,5 cm × 27 cm
- (5) contreplaqué de 12 mm : 16 cm × 4cm

On perce préalablement le plateau du support en son milieu ($\varnothing 6$ mm). Afin de repérer où fixer les pointes, on peut tracer leur emplacement des deux côtés du plateau, sur la hauteur des supports latéraux, ainsi que sur le socle.

Ceci étant fait, on peut assembler la première barre transverse (3) aux supports latéraux (2), puis fixer cette première partie sur le socle (4) (voir Fig. 1). On fixe ensuite la deuxième traverse (5), perpendiculairement à l'axe (AB), de façon à ce qu'elle dépasse des supports latéraux (2) d'un bon cm, tout en touchant le socle (4). On cloue enfin le plateau (1), en butée sur cette dernière traverse (3) (voir Fig. 2).

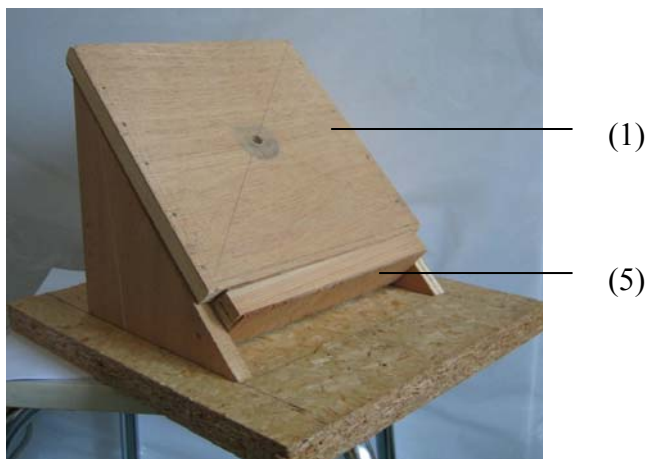


Figure 2 : support équatorial vu de dos

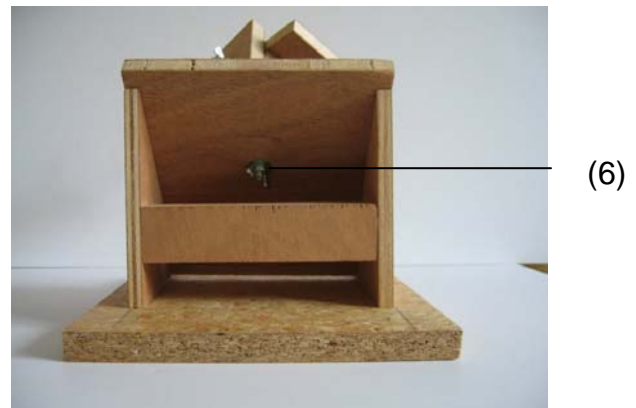


Figure 3 : support équatorial vu de face

- (6) boulon $\varnothing 6$ mm + rondelle et vis à ailettes

Le boulon (6) (voir Fig. 3) va nous servir à fixer le support de l'objectif photo, dont la construction est décrite ci-dessous.

Support de l'objectif photo

Le support est quant à lui constitué d'un plateau (7), d'un tasseau (8), d'un montant (9) et d'un support (10).

On perce tout d'abord chacune des pièces au diamètre de 6mm aux emplacements adéquats. Le tasseau (8) est ensuite collé et vissé sur le plateau (7), ainsi que le montant (9) sur le socle (10). Voici le montage de la partie « bois » du support de l'objectif. Intéressons-nous maintenant au côté « visserie ».

- (7) contreplaqué de 15 mm : rectangle de 7cm×13cm
- (8) tasseau de 2cm×3 cm : longueur 7 cm
- (9) contreplaqué de 15 mm : rectangle de 10cm×7cm
- (10) contreplaqué de 15 mm : rectangle de 13cm×8,5cm

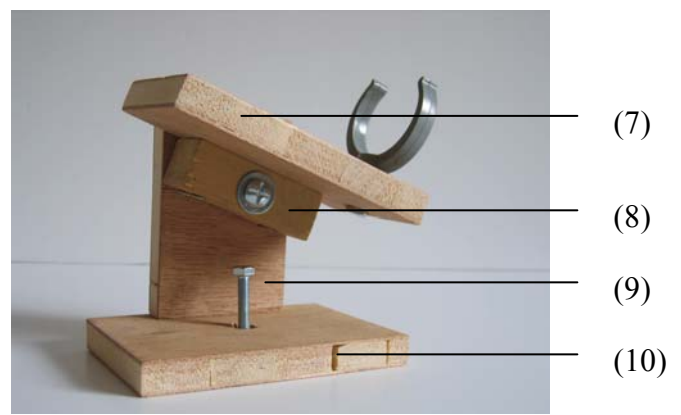


Figure 4 : support de l'objectif photo vu de 3/4

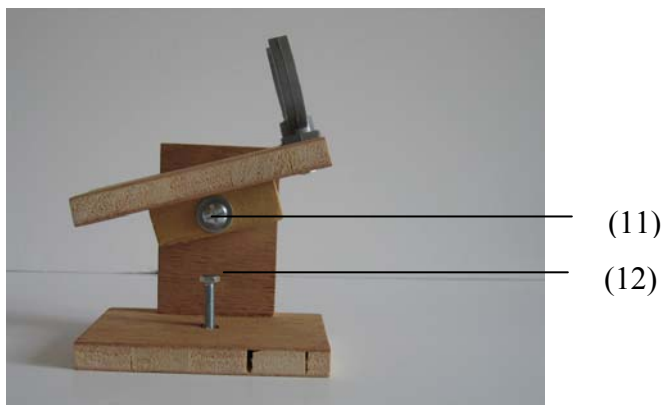


Figure 5 : support de l'objectif photo vu de face



Figure 6 : support de l'objectif photo vu de profil

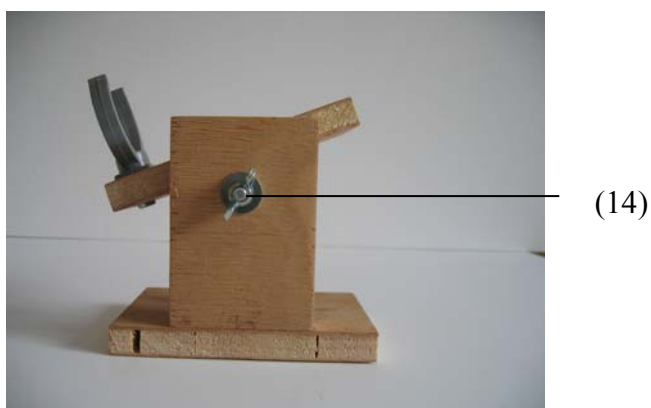


Figure 7 : support de l'objectif photo vu dos

- (11) axe des déclinaisons (boulon et rondelle $\varnothing 6\text{mm}$)
- (12) axe des ascensions droites
- (13) collier pour tube PVC
- (14) écrou « papillon »

Le support de l'objectif est ainsi articulé sur deux axes : le socle (10) est mobile autour de l'axe horaire (12), et le plateau (7) tourne autour de l'axe de la déclinaison (11/14). Le collier (13) est fixe par rapport au plateau (7), et doit être adapté au diamètre de votre objectif.

L'adaptateur pour l'appareil photo

L'adaptateur permet de visser, d'un côté le téléobjectif (pas vissant de $\varnothing 42\text{ mm}$) et de l'autre la Webcam (pas vissant $\varnothing 42\text{ mm}$).

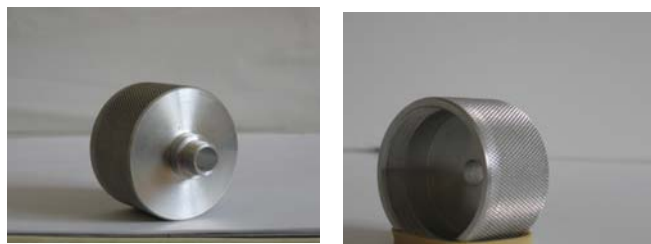


Figure 8 : adaptateur appareil photo/webcam



Figure 9 : fixation de la webcam

L'adaptateur en aluminium a été réalisé par l'entreprise :

R.G.M.G. Tournage Fraisage
35 rue du Dauphiné
69800 Saint-Priest
Téléphone : 04 78 20 11 82

Le viseur solaire pour webcam

Le viseur est une boîte percée au point O (trou d'une pointe de compas) possédant une fenêtre rectangulaire. On vise le soleil ; la lumière du soleil entre par le trou et on peut ajuster la visée pour que le point lumineux obtenu se focalise au centre de la face opposée (croix). L'existence de la fenêtre sur le côté du viseur permet de voir le point lumineux.

Placé le plus précisément possible sur l'objectif photographique, parallèlement à l'axe optique, il permet un réglage rapide de la visée solaire, facilite le suivi manuel et se règle en tournant le dos au soleil puisque l'on regarde le

point lumineux au fond de la boîte ce qui est une précaution supplémentaire avec des élèves.

Si le viseur n'est pas parfaitement parallèle à l'axe optique, on peut malgré tout l'utiliser pour le suivi. Il faut faire un premier réglage jugé satisfaisant, estimer le décalage entre le point lumineux et le centre de la cible. Les réglages suivants tiendront compte de ce décalage.

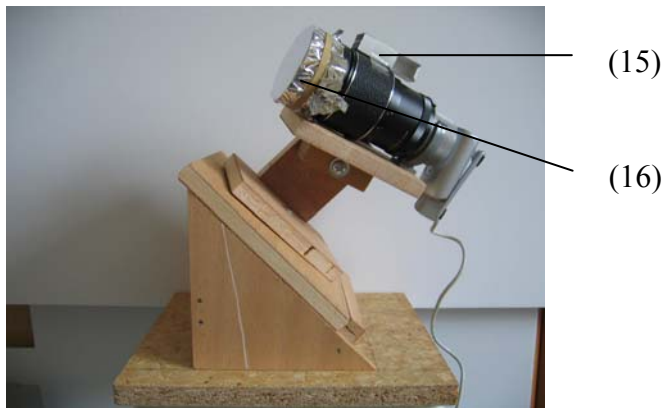


Figure 10 : montage complet

(15) viseur solaire, voir patron ci-dessous (Fig 11).
 (16) papier Mylar®

Le montage complet

Assemblez maintenant grâce à la vis (12) le support de l'objectif au socle équatorial. Fixez ensuite la webcam sur l'objectif à l'aide de l'adaptateur, le tout s'emboîtant dans le collier PVC.

Avant de se servir du support équatorial, il faut orienter la table (AB) vers le nord. Pour cela munissez-vous d'une boussole, ou, mieux s'il fait nuit, laissez-vous guider par l'étoile polaire. L'axe (AB) se trouve ainsi parallèle à l'axe de rotation de la Terre.

Après vous être « fait la main » sur le soleil, vous pouvez désormais utiliser votre petit bijou pour la photographie d'objets du ciel profond. Les meilleures images sont obtenues par somme de courtes poses : cette méthode permet de « geler » les turbulences atmosphériques. Ainsi vous pourrez vous contenter d'un suivi manuel grossier (entre les poses) puisqu'il est très aisé de recentrer les images automatiquement avant de les additionner. Vous pourrez songer par la suite à motoriser l'axe horaire pour un suivi régulier.

■

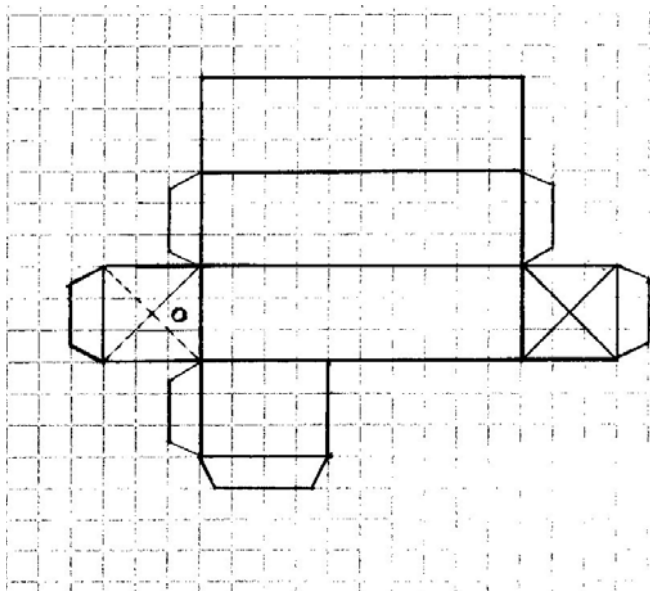


Figure 11 : Patron du viseur solaire ; utiliser du bristol noir si possible

Dimensions :	Fenêtre :
Longueur : 5 cm	Longueur : 3 cm
Largeur : 1,5 cm	Largeur : 1,5 cm

ATTENTION : si vous comptez observer le Soleil, surtout n'oubliez pas de placer une feuille de papier Mylar® devant l'objectif, en la fixant avec un élastique !



DOCUMENTS ANCIENS

Solution de l'équation $ax^3=b$, par Clairaut

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : *Voici donc les trois solutions de l'équation proposée dans le Cahier précédent, telles que Alexis Clairaut les trouve.*

Introduction

Dans son livre : "ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE" (sic), Clairaut se pose le problème de trouver les solutions de l'équation simple $ax^3=b$, que l'on écrira avec Clairaut : $x^3=b/a$. Il remarque que, cette équation étant du troisième degré, on est en droit d'attendre trois solutions. Or une solution simple s'impose :

$$x = \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$$

Clairaut note qu'il n'y a pas d'ambiguïté de signe, comme ce serait le cas pour l'équation $x^2=b/a$. En d'autres termes, x est toujours du signe de b/a , car le cube d'une quantité négative est négatif et le cube d'une quantité positive est positif.

Est-ce une solution triple ? Existe-t-il d'autres solutions et si oui comment les trouver ?

C'est ce que nous allons découvrir en suivant les calculs de Clairaut.

La solution

On sait qu'une équation du troisième degré en x qui a trois racines r_1, r_2, r_3 , peut s'écrire sous la forme très générale :

$$(x - r_1)(x - r_2)(x - r_3) = 0.$$

On le vérifie de manière évidente en donnant à x la valeur d'une des trois racines. Écrivons donc avec Clairaut l'équation sous la forme $x^3 - c^3 = 0$ (ce qui signifie simplement que l'on a posé :

$$c = \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$$

Une solution étant : $x = c$, $x^3 - c^3$ doit être divisible par $x - c$.

En effet, on vérifie aisément que :

$$\frac{x^3 - c^3}{x - c} = x^2 + cx + c^2$$

Les deux autres solutions cherchées sont donc les racines de :

$$x^2 + cx + c^2 = 0.$$

On sait résoudre les équations du second degré. Les deux solutions sont :

$$x = -\frac{1}{2}c \pm \sqrt{-\frac{3}{4}c^2}$$

Donc finalement les trois solutions de l'équation $ax^3=b$ sont les suivantes (après que l'on ait remplacé c par sa valeur) :

$$x = +\sqrt[3]{\frac{b}{a}}$$

et

$$x = -\frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{b}{a}} \pm \sqrt{-\frac{3}{4}\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{2}{3}}}$$

Maintenant amusez-vous à lire Clairaut dans le texte. Vous verrez au passage que les savants avaient une curieuse façon de noter les puissances. C'est une forme que l'on retrouve dans certains langages pour ordinateurs ; il est en effet plus précis pour les machines de calculer $c \times c$ que c^2 .

I.

Des équations du troisième degré à deux termes.
Pour aller du plus simple au plus composé, nous commencerons par les équations qui ne contiennent que deux termes : supposons d'abord qu'elles ne montent qu'au troisième degré, comme $a x^3 = b$.

On met un 3 sur le caractère $\sqrt{\quad}$ pour exprimer la racine cube.
Pour résoudre ces équations, il est bien aisé d'imaginer de délivrer d'abord x^3 de son coefficient, et de prendre la racine cube des deux membres. Le caractère qu'on emploie pour exprimer la racine cube, est le même que celui dont on se sert dans la racine carrée; mais l'on met 3 au-dessus pour le distinguer.

Ainsi, pour exprimer la valeur de x qu'on tire de l'équation $a x^3 = b$, ou $x^3 = \frac{b}{a}$, on écrit $x = \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$. Si, par exemple, $b = 1000$, et $a = 2$, on a $x = \sqrt[3]{500}$.

II.

Les radicaux cubes ne peuvent avoir qu'un signe à la fois.
Il faut observer qu'on n'a pas ici, comme dans les racines carrées, la liberté de mettre + ou - devant le signe radical; mais qu'au contraire, la racine cube d'une quantité est toujours de même signe que la quantité elle-même, à cause que le cube d'une quantité posi-

III.

Cette résolution fournit assez naturellement une réflexion qui paroît contredire celles qu'on a faites précédemment sur les nombres des racines des équations. Car, un cube n'ayant qu'une racine, et cette racine n'ayant qu'un signe, il ne paroît pas qu'une équation telle que $a x^3 = b$ donne plus d'une valeur de x ; cependant, suivant ce qu'on a vu ci-dessus, on devroit s'attendre à trouver trois racines dans une équation du troisième degré, de même que deux dans une du second.

Que conclure de cette réflexion? Abandonnera-t-on ce principe si satisfaisant par sa généralité, et qui suit naturellement de la formation des équations, exposée dans la III^{ème} Partie, article II? Voici le dénouement de cette difficulté, tiré de la formation même.

Qu'on mette l'équation $a x^3 = b$ sous cette forme $x^3 - \frac{b}{a} = 0$, qu'on mette aussi sa racine $x = \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$ sous la forme $x - \sqrt[3]{\frac{b}{a}} = 0$, qu'on divise alors $x^3 - \frac{b}{a}$ par $x - \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$, on trouvera une équation du second degré qui contiendra les deux autres racines.

A 2

4 ÉLÉMENTS D'ALGÈBRE,
Pour en faire le calcul plus aisément, soit fait $\frac{b}{a} = c^3$, on aura donc, au lieu des équations précédentes, $x^3 - c^3 = 0$, et $x - c = 0$; divisant la première par la seconde, il vient au quotient $x^2 + cx + c^2 = 0$, dont les deux racines sont exprimées par $x = -\frac{1}{2}c \pm \sqrt{-\frac{3}{4}cc}$, et deviendront la seconde et la troisième valeur cherchée de x dans l'équation $x^3 = \frac{b}{a}$, aussi-tôt qu'on aura remis à la place de c sa valeur $\sqrt[3]{\frac{b}{a}}$.

I V.

La substitution faite, les deux valeurs de x se trouveront exprimées par $a - \frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{b}{a}} \pm \sqrt{-\frac{3}{4}\sqrt[3]{\frac{bb}{aa}}}$. Car on voit que le carré de $\sqrt[3]{\frac{b}{a}}$, c'est-à-dire, le produit de $\sqrt[3]{\frac{b}{a}}$ par $\sqrt[3]{\frac{b}{a}}$ doit être $\sqrt[3]{\frac{bb}{aa}}$; et qu'en général la multiplication des racines cubes, comme celle des racines carrées, se fait en multipliant d'abord les quantités qui sont sous le signe radical, et en mettant ensuite ce signe devant le produit.

Comment on multiplie les radicaux cubes.

V.

Les trois racines de l'équation proposée

I V^{ème} PARTIE. 5
 $a x^3 = b$, sont donc $x = \sqrt[3]{\frac{b}{a}}$, $x = -\frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{b}{a}} + \sqrt{-\frac{3}{4}\sqrt[3]{\frac{bb}{aa}}}$, $x = -\frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{b}{a}} - \sqrt{-\frac{3}{4}\sqrt[3]{\frac{bb}{aa}}}$; la première réelle, et les deux autres imaginaires, mais cependant toujours telles, qu'on peut dire qu'elles résolvent l'équation proposée.

Racines de l'équation du troisième degré à deux termes.

VI.

Supposons maintenant qu'on ait une équation à deux termes d'un degré quelconque, on la résoudra de la même manière, en employant un radical dont l'exposant soit celui que l'inconnue a dans cette équation. Soit, par exemple, l'équation $a x^m = b$, ou $x^m = \frac{b}{a}$, on en tirera $x = \sqrt[m]{\frac{b}{a}}$.

Des équations à deux termes et d'un degré quelconque.

Si m est un nombre impair, cette quantité ne pourra être que négative, lorsque $\frac{b}{a}$ sera négatif, et elle ne pourra être que positive, lorsque $\frac{b}{a}$ sera positif. Si m est un nombre pair, la racine aura, comme dans le second degré, le signe \pm , et elle ne sera réelle que lorsque $\frac{b}{a}$ sera positif. Dans le cas où $\frac{b}{a}$ sera négatif (m toujours pair), les deux racines

A 3

OBSERVATION

Quelques idées d'observations pour 2006-2007

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

Résumé : *L'actualité astronomique est source d'activités avec les élèves. Voici quelques propositions d'observations à faire cette année. On peut noter en particulier une belle éclipse totale de Lune le 3 mars 2007 et deux occultations de Saturne par la Lune.*

Les planètes

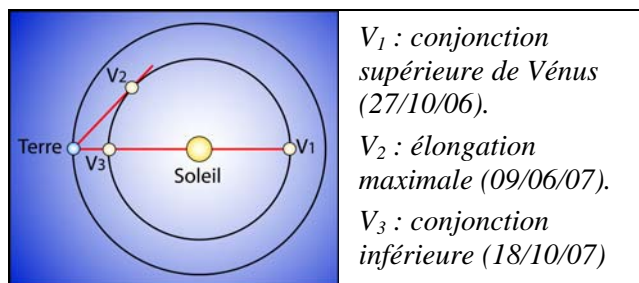
Mercur

C'est une planète difficile à observer. Pour qu'elle soit visible, il faut qu'elle soit angulairement assez éloignée du Soleil. Mais il est préférable qu'elle soit au-dessus du plan de l'écliptique et que l'écliptique soit assez incliné sur l'horizon quand on l'observe. Ces trois conditions seront réunies autour du 10 février. On pourra observer Mercure le soir, côté ouest, aux alentours de 18h30. pendant les 15 premières jours de février (élongation maximale le 7).

On pourra aussi la chercher le matin fin novembre (élongation maximale le 25) à l'horizon est cette fois.

Vénus

Vénus passera derrière le Soleil le 27 octobre 2006 (conjonction supérieure). Elle ne sera donc pas visible dans le mois qui précède et le mois qui suit cette date. On pourra commencer à la chercher le

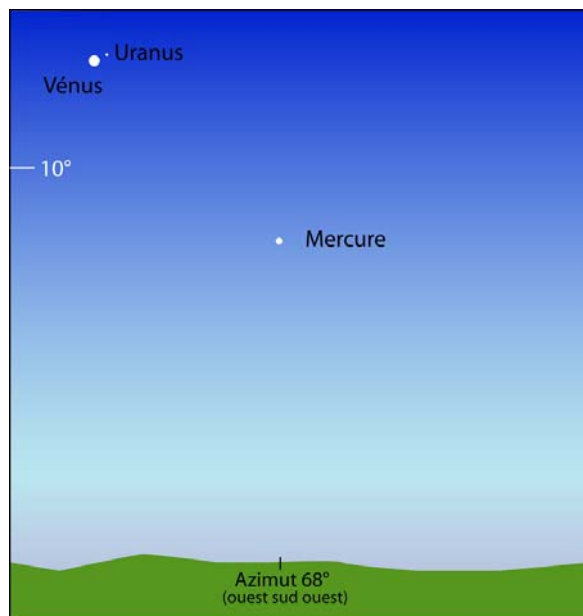


soir à la fin de l'année 2006. Elle s'éloignera ensuite du Soleil tout en augmentant d'éclat (élongation maximale le 9 juin). Elle restera très lumineuse en

juin et juillet et passera ensuite entre le Soleil et la Terre le 18 août (conjonction inférieure).

Sur le schéma précédent, on a noté les différentes configurations de Vénus par rapport à une Terre fixe. Dans un repère galiléen, il faudrait faire tourner la Terre et Vénus autour du Soleil.

Vénus semblera passer à côté de Neptune le 19 février (à 1°21') et d'Uranus le 7 février (0°40')



Aspect du ciel le 7 février 2007, 45 minutes après le coucher du Soleil.

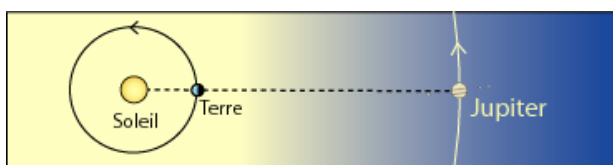
Mars

La planète rouge sera derrière le Soleil fin octobre. Elle deviendra visible le matin en décembre mais

elle sera trop éloignée pour être intéressante. Pour l'observer, il vaut mieux attendre fin 2007 début 2008 (opposition le 24 décembre).

Jupiter

Jupiter sera en conjonction avec le Soleil en novembre donc invisible. On la trouvera le matin dès la fin du mois de décembre. A partir de l'opposition du 6 juin, elle sera visible dès le coucher du Soleil.



Opposition de Jupiter le 6 juin 2007 : vue depuis la Terre, la planète géante sera alors à l'opposé du Soleil.

Saturne

Tout le début de l'année 2007 sera une bonne période pour observer Saturne, dans la constellation du Lion. Elle sera au plus près de la Terre en février (opposition le 10). Ses anneaux sont moins inclinés qu'en 2002 ou 2003 mais ils sont encore bien visibles. Ce n'est qu'en 2009 que la Terre passera dans le plan des anneaux qui deviendront alors invisibles.

Certains d'entre nous pourront observer cette année deux occultations de Saturne par la Lune.



Saturne juste après son occultation par la Lune le 3 novembre 2001 (photo PB/SAB)

La première aura lieu dans la nuit du 1er au 2 mars, vers 3h TU. Mais seules les personnes habitant au nord d'une ligne passant approximativement par Rouen et Nice pourront en profiter. Au sud, on verra la Lune frôler Saturne. Autour de la ligne,

l'occultation sera rasante : on pourra voir Saturne se cacher derrière une montagne lunaire puis réapparaître et ceci plusieurs fois de suite.

La deuxième occultation aura lieu le 22 mai. Elle débute au coucher du Soleil, peu après 19h TU et Saturne réapparaît moins d'une heure plus tard. .

Ces deux occultations peuvent être l'occasion de faire de belles photos. Mais elles peuvent aussi être utilisées pour calculer la distance de la Lune. Il suffit pour cela de faire deux photos à la même heure depuis deux lieux éloignés (voir le n° 92 des Cahiers Clairaut ou sur le site du CLEA en cliquant sur L'Univers à portée de main/L'Univers observé/distance Terre-Lune/activités/méthode de parallaxe)

Conjonctions avec la Lune

En plus des occultations de Saturne, du 1er mars et du 22 mai, d'autres conjonctions sont intéressantes à observer et peuvent permettre de calculer la distance Terre-Lune. En voici quelques-unes :

17 octobre (matin) : conjonction Lune Régulus (1° 47') avec Vénus à proximité.

13 novembre (matin) : conjonction Lune Saturne (1° 28')

4 décembre (matin) : la Lune presque pleine occulte plusieurs étoiles du Taureau.

25 décembre (soir) : la Lune est en conjonction avec Uranus (moins de 1°). A observer avant leur coucher vers 21hTU.

6 janvier : la Lune se lève très proche de Saturne, vers 19h30

20 janvier : conjonction Lune Vénus. La Lune en très mince croissant est toute proche de Vénus. A observer aux jumelles côté ouest peu après le coucher du Soleil.

2 février : conjonction Lune Saturne (50'). La Lune va frôler Saturne peu avant minuit.

19 février : à nouveau un rapprochement Vénus croissant de Lune à partir de 18h TU.

30 mars à 3h42 TU : l'étoile Regulus, la plus brillante du Lion, est occultée par la Lune (au ras de l'horizon ouest).

Eclipses de Soleil

Il y aura cette année deux éclipses de Soleil mais aucune visible depuis la France métropolitaine.

Le 22 septembre 2006, éclipse centrale annulaire à observer depuis l'Atlantique Sud. On pourra l'observer au lever du Soleil depuis le nord de l'Amérique du Sud puisque la ligne de centralité passe juste à côté de Kourou.

19 mars 2007 : éclipse partielle de Soleil à voir depuis l'Est de l'Europe et l'Asie.

Eclipses de Lune

L'éclipse du 7 septembre a été très partielle. Par contre, celle du 3 mars 2007 sera totale. Voici les principales données (toutes les heures sont en TU, il faut ajouter 1 h pour avoir l'heure légale) :

Date de l'éclipse	3-4 mars 2007
Entrée dans l'ombre	21h30
Début de la totalité	22h44
Maximum de l'éclipse	23h21
Fin de la totalité	23h57
Sortie de l'ombre	1h11

De nombreux autres détails ont été donnés dans le dernier numéro des Cahiers Clairaut

Saisons et orbite de la Terre

Automne : le 23 septembre 2006 à 4 h 3 min TU

Hiver : le 22 décembre 2006 à 0 h 21 min TU

Printemps : le 21 mars 2007 à 0 h 7 min TU

Été : le 21 juin 2007 à 18 h 6 min TU

Date de passage de la Terre au périhélie : le 3 janvier 2007 (à 147 100 000 km du Soleil)

à l'aphélie : le 6 juillet 2007 (à 152 100 000 km du Soleil)

Phases de la Lune

Nouvelle Lune	Premier Quartier	Pleine Lune	Dernier quartier
23/08/06 19h10	31/08/06 22h56	07/09/06 18h43	14/09/06 11h17
22/09/06 11h45	30/09/06 11h03	07/10/06 3h13	14/10/06 0h26
22/10/06 5h14	29/10/06 21h25	05/11/06 12h58	12/11/06 17h46
20/11/06 22h17	28/11/06 6h29	05/12/06 0h24	12/12/06 14h32
20/12/06 14h00	27/12/06 14h48	03/01/07 13h57	11/01/07 12h44
19/01/07 4h00	25/01/07 23h02	02/02/07 5h45	10/02/07 9h51
17/02/07 16h14	24/02/07 7h56	03/03/07 23h17	12/03/07 3h55
19/03/07 2h43	25/03/07 18h16	02/04/07 17h15	10/04/07 18h04
17/04/07 11h36	24/04/07 6h35	02/05/07 10h10	10/05/07 4h27
16/05/07 19h28	23/05/07 21h02	01/06/07 1h04	08/06/07 11h43
15/06/07 3h14	22/06/07 13h14	30/06/07 13h49	07/07/07 16h54

Passages au périhélie :

8 septembre, 6 octobre, 3 novembre, 2 décembre, 28 décembre, 22 janvier, 19 février, 19 mars, 17 avril, 15 mai, 12 juin.

Avec ces données, on peut faire beaucoup de choses, par exemple :

- calculer la durée de chaque lunaison et en faire une moyenne,

- comparer ces dates avec le début des mois des calendriers musulman ou chinois,

- calculer la durée écoulée entre deux phases de la Lune et comparer avec la date de passage au périhélie...



La Lune photographiée tous les 4 jours : les 28 juin 2006, 2 juillet 2006, 6 juillet 2006 et 10 juillet 2006. On peut voir que son diamètre apparent augmente (elle s'approche du périhélie).

REMUE-MÉNINGES

Saturne était à l'opposition le 27 janvier 2006. Soleil, Terre et Saturne étaient donc alignés. L'inclinaison de la planète fait que c'est son pôle sud qui était visible.

En observant une photo de Saturne prise autour de cette opposition, entre août 2005 et juin 2006 par exemple, comment peut-on savoir si elle a été prise avant ou après l'opposition ? Voici par exemple une image faite à la Webcam derrière un LX200 muni d'un renvoi coudé.

A t-elle été prise avant ou après le 27 janvier 2006 ? (Attention, le renvoi coudé montre l'image comme dans un miroir).



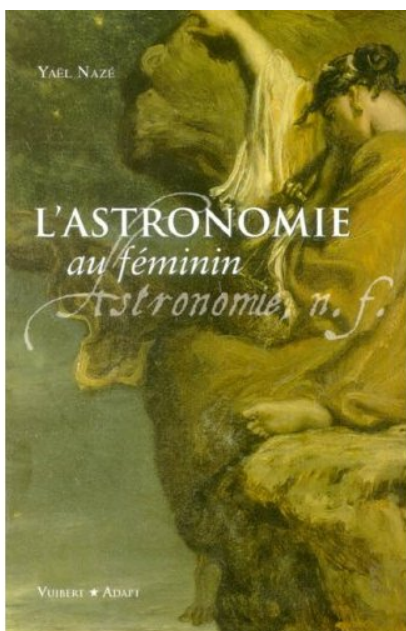
(Photo PL/SAB)

LECTURE POUR LA MARQUISE

L'astronomie au féminin

Yaël Nazé, éd. Vuibert-Adapt, ISBN 2-7117-7163-6

Où trouver «du personnel attentif au détail, patient, ne cherchant pas d'avancement, ne rechignant pas au travail routinier, et surtout bon



marché » ? En astronomie, en faisant travailler les femmes !

On aurait souhaité que notre science favorite se distingue par un esprit plus ouvert. Non, imaginez donc des femmes et des hommes ensemble la nuit dans un observatoire... Heureusement, ces préjugés datent des deux siècles passés (??).

Ce sont les vies de quelques figures féminines marquantes, que nous présente Yaël Nazé. Soit Herschel... mais Caroline, Shoemaker mais Carolyn !

Les biographies sont présentées par thème d'étude. Ainsi on découvrira que l'on doit la classification spectrale, en particulier, à Williamina Paton Fleming, Antonia Caetana Maury et Annie Jump Cannon. Cette dernière classera 225300 étoiles de 1911 à 1915 ; mais il lui faudra attendre l'âge de 75 ans pour que l'université lui donne un poste d'astronome !

L'aventure d'Henrietta Swan Leavitt et de la découverte de la relation période-luminosité est plus connue. On connaît moins le travail de Margaret Burbidge avec son mari Geoffrey et William Fowler et Fred Hoyle, sur la nucléosynthèse stellaire.

Vera Cooper Rubin ne pourra pas étudier à Princeton, qui n'admettra les femmes qu'à partir de 1975. Elle ne perdra pas au change en travaillant avec Gamov sur la répartition des galaxies.

Le livre se termine avec l'histoire de Susan Jocelyn Bell Burnell qui partagera le prix Michelson avec son patron, pour leur découverte des pulsars... mais pas le prix Nobel, ce qui fera crier Fred Hoyle au scandale.

À côté des biographies, est placée une description des phénomènes qui représente près du quart du livre. Était-ce nécessaire ? N'aurait-on pas préféré encore mieux connaître ces femmes si méconnues ? Ces rappels ne gênent toutefois pas la lecture.

Plus regrettable par contre, est la piètre qualité des photos et des illustrations que leur petite taille rend peu lisibles.

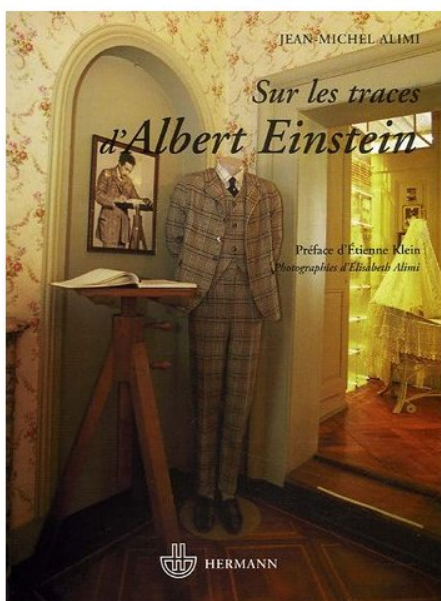
Mais ceci ne doit pas vous faire renoncer à découvrir ces destins exceptionnels. À ce titre, le livre est passionnant. Astronome n'a pas de féminin ? si : astronome !

Sur les traces d'Albert Einstein

Jean-Michel Alimi, éd. Hermann, ISBN 2-7056-6552-8.

2005+1=2006. Non, ce n'est pas la nouvelle équation de la physique, mais après l'année consacrée à Einstein et les nombreux articles parus alors, il était dommage d'omettre cet ouvrage.

Ainsi vos lectures seront illustrées par des photos des lieux où le savant a travaillé et vécu



accompagnées d'une frise chronologique et de citations d'Einstein. Bien sûr, la guerre a détruit beaucoup de maisons en Europe, mais le cadre reste.

Jusqu'à Princeton en 1933, ce sont Ulm, Munich, Aarau, Zurich, Berne, Prague, Berlin, Leyde, Berlin à nouveau, Bruxelles, Paris, Postdam, Caputh, Coq-sur-Mer, New-York et Princeton.

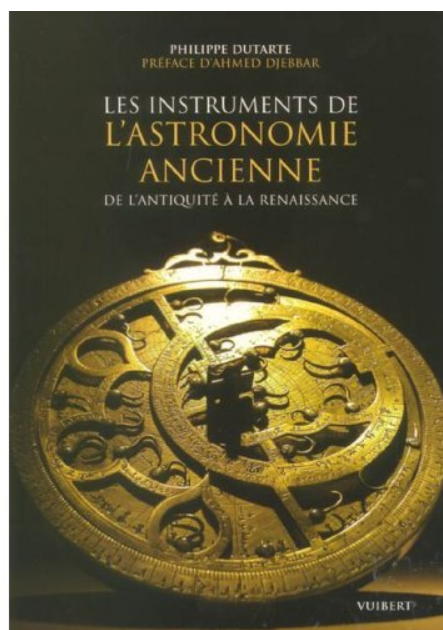
Voilà qui « relativise » quelque peu la sédentarité d'Einstein.

Une deuxième partie sur « Le monde d'Albert Einstein » est un peu moins intéressante, et la couleur de fond ne facilite pas la lecture, mais ceci n'ôte rien à un livre original en cette année 2005 !

Les instruments de l'astronomie ancienne

Philippe Dutarte, éd. Vuibert, ISBN 2-7117-7164-4.

Le livre s'ouvre par une présentation du Traité de la sphère de Sacrobosco. Ce professeur à l'Université de Paris au 13^{ème} siècle a contribué, en particulier, à la diffusion des chiffres arabes. Il s'agit d'une description du monde selon le système de Ptolémée, dans un traité d'astronomie qui fut, paraît-



il, très « populaire » au Moyen-Âge.

C'est une introduction logique au premier instrument présenté : la sphère armillaire qui sera présentée souvent sous la forme de véritables objets d'art. L'anneau astronomique en sera une simplification, se limitant aux cercles fondamentaux (équateur, méridien local et axe du monde). Il permet d'étudier le moment exact de l'équinoxe conduisant ainsi à la réflexion sur la réforme du calendrier.

L'astrolabe planisphérique, « joyau mathématique », permet, selon son étymologie grecque de « prendre les astres ». Ses qualités esthétiques et pédagogiques expliquent sa grande longévité... jusqu'à l'École d'été du CLEA ! Né sans doute avant Ptolémée, introduit dans le monde islamique au 8^{ème} siècle, puis dans l'Espagne musulmane (à Tolède au 11^{ème} siècle par exemple), il fut aussi un moteur en astronomie, car il demande une bonne connaissance des tables astronomiques. Il arrivera dans le monde latin via les monastères de Catalogne et connaîtra son âge d'or au milieu du 16^{ème} siècle.

L'astrolabe nautique fut utilisé pour effectuer certains calculs de coordonnées. Ce sont les Portugais qui, au 15^{ème} siècle, modifièrent l'astrolabe classique pour le rendre utilisable pour la navigation. Cela devenait indispensable quand leurs navigateurs s'aventurèrent au-delà de l'équateur, là où l'étoile polaire disparaît sous l'horizon. À tel point que le drapeau portugais porte une sphère d'or.

Mais il serait trop long de parler des quadrants, du navicula à l'allure de navire vénitien, ou du nocturlabe pour lire l'heure aux étoiles.

Ce livre est très riche et très documenté. Chaque instrument est présenté par son histoire, la biographie des ses « inventeurs », son principe de fonctionnement et sa technologie. Ajoutons que l'auteur a réalisé, avec des élèves du lycée Branly de Créteil, bon nombre de ces instruments qui semblent de belle facture. Enfin l'iconographie, en noir et blanc, est très agréable.

Il ne reste plus qu'à consulter la liste des musées imprimée à la fin du livre et à partir à la découverte des pièces historiques exposées ici ou là.

Invitation au voyage dans le temps et l'espace... mais c'est une autre histoire.

JNT ■

Nous rappelons que l'Assemblée Générale du CLEA se déroulera cette année à Montpellier, le 19 novembre 2006 à l'Institut de Botanique. Notre ami, Eric Josselin, maître de conférence à l'Université de Montpellier et chercheur au GRAAL organisera cette Assemblée Générale, qui commencera à 9 heures et se terminera à 17 heures.

En Conseil restreint, il a été exprimé le souhait que les Assemblées Générales ne soient pas seulement les comptes rendus administratifs de la vie du CLEA, mais qu'elles soient surtout l'occasion d'exposer les réalisations et les projets de chacun. N'hésitez pas à nous contacter pour avoir du temps pour exposer.

Une conférence sera donnée, en clôture, par Olivier Richard du GRAAL. Le titre provisoire est : "Dernières nouvelles du Soleil".

Des documents pédagogiques du CLEA seront vendus à un prix exceptionnel : 1 € ou 2 € le document.

patu@obs.univ-lyon1.fr

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Mesure du diamètre de Charon

À l'aide d'un des grands télescopes du VLT (Very Large Telescope) de l'ESO basés au Chili, une équipe d'astronomes (où figurent en bonne place des planétologues français) vient de mesurer le diamètre de Charon, compagnon satellite de Pluton. Cette mesure a été possible lors de l'occultation rare d'une étoile par Charon. Son diamètre se trouve être de :603,6 km (+-5 km), à peu près moitié moindre que celui de Pluton.

Daniel Kunth

Correspondant français auprès des médias

Dernière nouvelle

L'Union Astronomique Internationale a décidé, le 25 août 2006, de déclasser Pluton comme planète. Il n'y a donc plus que huit "planètes". Les autres corps du système solaire seront appelés, soit des "planètes naines" soit des "petits corps du système solaire".

Pluton est dorénavant une "planète naine" faisant partie des objets trans-neptuniens (OTN). Les petits corps comprennent les astéroïdes du système solaire, les comètes et la plupart des OTN.

Ph. Merlin

Au fil des perles des astronomes et des enseignants

Un instituteur demanda un jour à une petite fille : "Pour la semaine prochaine, recopie moi la distance de la Terre aux différentes planètes". L'élève consciencieuse chercha dans ses livres et, faute de trouver une table donnant ces distances, elle s'en fut les demander à son père. Le père leva les bras au ciel en disant "qu'on ne pouvait pas répondre à une question pareille", et il en expliqua la raison à sa fille.

La semaine suivante la petite fille alla voir l'instituteur et lui dit simplement "qu'elle ne pouvait pas répondre à une question pareille". L'instituteur surpris commenta : " Je ne te demandais que des valeurs approximatives. Pour une fille d'astronome, c'est pas très sérieux !"

gp

LA VIE ASSOCIATIVE

L'École d'Été d'Astronomie 2006

L'école d'été d'astronomie du CLEA vient de se terminer. Une fois encore, l'ambiance a été très chaleureuse et studieuse à la fois, et le cadre de la région de Gap toujours aussi enchanteur.

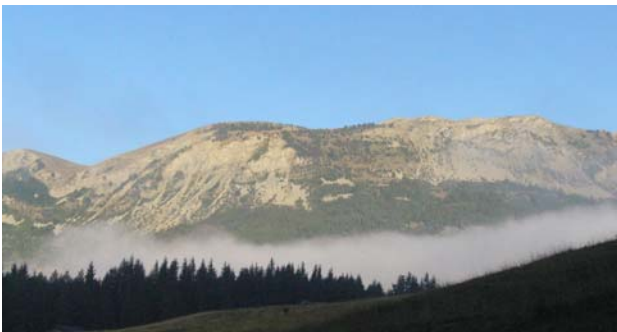


photo L. Muller

L'EEA2007 se déroulera du 17 au 24 août 2007. Retenez ces dates pour vous inscrire tôt, car cette année nous avons fait le plein des places disponibles.

Revenons un peu plus en détail sur cette école d'été 2006. Comme d'habitude, la journée commençait, pour les plus courageux, par une marche matinale dans les bois, autour du golf du col Bayard. Après un solide petit déjeuner, les cours pouvaient commencer. Nous avons eu des cours d'astronomes professionnels (de l'Institut d'Astrophysique de Paris, du Groupe de Recherche en Astronomie et Astrophysique

du Languedoc et de l'Observatoire de Lyon) ainsi que de professeurs chevronnés des Académies de Toulouse et Dijon.

Les après-midi étaient consacrés aux travaux dirigés et aux ateliers pratiques. Pour prendre quelques exemples typiques, nous avons fait réaliser des montures équatoriales, de superbes astrolabes, des maquettes très didactiques, dont l'ingénieuse orbilune, qui permet de comprendre et prévoir les éclipses de Lune et de Soleil (l'auteur nous a promis un article pour les Cahiers Clairaut).

Enfin, les soirées étaient occupées par l'observation du ciel, qui a été remarquablement beau cette année. Certains n'ont pas hésité à se relever à cinq heures du matin pour observer Mercure ou Vénus.

L'École s'est terminée par la traditionnelle soirée de clôture, sous les signes des "vaches" et des "dinosauriens" (Il faut être initié pour comprendre ; mais expliquons brièvement, pour ne pas frustrer le lecteur, que les "vaches" font référence aux bovidés rencontrés lors de nos promenades matinales et que les "dinosauriens" font référence à un groupe de travail remarquable, sur l'extinction des dinosauriens).

Nous vous donnons ci-dessous la photographie des participants.



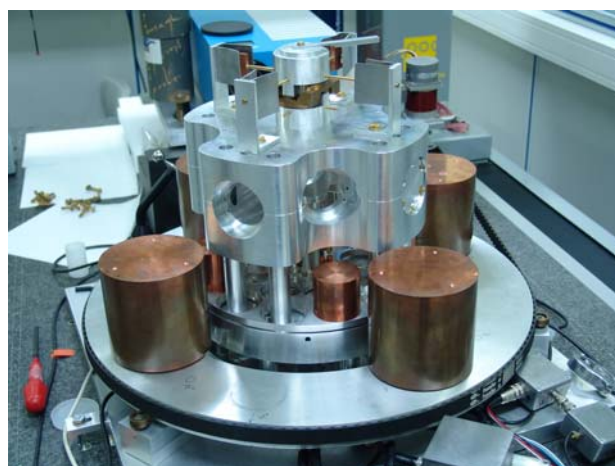
Un siège pour le CLEA

Le siège social du CLEA est à Orsay, car c'est là que les responsables principaux travaillaient, lors de la création de notre Comité, il y a bientôt 30 ans. Progressivement les départs à la retraite ont eu raison des effectifs. Certes, plusieurs bénévoles ont continué d'y travailler pour entretenir le serveur, honorer les commandes de matériel pédagogique, réceptionner le courrier, etc... Mais il faut se rendre à l'évidence, un nouveau siège social doit être trouvé. L'observatoire de Lyon s'est porté volontaire pour héberger le CLEA et lui fournir un local. La décision de changer le siège social sera prise lors de la prochaine AG en novembre prochain.

Le CLEA au Grand Palais

La balance de Cavendish du CLEA sera exposée au Palais de la Découverte, du 19 septembre au 3 décembre 2006. Des volontaires du CLEA ont accepté de participer à la présentation du stand. Nous les en remercions.

Des laboratoires prestigieux sont associés à cette manifestation : le Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) qui nous fournira des éléments de l'expérience de Cavendish en cours à Sèvres, et le Laboratoire National d'Essai (LNE) de Trappes, qui nous permettra d'expliquer l'expérience de la balance du watt, expérience qui pourrait être à la base de la future définition du kilogramme étalon.



L'expérience de Cavendish du BIPM

COURRIER DES LECTEURS

Les divas donnent le la

J'ai lu avec beaucoup d'intérêt les articles de Jean-Noël Terry sur Foucault, et admiré les très belles illustrations mais j'ai été quelque peu étonnée par la conclusion de son courrier intitulé "Les divas donnent le la".

Certes, l'histoire des vicissitudes du diapason est pleine de rebondissements ! Mais au contact d'une mère

violoniste j'ai souvent entendu dire que ce sont les instrumentistes qui ont tendance à faire monter le diapason (et souvent au-delà des 440 Hz légalement fixés), parce que "ça sonne mieux !" D'où des tensions plus fortes sur les cordes : les instruments souffrent, et les gosiers encore plus, car les contre-ut sont plus difficiles à atteindre !



Il y a une vingtaine d'années un groupe de chanteurs, instrumentistes et facteurs d'instruments avaient lancé une campagne internationale pour revenir au "diapason de Verdi", diapason "scientifique" à 432 Hz. J'ignore si cette bien fondée "révolution du la" est toujours dans l'air du temps...

Et l'astronomie, dans tout ça me direz-vous ? Il est bien plus difficile pour un ténor, si le diapason est plus haut, de chanter : "Ah ! lève-toi Soleil ! fais pâlir les étoiles" dans Roméo et Juliette ou "E lucevan le stelle" (le ciel luisait d'étoiles) dans la Tosca ! Vous préférez "Au clair de la Lune ?" Chantez en montant le ton : plus haut, c'est plus brillant, c'est normal !

Anne-Marie LOUIS
amg.louis@wanadoo.fr

Merci pour vos aimables commentaires. Signalons que nous avons acheté un diapason standard 440Hz (photo ci-dessus) et qu'il est possible aussi d'acheter des diapasons à 415Hz.

Al-Dubb al Akbar et les autres

*En lisant l'article cité en référence, j'ai repéré une coquille dans l'article. La « Grand Ourse » se dit en arabe « al-Dubb al Akbar » et non « al-Dubb al-A*gar » comme il est indiqué p. 7.*

D'autre part, le nom de taureau pour Alioth correspond à l'arabe al-hawar [Ndlr: ou al-'ayyuq], un autre nom de l'étoile et non à al-Jawn, qui en fait désigne une couleur (noir, blanc ou rouge foncé) de cheval et pas forcément le cheval lui-même. Le mot

signifie également baie, golfe ou «un des deux bras de l'arc», ce qui semble difficile à faire rentrer dans le cortège funèbre, mais qui pourrait être une description géométrique. Cela s'appliquerait pourtant mieux à un groupe d'étoiles qu'à une étoile individuelle.

Enfin, en ce qui concerne le contenu, la théorie de la divinité nord-arabique me semble moins crédible que la version de la Bière accompagnée de Pleureuses que donne Richard Hinckley Allen (Star Names, their Lore and Meaning, Dover 1963, pp. 432-3.). Si l'auteur dispose de preuves plus récentes, pourrait-il communiquer ses références ?

En tout cas, cet article aborde un sujet à la fois intéressant et fertile, qui, je l'espère sera suivi d'autres sur le même sujet dans les Cahiers Clairaut.

Cordialement,

Michel ROUGETTE

Plusieurs personnes nous ont signalé l'erreur typographique que nous avons commise en traduisant les caractères arabes et les caractères grecs. Vous trouverez une carte de la constellation de la grande ourse, avec les principales étoiles nommées par leur nom arabe, dans l'article de Jean-Noël Terry : "A la recherche des reines de la nuit" que nous publions dans ce Cahier. Une carte plus détaillée sera publiée dans le prochain Cahier.

Merci, de nous avoir signalé cette erreur.

Articles à venir

La relation Période Luminosité couleur des étoiles variables Céphéides. Les ondes gravitationnelles. Le chaos. La sismologie stellaire. Le Solarscope. Le quart de cercle de Lalande. Les finesses de la régression linéaire. L'étoile laser artificielle. L'orbilune. La nébuleuse du crabe.

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. Ils recevront en retour un fichier d'aide pour ouvrir, *gratuitement*, un compte. N'hésitez pas, j'attends vos messages.

Jean Ripert, trésorier du CLEA

Solution du remue-méninges

Pour savoir si la photo a été prise avant ou après l'opposition, on va utiliser l'ombre de Saturne sur son anneau pour deviner la position du Soleil. Mais auparavant, il faut déjà remettre l'image dans le "bon" sens (le nord en haut et sans optique).

Pour avoir le nord en haut, on retourne son numéro des Cahiers Clairaut et l'ombre est en bas à droite. Le renvoi coudé fait une réflexion ou une symétrie axiale de l'image. Pour garder le nord en haut, on effectue une symétrie d'axe vertical et l'ombre se retrouve en bas à gauche. On aurait pu d'ailleurs effectuer directement une symétrie d'axe horizontal.



La Terre tournant plus vite autour du Soleil que Saturne, avant l'opposition, l'ombre de Saturne sur ses anneaux est à droite après l'opposition, elle est à gauche (toujours avec le nord en haut). La photo a donc été prise un peu après l'opposition de Saturne.



On peut considérer sans trop d'erreurs que Saturne est immobile pendant les quelques mois entourant l'opposition. Avant l'opposition, on voit l'ombre de Saturne sur ses anneaux à droite, après l'opposition, c'est à gauche (toujours en mettant le nord en haut).

P.Causeret

Nous remercions Michel Bobin, Christian Larcher, Anne-Marie Paturol et Chantal Petit pour la relecture du manuscrit, ainsi qu'Émilie Wernli pour son aide technique dans la préparation de ce Cahier.

Les Ecoles d'Eté d'Astronomie



Au col Bayard, dans un cadre prestigieux, ces écoles d'été d'astronomie s'adressent à tous les enseignants et formateurs, débutants ou non, et passionnés d'astronomie.



Des cours accessibles,



des ateliers pratiques, et des observations.

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

Une ambiance agréable !

Les productions du CLEA¹

Fiches pédagogiques:

Astronomie à l'école élémentaire, la Lune, gravitation et lumière, mathématiques et astronomie...

Séries de diapositives pédagogiques:

Les phénomènes lumineux, initiation aux constellations, une expérience pour illustrer les saisons...

Fascicules thématiques pour la formation des maîtres en astronomie:

Le repérage dans l'espace et le temps, le mouvement des astres, la lumière messagère des astres, naissance, vie et mort des étoiles, univers extragalactique et cosmologie...

Matériel:

filtres colorés, réseaux de diffraction, transparents animés...

Des documents en perpétuelle évolution!

1) Ventes aux adhérents uniquement

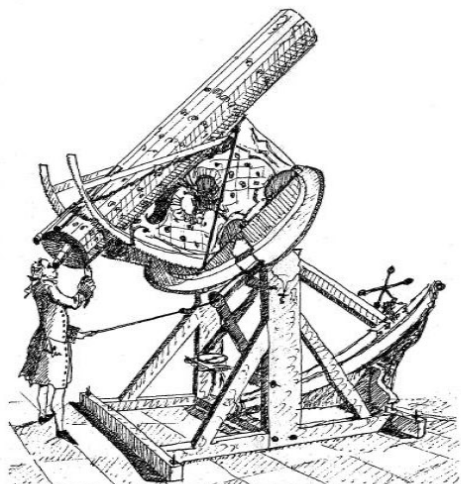
Le site internet

<http://www.ac-nice.fr/clea>

L'information toujours actualisée !



Les Cahiers Clairaut



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

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

Comment nous joindre

Informations générales :

<http://www.ac-nice.fr/clea>
clea.astro@astro.u-psud.fr

ou

CLEA,
Laboratoire d'astronomie,
Bâtiment 470,
Université de Paris-Sud,
91405 ORSAY CEDEX

Ecole d'Eté d'Astronomie :

jean.a.riper@wanadoo.fr

Cahiers Clairaut :

patu@obs.univ-lyon1.fr

Ventes des productions :

clea.astro@astro.u-psud.fr

Site internet :

berthomi@ac-nice.fr

Adhésion au CLEA:

Adhésion CLEA pour 2006 : 5 €
Adhésion CLEA+ Abonnement aux Cahiers Clairaut pour 2006 : 35 €

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

Directeur de la Publication : Georges Paturel
Imprimerie Haugel, 92240 Malakoff

dépôt légal : 1er trimestre 1979
numéro d'inscription CCPPAP : 61660

prix au numéro : 7 €