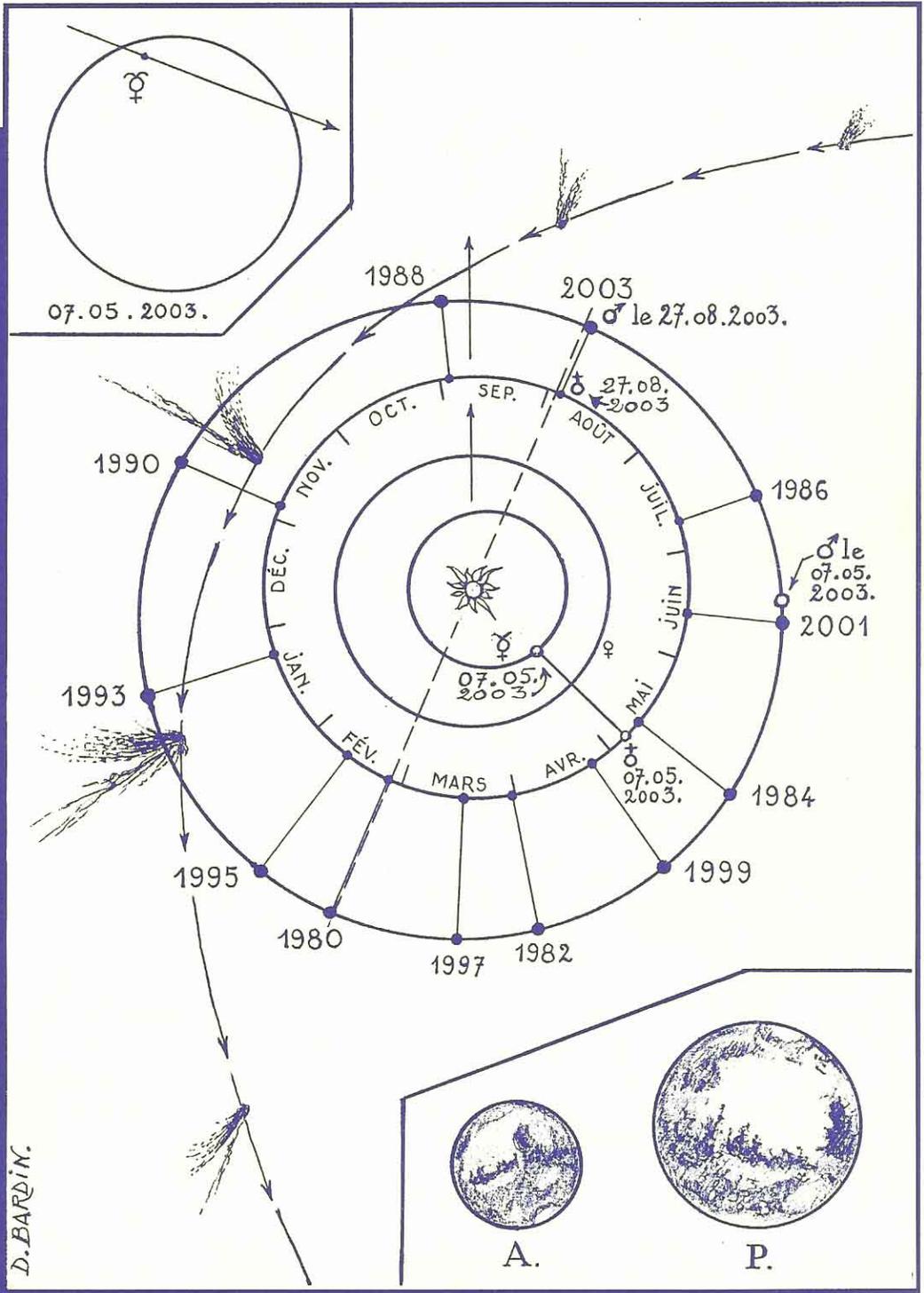


Les Cahiers Clairaut

Lect
pour
et se
His
Ré
d'o
Ar
fo
Réfle
deb
Info
élève
Vie
Tex
exerc
Articles

D. BARDIN.

Les potins de la Voie lactée



Le CLEA

Comité de liaison enseignants astronomes

Le CLEA, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). 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. En particulier, ils

agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAF-PEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (obser-

vations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

Aussi bien au cours de ces stages que dans ses diverses publications, le CLEA favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes hors de toute contrainte hiérarchique.



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex
Tel / Fax : 01 69 15 63 80
Adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr
Le CLEA est présent sur Internet à l'adresse :
<http://www.ac-nice.fr/clea>

Bureau du CLEA pour 2003

Présidents d'honneurs

Lucienne Gouguenheim,
Jean-Claude Pecker, Evry Schatzman
et Gilbert Walusinski

Président

Georges Paturel

Trésorière

Béatrice Sandré

Trésorier Adjoint

Jacky Dupré

Rédacteurs des Cahiers

Martine Bobin
Frédéric Dahringer

Secrétaire

Jean Ripert

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin
Francis Berthomieu
Martine Bobin
Michel Bobin
Lucette Bottinelli
Pierre Causeret
Frédéric Dahringer
Jacky Dupré
Charles-Henri Eyraud
Jean-Luc Fouquet
Lucienne Gouguenheim
Marie-Agnès Lahellec
Colette Le Lay
Lucette Mayer
Georges Paturel
Jean Ripert
Josée Sert
Daniel Toussaint
Gilbert Walusinski

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2003 n° 104

EDITORIAL

La nouvelle organisation du comité de lecture est en place. Les articles proposés sont relus soigneusement par des spécialistes. Ce dernier numéro de l'année constitue une transition.

En 2004, la présentation va être quelque peu modifiée pour offrir plus de lisibilité et plus d'espace. La couleur devrait apparaître aussi, pas seulement pour "faire joli", mais pour apporter une réelle information.

Le cours général d'astronomie et d'astrophysique devrait commencer dès le prochain numéro qui, de plus, sera agrémenté par la publication d'un dossier spécial "Passage de Vénus devant le Soleil", afin de vous permettre de préparer les observations du 8 juin 2004.

Enfin, comme nous l'avions annoncé, la reproduction d'articles historiques commencera également.

La Rédaction
patu@obs.univ-lyon1.fr

Article de fond

**Une étude de l'Univers Local :
Les grandes étapes d'un programme**
Gilles Theureau
p. 2

Reportage

L'horloge astronomique de Stralsund
Charles-Henri Eyraud
p. 7

Avec nos élèves

Mesurer la puissance du Soleil
Agnès Acker
p. 12

Informatique

TP "NASA"
Pierre Le Fur
p. 16

Curiosités

Un calendrier perpétuel et mental
Philippe et Georges Paturel
p. 21

Histoire

Arago et la Lune rousse
Colette Lelay
p. 23

Réalisation

Construction d'une balance de Cavendish
Georges Paturel
p. 25

Remue-méninges

Une histoire de diamètres apparents
p. 30

Lectures pour la Marquise
p. 33

Vie associative
p. 35

Courrier des lecteurs
p. 37

Une étude de l'Univers Local: Les grandes étapes d'un programme

Gilles Theureau

Astronome Adjoint à l'Observatoire de Paris

et au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement à Orléans

Résumé : Voici la première partie de la conférence de l'Assemblée Générale du CLEA tenue à Orléans en novembre 2002. La seconde partie sera publiée dans le prochain cahier n° 105. Ces articles nous font découvrir les derniers résultats concernant la cartographie et la cinématique de l'Univers Local.

Mots-clefs :

ARTICLE DE FOND - GALAXIE - UNIVERS - CINEMATIQUE

Introduction

Le but de cette conférence était de donner une description générale de ce que l'on nomme communément l'Univers Local et de retracer le travail d'une équipe dans ce domaine, sur plus de trente ans de recherche. Cette équipe est celle de trois personnages bien connus du CLEA : Lucette Bottinelli, Lucienne Gouguenheim et Georges Paturel, et c'est aussi la mienne puisque j'y ai effectué ma thèse entre 1994 et 1997 et ai continué à y travailler depuis...

La définition de l'Univers Local est quelque chose d'assez subjectif qui dépend des auteurs et des moyens observationnels disponibles à une époque donnée. On peut cependant affirmer qu'il s'agit à la fois d'un univers contemporain où les effets d'évolution dus au « look-back time » (regard vers le passé) ne se font pas sentir et d'un univers de galaxies en trois dimensions pour lesquelles nous possédons des observations complètes sur tout le ciel. Enfin, c'est un univers très hétérogène composé d'une grande variété de structures : galaxies, groupes, amas, superamas, grands vides, bulles et filaments...

Etudier l'Univers Local implique donc de décrire à la fois le contenu et la structure de l'univers proche à partir d'un grand nombre d'observations complémentaires.

Il s'agit d'une part, du point de vue de la physique des galaxies :

- d'étudier la formation et l'évolution des populations stellaires (couleurs, métallicités, âges, flambées d'étoiles...), le milieu interstellaire (gaz, poussières, matière noire) et les effets de l'extinction,
- d'étudier la morphologie des galaxies, leur dynamique interne et leur masse en fonction de leur environnement (intérieur/extérieur aux amas)
- d'étudier le milieu intergalactique et interamas,
- d'étudier enfin la formation et l'évolution des galaxies et des grandes structures.

Il s'agit d'autre part, d'un point de vue cosmologique :

- d'étudier les différents groupements ou associations gravitationnelles de galaxies, des paires jusqu'aux amas riches, et leur statistique,
- d'étudier la dynamique des galaxies dans les amas et au voisinage des grandes structures,
- de mesurer le taux d'expansion de l'Univers,

- d'étudier le rapport masse noire/lumineuse aux différentes échelles et la distribution de la masse totale à partir des mouvements observés.

Les Observations

De quels types d'observations disposons-nous ?

Tout d'abord des grands relevés photométriques... Les premiers grands relevés photographiques exhaustifs ont été les « surveys » du mont Palomar (USA, 1950-55) et de Siding Spring (Australie, 1974-92) qui ont notamment couvert l'ensemble du ciel en bande B ($\lambda \sim 440$ nm) jusqu'à une brillance superficielle de 25 mag.arcsec⁻². Les plaques de Schmidt (6,5°×6,5°) ont été depuis digitalisées (DSS : Digitalized Sky Survey) et ont permis d'extraire un catalogue de 2,7 millions de galaxies. Le sondage infrarouge du satellite IRAS (lancé en 1983) a permis de construire quant à lui une liste de 250 000 sources ponctuelles, dont un grand nombre de galaxies sur la base de cartes aux longueurs d'onde 12, 25, 60 et 100 μ m. Même s'il est moins profond, ce catalogue est très homogène sur l'ensemble de la sphère céleste, en particulier jusqu'aux très basses latitudes galactiques, le rayonnement infrarouge étant très peu absorbé par le gaz ou les poussières du milieu interstellaire. Le flux infrarouge est par ailleurs un meilleur traceur de la masse totale d'une galaxie que le rayonnement optique et les effets de sélection sont moins importants. Ceci a permis une représentation de la distribution de la masse dans notre univers proche meilleure, par exemple, que celle obtenue avec les sondages photographiques ci-dessus.

Plus récemment (1996-2002), les grands relevés numériques CCD DENIS et 2MASS en optique (800 nm) et infrarouge proche (1,2 ; 1,6 et 2,5 μ m) ont permis d'extraire des catalogues de 500 000 à 1,5 millions de galaxies sur respectivement le ciel Sud et l'ensemble de la sphère céleste. Ces relevés, bien qu'ils soient moins profonds que les relevés photographiques, ont l'avantage d'être beaucoup plus homogènes, de permettre d'extraire des magnitudes plus précises et d'avoir une réponse linéaire du récepteur contrairement à l'émulsion argentique (ce qui

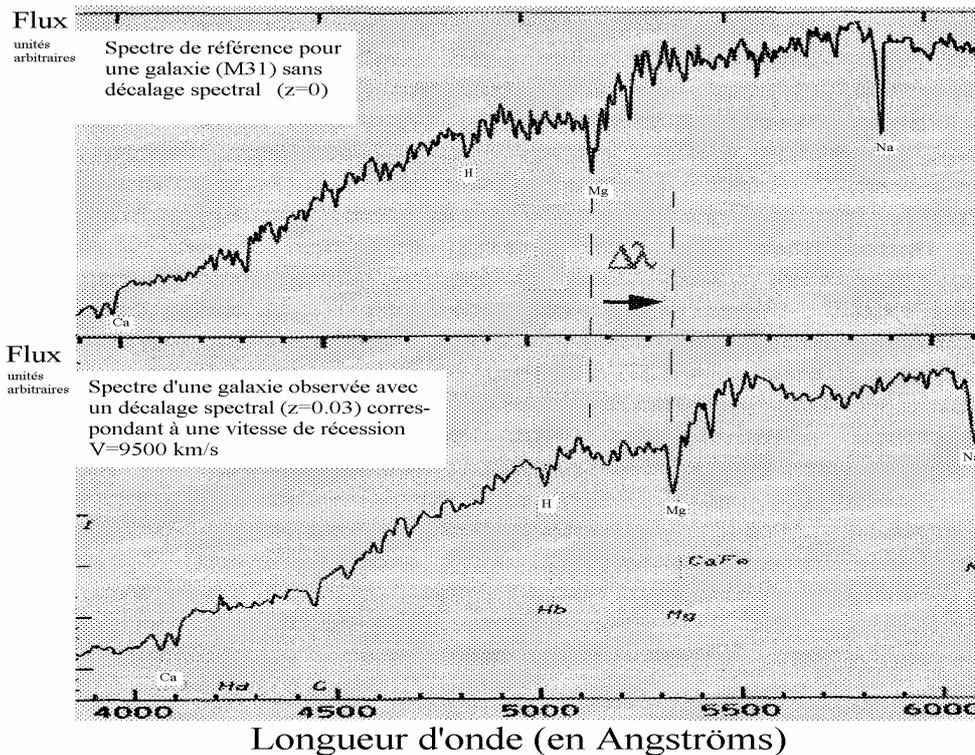
permet réellement de travailler sur les profils photométriques et les couleurs des objets).

Les données de photométrie et d'imagerie permettent d'étudier la morphologie des galaxies, les effets d'environnement (champ/amas), la forme de la distribution de la luminosité (2D) à l'intérieur des galaxies, les variations de couleur et de métallicité qui reflètent l'histoire de leurs populations stellaires, et enfin la fonction de luminosité des galaxies elles-mêmes (en particulier dans les amas sachant que toutes ces galaxies sont situées à la même distance de nous).

Les sondages spectroscopiques sont une autre grande famille de données. Ils apportent notamment la troisième dimension à travers la loi de Hubble (voir plus loin), mais aussi la mesure des paramètres physiques des galaxies comme leur masse, leur taille ou leur luminosité intrinsèque, alors que la photométrie nous donne une vue essentiellement qualitative et bidimensionnelle de notre Univers. S'ajoute à ceci un mode de classification supplémentaire, basé sur les intensités relatives des raies d'émission (et/ou d'absorption) observées dans le spectre et qui reflète les différences de populations stellaires ou de contenu gazeux d'une galaxie à l'autre.

Rappelons que le redshift, ou décalage vers le rouge, d'une galaxie correspond au décalage Doppler-Fizeau du spectre de la galaxie par rapport à un spectre obtenu en laboratoire. Le décalage relatif de longueur d'onde que l'on mesure est proportionnel à la vitesse de l'observateur par rapport à la source lumineuse (le long de la ligne de visée). Il traduit donc une vitesse radiale d'éloignement ou de rapprochement. L'univers étant par ailleurs en expansion on observe essentiellement des décalages vers les grandes longueurs d'onde, donc « vers le rouge ». Et cette expansion étant proportionnelle à la distance (du moins à l'échelle qui nous intéresse ici), on a finalement la relation :

$$z = v/c = \Delta\lambda/\lambda$$

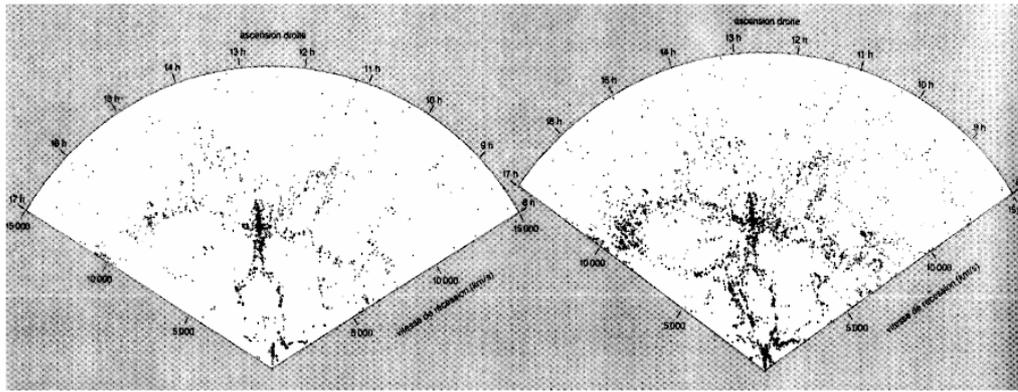


où c est la vitesse de la lumière (300 000 km/s), $\Delta\lambda$ est le décalage spectral observé, V est la vitesse radiale de la galaxie, et H_0 est la constante de Hubble et représente le taux d'expansion de l'Univers.

A travers cette loi de Hubble, la mesure du redshift nous donne bien une mesure approximative de la distance de la galaxie. On a donc accès à la distribution spatiale en trois dimensions des galaxies. C'est le CFA, un premier relevé systématique de 2400 galaxies sur environ 20% du ciel qui a révélé en 1985 l'existence des grandes structures, montrant qu'à cette échelle (pour des vitesses inférieures à 15 000 km/s ou des distances inférieures à ~ 200 Mpc) l'Univers est encore très hétérogène, constitué d'amas, de murs, de filaments et de grand vides. Il y a eu depuis plusieurs grands sondages qui confirment ce résultat et ont même repoussé l'échelle de l'homogénéité au delà de 500 Mpc. Les plus importants sont le IRAS PSCz (IRAS Point Source Catalogue, 15 000 mesures sur 83 % du ciel), le LCRS (Las Campanas Redshift Survey,

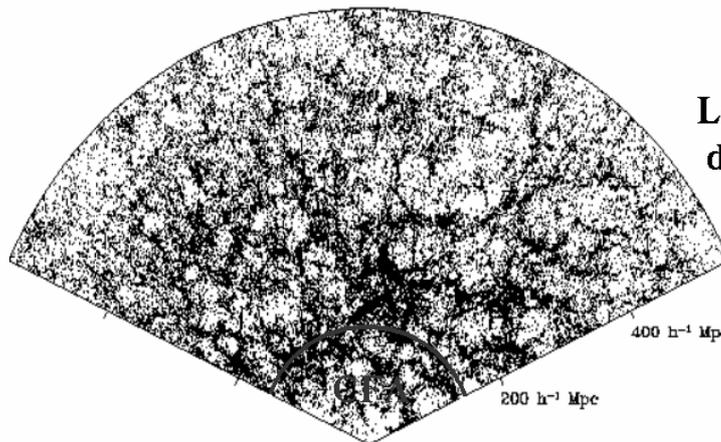
25 000 mesures sur 1,7 % du ciel), Le 2dF (2 Degree Field, 250 000 galaxies sur 4,7% du ciel), le 6dF (6 Degree Field, 100 000 galaxies sur 50 % du ciel) et le SDSS (Sloan Digital Redshift Survey, 1 million de galaxies sur 25 % du ciel).

Au-delà de l'étude de la distribution spatiale des galaxies et l'étude de grandes structures, les catalogues de redshifts permettent l'étude de la fonction de corrélation spatiale des galaxies et du spectre de puissance, c'est à dire la façon dont s'organise et se hiérarchise la distribution de la matière lumineuse aux différentes échelles. Cela apporte en particulier des contraintes sur les modèles cosmologiques et la formation des structures. Les mesures spectrales permettent en outre une première mesure de la constante de Hubble à partir des diagrammes magnitude/redshift, une meilleure discrimination entre les galaxies d'amas et les galaxies de champ, une étude de la cinématique interne des amas et des groupes, et donc de leur masse dynamique, et enfin une étude quantitative de la fonction de luminosité des galaxies.



CFA (1985)
2400 galaxies

Les grands sondages de redshifts



SLOAN (2003)
un million de galaxies

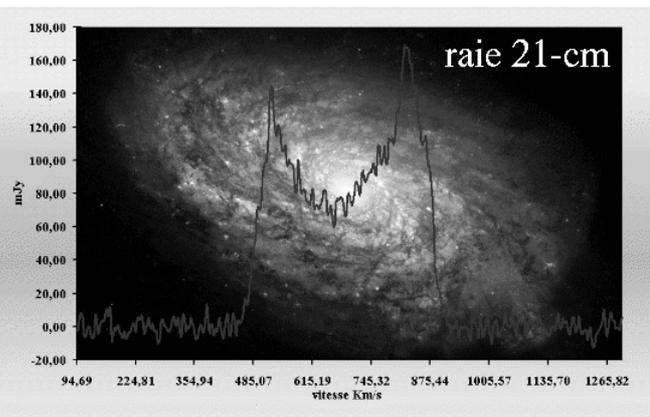
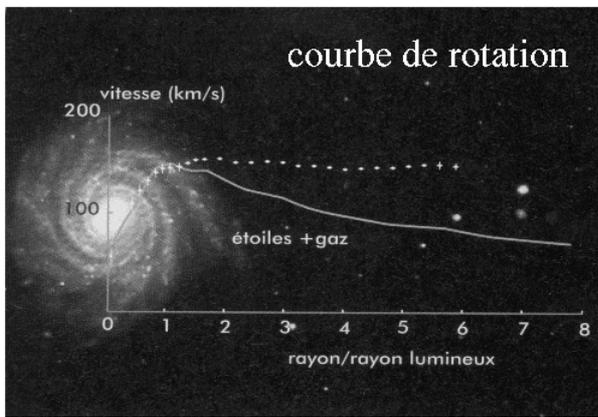
La dernière grande catégorie d'observations concerne les mesures de cinématique interne des galaxies qui nous permettent non seulement d'évaluer leur masse réelle mais aussi nous fournissent un indicateur de distance indépendant du redshift. Les deux « relations d'échelle » principales utilisées sont les relations de Tully-Fisher pour les galaxies spirales et de Faber-Jackson ou du Plan Fondamental pour les galaxies elliptiques. Toutes deux sont des relations masse-luminosité qui lient la masse dynamique, mesurée à partir des mouvements internes, à la luminosité intrinsèque des objets. Dans le cas des galaxies spirales, on mesure la vitesse de rotation du gaz dans le disque à partir de mesures spectroscopiques optiques (principalement la raie d'émission [H α], mais aussi [H β] ou [OIII] pour les plus petites longueurs d'onde ou les galaxies très décalées vers le rouge) ainsi que les mesures radio (la raie 21-cm de l'hydrogène neutre). On obtient alors soit une courbe de rotation, du centre au bord de la galaxie (optique ou interférométrie radio), soit directement la vitesse maximale de rotation à partir de l'élargissement de la raie observée (mesure radio avec une antenne unique).

Dans le cas des galaxies elliptiques ou lenticulaires, on mesure l'élargissement de certaines raies d'absorption pour en déduire la dispersion de vitesse des étoiles au coeur des galaxies (dans un rayon de ~ 400 pc). Ces mesures sont très délicates car il faut pouvoir séparer l'élargissement provenant des mouvements des étoiles dans la galaxie, de l'élargissement provoqué par la rotation ou les turbulences dans les enveloppes des étoiles elles-mêmes. Les mesures de rotation maximale V_{\max} ou de dispersion de vitesses centrale σ_v sont directement liées à la masse totale des galaxies considérées et donc à leur luminosité totale si l'on suppose que les étoiles représentent une partie relativement constante de cette masse. On obtient ainsi les relations suivantes :

$$M = a \log V_{\max} + b$$

$$M = a' \log \sigma_v + b'$$

$$\log r_e = \alpha \log \sigma_v + \beta m_e + \gamma$$



où M est la magnitude absolue de la galaxie (proportionnelle au logarithme de la luminosité totale), r_e et m_e sont respectivement le rayon effectif et la brillance effective, deux paramètres qui décrivent la forme de la distribution de la luminosité (ou de la distribution des étoiles) du centre jusqu'au bord de la galaxie. L'étude de ces relations et du rapport masse/luminosité en fonction de la morphologie, de la présence de barre ou d'anneau par exemple, ou encore de l'environnement, nous permettent de mieux comprendre la formation et l'évolution des galaxies, ainsi que leur contenu en matière noire. Couplées à des mesures photométriques de taille ou d'éclat apparent, elles permettent une mesure de la distance de ces galaxies : on mesure V_{\max} ou σ_v , on devine la magnitude M (ou le diamètre absolu) à partir d'une des relations ci-dessus, on mesure la magnitude apparente m (ou le diamètre apparent) à partir d'un relevé optique, et on en déduit la distance d , en Mpc, par la relation :
 $m - M = 5 \log d + 25$
 (Respectivement $d = D_{\text{abs}}/D_{\text{app}}$, si l'on se base sur les diamètres absolus (Mpc) et apparents (rad)).

Ces observations, qualifiées souvent de « mesures 4D », permettent donc d'acquérir des distances et ainsi :

- 1) de mesurer le taux d'expansion de l'Univers H_0 par la relation $cz = V_{\text{obs}} \sim H_0 \cdot d$
- 2) de mesurer le champ des vitesses particulières des galaxies qui se superpose à l'expansion cosmologique et reflète les hétérogénéités de la distribution de la matière ($V_{\text{obs}} = H_0 \cdot d + V_{\text{part}}$)
- 3) de mesurer la distribution de densité de la masse totale aux différentes échelles
- 4) de mesurer le paramètre de densité de l'Univers Ω_m (rapport de la densité de matière observée et de la densité critique qui sépare un univers ouvert, en perpétuelle expansion et dilution, d'un Univers

fermé, dont la densité finira par l'emporter sur l'expansion et le contraindra un jour à se recontracter)

5) et enfin d'évaluer l'âge de l'Univers dans le cadre d'un modèle.

Glossaire :

Survey : Ce mot anglais désigne une série d'observations couvrant systématiquement toute une région du ciel. En français on dit "un relevé".

Redshift : Décalage vers les grandes longueurs d'onde du spectre lumineux. On le désigne souvent par la lettre $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$. Si on interprète ce décalage comme résultant d'une vitesse (effet Doppler-Fizeau) la relation entre la vitesse V et z est (c étant la vitesse de la lumière dans le vide):

$$V = cz$$

Cependant quand le décalage est grand et que l'on atteint des vitesses relativistes (non négligeables devant c) alors la relation plus générale est:

$$V = c \cdot [a^2 - 1] / [a^2 + 1]$$

où $a = 1 + z$.

Métallicité : Proportion relative d'un astre en atomes plus lourds que l'hélium. Si on note X la proportion relative en hydrogène, Y la proportion relative en hélium et Z la métallicité, on a la relation:

$$X + Y + Z = 1.$$

Pour une étoile, une forte métallicité est en général le signe d'un état évolutif avancé.

Unité : mag.arcsec⁻² Cette unité est utilisée pour exprimer, en magnitude, ce qu'on appelle la brillance (luminance en physique) d'une source étendue (flux par unité de surface apparente exprimée en arcsec²). C'est donc l'unité de la quantité :

$$-2,5 \log (\text{flux/surface apparente}).$$

Les *arcsec* sont les secondes de degré.

L'horloge astronomique de Stralsund

Charles-Henri Eyraud, Paul Gagnaire
 Photographies : Etienne Chazot

Résumé :

Description d'une des premières horloges astronomiques en Europe (1394) à Stralsund, vieille ville hanséatique de la mer Baltique

Mots-clefs : HISTOIRE – HORLOGE - CADRANS - TEMPS

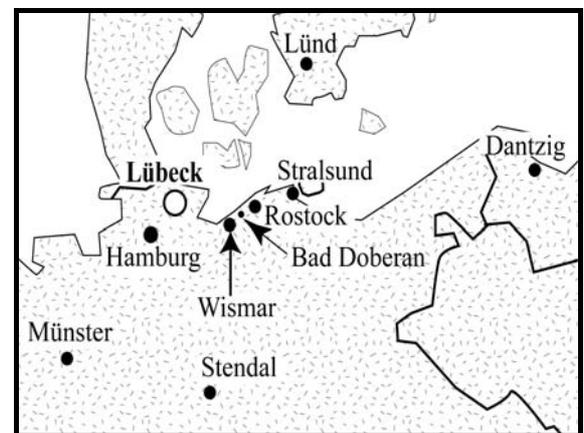
Introduction

Au XIII^e siècle un commerce très important (fourrures, bois, poissons, ambre, métaux/sel, grains, draps, vins) se développe au nord de l'Europe le long de l'axe Novgorod-Riga-Lübeck-Brugges-Londres-La Rochelle. Au sud de la Mer Baltique se construisent les horloges astronomiques de Stralsund (1394), Bad Doberan (1390), Gdansk (1470), Hamburg (1382), Lünd (1380), Lübeck (1405), Stendal (1580 environ), Rostock (1379), Münster (1408), Wismar (1435). En 1234 Stralsund reçut les mêmes droits et libertés que Rostock et en 1294 elle entre dans la Hanse avec Lübeck, Wismar, Rostock, Greifswald. La ville connut à partir de ce moment un développement rapide dont témoignent les trois églises gothiques Sainte Marie, Saint Nicolas - Saint Jacob.

L'église paroissiale Saint Nicolas, dédiée au saint patron des marins, est la plus vieille église de la ville et cache derrière l'autel une des plus vieilles horloges astronomiques d'Europe. Un livre en allemand du Professeur Manfred Schukowski devrait paraître en 2003 sur ces magnifiques témoignages des débuts de l'horlogerie mécanique.



La région de la Hanse teutonique vers 1350



Les 10 horloges astronomiques de la Baltique



Photographie 1 : Le bahut de l'horloge de Stralsund.

En haut, le cadran astrolabique avec quatre astronomes-astrologues représentés dans les quatre coins (voir ci-dessous)

. Au-dessus de la grille est donnée l'inscription latine abrégée suivante :

ANNO D(OMI)NI MCCCXCIII IN DIE
S(AN)CT(I) NICOLAI CO(M)PLETU(M) EST
OP(US) P(ER) NICOLAU(M) LILLIENVELT.
ORATE P(RO) F(AC)TORIB(US) ET
LARGITORIBUS Q(UI) C(UM) DILI(G)ENCIA
CO(M)PLER(U)NT (En l'année 1394, le jour de la
saint Nicolas, fut achevé l'ouvrage de Nicolaus
Lillienveld. Priez pour ses auteurs et ses généreux
fondateurs qui l'ont fait avec zèle).

De part et d'autre de la grille se trouvent deux
personnages symbolisant le matin et le soir

Description de l'horloge

Encore en bon état, le bahut de bois (photo 1) possède un cadran astrolabique à 3 mètres du sol et il est protégé sur sa partie basse par une grille derrière laquelle aurait du se trouver la roue du calendrier, comme à Rostock, Münster et Lünd. A mi-hauteur, entre cette grille et le cadran astrolabique, l'horloge porte la date de son achèvement (1394).

Ainsi à partir du 6 décembre 1394 elle pu être admirée par les fidèles de l'église, mais l'ensemble de son histoire reste mal connu. On pense seulement qu'elle subit de sévères dommages le 10 avril 1525 lors du saccage des églises de Stralsund et qu'elle ne fonctionne plus depuis cette date. Les peintures du cadran et du bahut furent refaites avec soin à l'occasion du 6^{ème} centenaire de l'horloge.

Le cadran astrolabique

Il s'agit d'un tympan d'astrolabe en projection stéréographique de Pôle Nord, l'observateur étant supposé situé au Pôle Nord. Le schéma 1 montre les quatre différents types de projection stéréographiques envisageables pour les cadrans astrolabiques. Le type « Projection de Pôle Sud, Observateur au pôle Nord » n'est pas utilisé mais on peut rencontrer les trois autres types de projection sur les horloges astronomiques :

- Lyon et Oslo : projection de pôle Sud, observateur au pôle Nord. C'est aussi le type de projection de tous les astrolabes manuels.
- Prague, Stralsund et Lünd : projection de Pôle Nord, Observateur au Pôle Nord
- Münster : Projection de Pôle Sud, Observateur au Pôle Sud (ainsi l'aiguille du Soleil tourne en sens anti-horaire pour son mouvement diurne !). C'est aussi le type de projection utilisé dans les cartes du ciel.

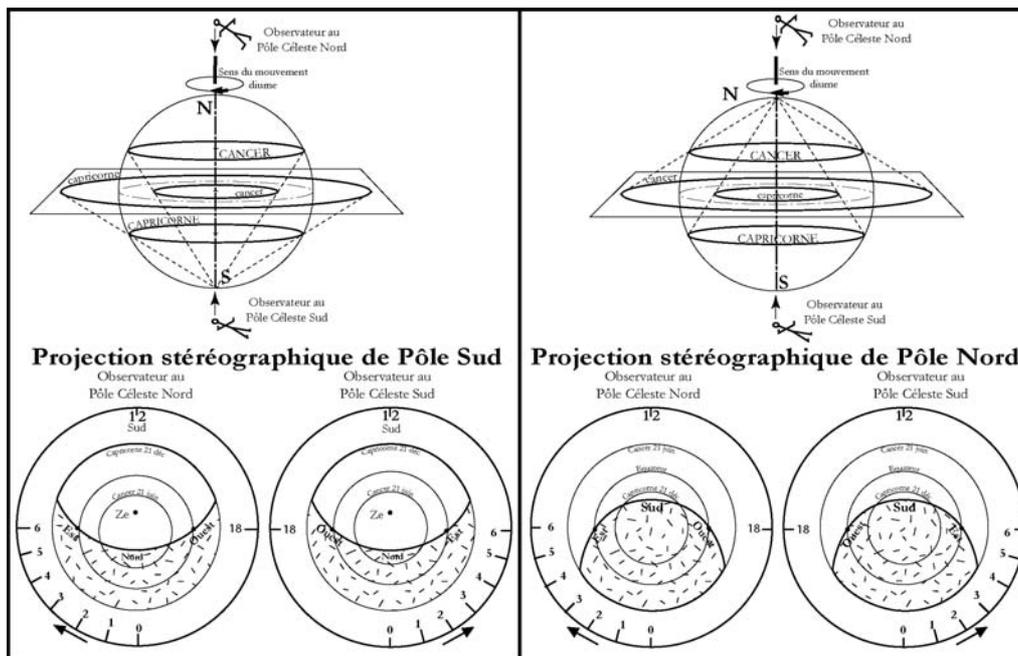


Schéma 1 : Différents types de projection stéréographique

L'araignée de l'astrolabe est réduite au cercle écliptique. Une aiguille solaire et une aiguille lunaire permettaient de connaître la position de ces astres sur l'écliptique. L'aiguille lunaire est composée d'un tube qui permettait de transmettre à son extrémité une rotation à une sphère moitié claire, moitié sombre pour représenter les phases de la lune.

Les textes des phylactères

1) Les 4 astrologues

Les quatre "astrologues-astronomes" représentés dans les angles sont accompagnés de sentences. La présence de personnages est habituelle dans ces horloges astronomiques du Nord de l'Europe.

A Stralsund, on peut voir : Ptolémée, Alphonse X de Castille, Hali, Albumasar.

Claude Ptolémée (83-161) : astronome et géographe grec qui vécut à Alexandrie. Son ouvrage principal "Syntaxe mathématique" traduit par les Arabes "Almageste" contient une explication claire du système du monde dans un repère géocentrique (mouvement du Soleil, de la Lune et des 5 planètes visibles à l'œil nu avec la Terre fixe). Soit en raison de son importance, soit parce qu'il aurait été confondu avec les pharaons égyptiens il est représenté fréquemment avec une couronne royale.

Alphonse X (1226-1284) : roi de Léon et de Castille protecteur des Arts et des Sciences. C'est sous son règne que furent écrites par une cinquantaine de savants juifs, chrétiens et musulmans les Tables Alphonsines (1248-1252), tables donnant les mouvements des planètes d'après le système de Ptolémée. Ces Tables furent diffusées sous forme de manuscrits dans toute l'Europe puis elles furent imprimées dès 1483 et rééditées de nombreuses fois avant la parution des Tables Rodolphines de Képler en 1627.

Albumasar ("Abu-l-Ma'shar") : il serait né à Balkh en Afganistan vers 776 et mort à Wasith près de Bagdad en 886 ! Auteur de divers traités d'astrologie de peu de valeur, sa réputation fut pourtant très importante parmi ses contemporains. Il est connu pour sa théorie du monde dont la création aurait eu lieu lorsque les sept planètes étaient en conjonction au 0° du Bélier, et dont la fin aura lieu lorsque les planètes seront en conjonction au 30° des Poissons!

Abenrodano (Ali Ibn Ridwan "Abu-l-Hasan 'Ali ibn Ridwan") : né en Égypte vers 988 mort en 1061 ou 1067. Il étudia la médecine et la philosophie puis dut pour gagner sa vie se consacrer à l'astrologie. Il est connu pour ses commentaires des œuvres de Galien, d'Hippocrate et des livres astrologiques de Ptolémée.

	Etat actuel	En haut à g.	En haut à d.	En bas à d.	En bas à g.
Stralsund 1394	reste le cadran	Ptolémée	Alphonse	Albumasar	Hali
Bad Doberan 1390	reste le cadran	Ptolémée	Alphonse	Albumasar	Hali
Gdansk 1470	détruite en 1945				
Hamburg 1382	détruite en ?				
Lünd 1410	refaite en 1923	un Romain	Un Byzantin	un Ottoman	un Mongol
Lübeck 1405	détruite en 1942	Ptolémée	Platon	Albumazar	Aristote
Stendal 1410?	Fonctionne	un astrologue	Un astrologue	un astrologue	un astrologue
Rostock 1379	<1650	Ange (Mathieu)	Aigle (Jean)	Taureau (Luc)	Lion (Marc)
Münster 1408	restaurée 1550	Aigle (Jean)	Ange (Mathieu)	Lion (Marc)	Taureau (Luc)
Wismar 1435	détruite en 1945	tête d'un vent	tête d'un vent	tête d'un vent	tête d'un vent



En haut à gauche avec Ptolémée :
INFERIORA REGUNTUR A SUPERIORIBUS
 (Les choses inférieures sont régies par les choses supérieures).



En haut à droite avec Alphonse de Castille :
MOTUS SOLIS ET PLANETARUM IN OBLIQUO CIRCULO
 (Le mouvement du Soleil et des planètes a lieu sur un cercle oblique)



En bas à gauche avec Hali :
DIES EST ELEVATIO SOLIS SUPER ORIZONTEM
 (Le jour est l'élévation du soleil au-dessus de l'horizon).



En bas à droite avec Albumasar :
SAPIENS VIR DOMINABITUR ASTRIS
 (L'homme sage dominera les étoiles)
 Remarque : dominor est un verbe déponent (forme passive et sens actif)

2) Les deux personnages de part et d'autre de la grille

De part et d'autre de la grille, en bas, deux personnages représentant le matin et le soir (de la vie) ; celui de gauche ouvre une porte, celui de droite en ferme une.



Figure à gauche

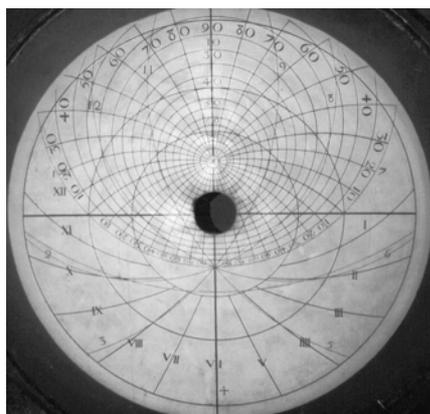
POST DEUM OMNIUM VIVENCIVM VITA SOL ET LUNA (Après Dieu, le Soleil et la Lune donnent la vie aux êtres vivants)

Figure à droite

MATUTINAE IMMENSA MUNERA SED SEPE MALE FINIUNT (Les jours nous offrent d'immenses dons le matin, mais finissent souvent mal)

Bibliographie

- UNGERER A., "Les horloges astronomiques et monumentales de l'Antiquité à nos jours, Strasbourg", 1931
- MICHEL H., Traité de l'astrolabe
- SCHUKOWSKI M., "Die Astronomische Uhr in St. Nikolai zu Stralsund", Heft 7, Paul Ferdi Lange, 1994
- SCHUKOWSKI M., SCHMITT H., "Neue Erkenntnisse über das Werk der astronomischen Uhr in der St Nikolai-Kirche zu Stralsund", Jahresschrift 2000 der Deutschen Gesellschaft für Chronometrie, Bd.39, S 33-53, 2000
- SCHUKOWSKI M., "Wunderuhren in Kirchen. Astronomische Uhren im hansischen Raum", (à paraître)
- Horloges astronomiques en Europe :



Tympan de l'horloge de la cathédrale Saint Jean de Lyon



Horloge astronomique de Prague

Mesurer la puissance du Soleil

Agnès Acker
Observatoire de Strasbourg

Résumé : Pour connaître les propriétés du Soleil, étoile qui nous éclaire et nous chauffe, les scientifiques utilisent des observations, des théories et des modèles. Ci-dessous, une démarche similaire, fort simplifiée, vous est proposée. Bien entendu, avec ces données rudimentaires, on ne trouvera pas les valeurs exactes, mais l'ordre de grandeur est tout à fait correct – attention aux unités !!! L'exercice sera encore mieux traité si des évaluations d'incertitudes sont faites à chaque étape.

Mots-clefs : TERRE – SOLEIL -

Nos objectifs

Calculer :

- 1) la distance Terre Soleil,
- 2) la puissance du Soleil,
- 3) la masse du Soleil,
- 4) sa durée de vie d'étoile en équilibre, conditionnant la vie sur Terre.

Nos données

- a) l'écart de 35 min entre l'intervalle de temps séparant le premier quartier de la pleine Lune, et celui séparant la nouvelle lune du premier quartier, sachant que la durée de la lunaison est égale à 29 jours 12,73 heures (Fig.1 haut) ;
- b) le tracé d'un signal radar aller-retour de la Terre à la Lune (Fig.2) ;
- c) la mesure du demi diamètre angulaire moyen du Soleil ~ 16' ;
- d) les observations de l'élévation de température d'un cylindre chauffé par le Soleil (fig. 3) ;
- e) la « perte de masse » $\Delta m = 7 \text{ g}$ lors de la transmutation nucléaire de 1 kg d'H en He.

Nos outils

- 1) Les lois du corps noir, en particulier la Loi de Stefan: $E_{R=1} = \sigma T^4$ qui exprime la valeur de l'énergie rayonnée pendant une seconde par une étoile (assimilée à un corps noir) de rayon $R=1$, et de température de surface T en degré Kelvin (K), avec $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/K}^4$; la loi de Wien permet de relier température T et couleur, permettant de déduire T à partir du spectre (pour le Soleil jaune, $T \sim 5800 \text{ K}$).
- 2) L'expression de l'équilibre entre la force de gravitation et la force centrifuge, maintenant la Terre sur une orbite pratiquement circulaire autour du Soleil (avec $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{sec}^2$).

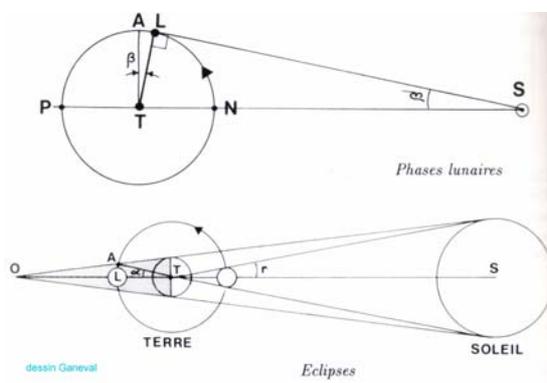


Figure 1

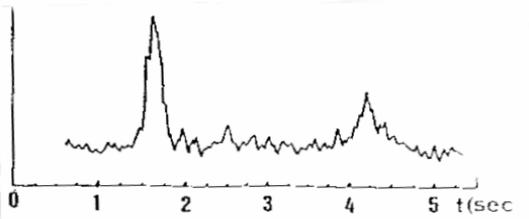


Figure 2

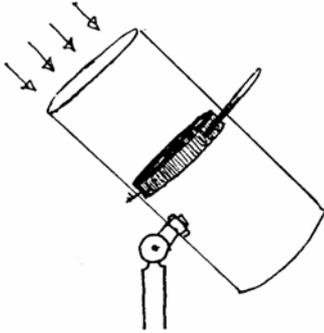


Figure 3

1^{ère} étape : la distance Terre-Soleil

- On détermine le rapport des distances Terre-Soleil et Terre-Lune TS/TL à partir des données (a) et de la Figure 1 (haut). Les points N, L, P marquent respectivement la nouvelle lune, le 1^{er} quartier, la pleine lune, alors que A marque la position qu'aurait le 1^{er} quartier si le Soleil était situé très loin (direction (AS) serait alors parallèle à (TS)). La figure montre que, dans le triangle rectangle TLS, on a : $\sin \beta = TL / TS$. Il s'agit donc d'exprimer β en degrés.

La durée d'une lunaison correspond à 360° dans ce référentiel, soit en minutes de temps : $29 \times 24 \times 60 + 12,73 \times 60 = 42\,523,8$ min (ce qui correspond à 360°), donc 1 min correspond à $360 / 42523,8$.

La différence des durées qui séparent L de P et P de N s'écrit :

$(90^\circ - \beta) - (90^\circ + \beta) = 2\beta$ écart correspondant à 35 min. Donc $\beta = (360 / 42523,8) \times (35/2) = 0,148^\circ$ et $\sin \beta = 0,00258 = 1/287$.

La distance Terre-Soleil est 387 fois plus grande que la distance Terre-Lune

Remarque : Comme le rappelle la figure 1 bas, l'existence d'éclipses totales de Soleil signifie que les diamètres angulaires du Soleil et de la Lune sont égaux. Donc la dimension (km) du Soleil est

387 fois plus grande que celle de la Lune. Aristarque avait évalué à 12 h l'angle 2β et donc obtenu un facteur 20, trop faible. Mais tout de même c'était la première **estimation de l'importante différence de taille entre le Soleil (une étoile) et la Lune (une « planète »)**.

Les mesures (Fig.3):

Le cylindre a une surface S de $0,0036 \text{ m}^2$, une masse m de 960 g avec une chaleur spécifique C de $400 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{degrC})$.

En une durée $D = 15$ minutes d'exposition au Soleil, la température s'est élevée de $\Delta T = 6^\circ\text{C}$ ce qui correspondrait à $11,5^\circ\text{C}$ dans l'espace.

La puissance reçue par unité de surface P (W/m^2) s'écrit :

$$P = m \times C \times \Delta T / (S \times D(\text{sec}))$$

- On calcule la distance Terre-Lune en mesurant la durée séparant le départ du signal (1^{er} pic enregistré) de son retour sur Terre (2^{ème} pic), après réflexion sur la Lune (Figure 2). Cette durée est estimée à environ

$$\Delta t = 2,6 \text{ secondes } (4,2 - 1,6).$$

La distance parcourue par le signal est le double de la distance TL de la Terre à la Lune. Donc on aura :

$$TL = (c \times \Delta t) / 2 = 3 \cdot 10^8 \times 2,6 / 2 \sim 3,9 \cdot 10^8 \text{ m, soit environ } 390\,000 \text{ km.}$$

- On déduit la distance Terre-Soleil = **387 x TL ~ 150. 10⁶ km soit environ 150 millions km.**

2^{ème} étape : la puissance du Soleil

Nous utilisons deux méthodes différentes, l'une basée sur des mesures faites sur Terre, l'autre basée sur les relations théoriques entre les paramètres physiques du Soleil.

1^{ère} évaluation - Une expérience a été faite par des enseignants du CLEA, en construisant et utilisant le cylindre montré sur la Figure 3 (voir fiche Belin). Les mesures permettent d'évaluer l'énergie P reçue au lieu de l'expérience par seconde et par mètre carré :

$$P = m \times C \times \Delta T / (S \times D(\text{sec}))$$

$$P = 0,960 \times 400 \times 6 / (0,0036 \times 15 \times 60)$$

$$P = 711 \text{ W}/\text{m}^2$$

Une série de mesures successives (toujours avec une durée de 15 minutes) sont faites avec le cylindre dirigé dans la direction du Soleil au cours de son mouvement diurne ; on obtient des élévations de température ΔT décroissant quand la hauteur h du Soleil diminue, ce qui permet de tracer une courbe ΔT en fonction de $1/\sin h$, et d'y trouver la valeur qui correspondrait à $1/\sin h = 0$ soit en l'absence d'atmosphère : on obtient alors $\Delta T = 11,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

On en déduit la valeur de la « constante solaire » C (énergie solaire reçue par seconde et par m^2 sur le sol terrestre, perpendiculairement au rayonnement solaire et hors atmosphère) :

$$C = P \times 11,5 / 6 = 1363 \text{ W / m}^2.$$

Connaissant la distance Terre-Soleil et C , on peut calculer l'énergie rayonnée par le Soleil dans tout l'espace (sur une sphère de rayon TS) : c'est la puissance solaire (appelée aussi Luminosité solaire L) :

$$L = C \times (4\pi \times TS^2) = 1363 \times 4\pi \times (150. 10^9)^2$$

$$L \sim 3,8. 10^{26} \text{ W}$$

2^{ème} évaluation - La puissance solaire peut aussi se calculer à partir de la loi de Stefan, connaissant la température de surface du Soleil T (voir 1) et sa surface à partir du rayon R linéaire.

On détermine $R(\text{km})$ connaissant le rayon angulaire ($16' = 0^\circ,267$) et la distance TS :

$$R(\text{km}) = 150. 10^6 \times \text{tg}(0^\circ,267) \sim 700 000 \text{ km}$$

La puissance du Soleil est égale à l'énergie rayonnée pendant une seconde par une sphère de rayon R , soit :

$$4\pi R^2 E_{R=1} = 4\pi(7.10^8)^2 \sigma (5800)^4 \sim 3,9. 10^{26} \text{ W}$$

Compte tenu des incertitudes, on peut dire que les deux méthodes convergent très bien.

Remarque : Cette approche permet de **déterminer l'« écosphère » d'une étoile de température T^* et de rayon R^*** , autrement dit la distance PE d'une planète P à son étoile E , telle que l'énergie arrivant sur la planète P soit équivalente à la constante solaire C (permettant de supposer que P pourrait être « habitable »).

- On peut en effet écrire : $C \times (4\pi \times PE^2) = \sigma T^{*4} \times (4\pi \times R^{*2})$, donc $PE^2 = \sigma T^{*4} \times R^{*2} / C$

- Par ailleurs, on peut calculer C en fonction des paramètres solaires : $C \times (4\pi \times TS^2) = \sigma T^4 \times (4\pi \times R^2)$, donc $C = \sigma T^4 \times (R/TS)^2$

$$\rightarrow PE^2 = \sigma T^{*4} \times R^{*2} / [\sigma T^4 \times (R/TS)^2] \rightarrow$$

$$(PE/TS)^2 = (R^*/R)^2 \times (T^*/T)^4$$

$$\text{soit } (PE/TS) = (R^*/R) \times (T^*/T)^2$$

donc une étoile de même rayon que le Soleil mais 3 fois plus chaude ($T^* \sim 17 000\text{K}$) pourra avoir une planète « habitable » située 9 fois plus loin que la distance Terre-Soleil (et 4 fois plus près si $T^* \sim 3000\text{K}$).

3^{ème} étape : la masse du Soleil

- La masse M du Soleil peut être évaluée connaissant la distance Terre-Soleil D et la vitesse V de la Terre sur son orbite.

En effet, en chaque point de l'orbite, la distance TS est définie par l'équilibre entre deux forces, la force d'attraction F_g due à la gravitation, et la force « de répulsion » F_c centrifuge.

Si m_t est la masse de la terre, et G la constante de gravitation, on écrira :

$$F_g = G M m_t / D^2 = F_c = m_t V^2 / D$$

$$\rightarrow M = V^2 \times D / G$$

La vitesse V est aisément calculable si l'orbite est un cercle de rayon D décrit en un an.

$$\text{On aura : } V = 2\pi D / (365 \times 24 \times 3600)$$

$$\sim 30 000 \text{ mètres / seconde}$$

$$\text{donc } M = (3. 10^4)^2 \times 150.10^9 / 6,672.10^{-11}$$

$$M = 2.10^{30} \text{ kg}$$

Le Soleil est environ 333 000 fois plus massif que la Terre. L'hypothèse « orbite quasi-circulaire » est pertinente vu que l'excentricité de l'orbite terrestre vaut moins que 2 % de la distance Terre-Soleil.

4^{ème} étape : La durée de vie du Soleil en équilibre

- La durée de vie dépend du « stock de combustible ». On sait que la transmutation des noyaux d'hydrogène (protons) en noyaux d'hélium produit une énergie $\Delta E = \Delta m \times c^2$, avec $\Delta m = 7 \text{ g}$ lors de la transmutation nucléaire de 1 kg d'H en He. Donc $\Delta E = 7.10^{-3} \times (3.10^8)^2 = 6,3. 10^{14} \text{ J}$ est l'énergie fournie par la transmutation de 1 kg d'hydrogène.

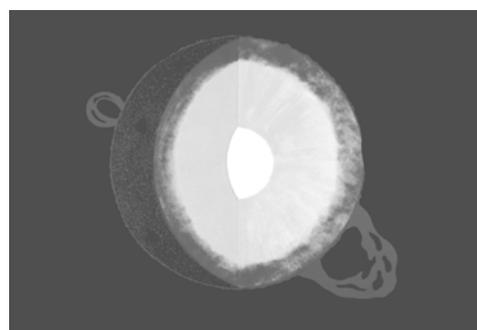
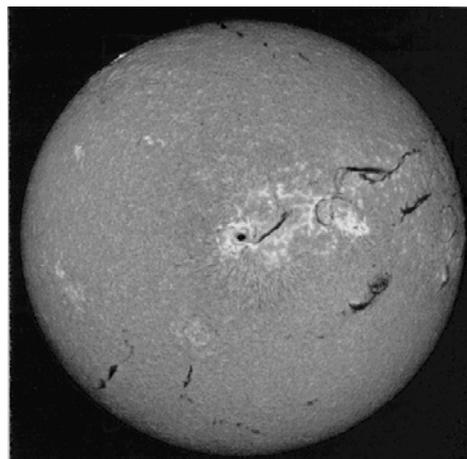
- L'énergie totale disponible pendant toute la vie en équilibre du Soleil correspond à la transmutation de tout l'hydrogène du « cœur » chaud (13 millions K) du Soleil, de masse estimée

égale au dixième de la masse du Soleil. Comme on connaît l'énergie fournie par 1 kg d'hydrogène, on aura : $E_{\text{tot}} = 2. 10^{29} \times 6,3. 10^{14} \text{ J} = 12,6 \times 10^{43} \text{ J}$: **c'est l'énergie totale disponible pendant toute la vie en équilibre du Soleil.**

- Connaissant la puissance du Soleil (énergie par seconde), on calcule l'énergie rayonnée pendant un an : $E_{\text{an}} = 3,8 \times 10^{26} \times (3600 \times 24 \times 365) = 12 \times 10^{33} \text{ J / an}$

La durée de vie du Soleil est égale à $E_{\text{tot}} / E_{\text{an}} \sim 10^{10}$ ans soit environ 10 milliards d'années.

Les scénarios de formation du système solaire ainsi que les datations des roches lunaires et des météorites-chondrites montrent que les planètes se sont formées pratiquement en même temps que le Soleil. L'âge de la Terre est connu (méthodes comparant les abondances des éléments radioactifs et radio-générés); il est évalué à 4,6 milliards d'années. Le Soleil s'est donc formé il y a environ 5 milliards d'années, et il lui reste environ 5 milliards d'années de vie en équilibre (entre l'énergie thermo-nucléaire produite en son cœur, et l'énergie rayonnée).



■

Au fil des perles des Enseignants et des Astronomes

Voici quelques perles d'élèves et d'astronomes:

Strictement relevé dans une copie de mathématique:

"Des droites tristement parallèles"

Et, respectivement, cette autre perle du même genre:

"Les points A et B se projettent respectueusement en A' et B' sur la droite (d)."

Enfin une réflexion de D. Barbier, un célèbre astronome, aujourd'hui disparu. A cette époque, la photographie était utilisée pour obtenir des images (photométrie) ou des spectres (spectroscopie).

Toutes les coupoles avaient un laboratoire photographique où l'astronome développait les plaques de la nuit. Un noir complet devait régner dans ce laboratoire au moment du développement. Or, le laboratoire attenant au télescope de 80cm (comprenez le télescope dont le miroir avait un diamètre de 80cm) de l'Observatoire de Haute Provence avait la réputation de ne pas procurer une très bonne obscurité.

D. Barbier eut un jour cette remarque:

"J'aime bien développer au 80, car au moins on voit ce qu'on fait!"

T.P. « NASA »

Pierre Le Fur
Institut Supérieur d'Electronique de Méditerranée
place G. Pompidou 83000 Toulon
 (plefur@isem.tvt.fr ou Pierre.Le-Fur@wanadoo.fr)

Résumé : Si « manipuler » est le maître mot des programmes de physique du secondaire, il n'est pas toujours possible de mettre dans une salle de T.P. l'objet de notre étude. Comment faire tourner un satellite autour de la Terre dans une salle de 100 m³ ?

Le mot « simuler » s'impose donc à notre esprit. Attention ! Une simulation n'est pas la « réalité » et faire jouer les élèves avec un logiciel mérite une réflexion sur les objectifs à atteindre. On ne peut pas espérer « redécouvrir » les lois de la physique, on peut au plus vérifier que celles-ci font partie intégrante du programme fonctionnel de la simulation. Mais surtout, l'objectif majeur devient l'illustration des effets de ces lois, celles-ci étant admises, la simulation devenant l'image de la réalité.

Mots-clefs : ORDINATEUR - SIMULATION - SATELLITE

Introduction

Fixer dans l'esprit des élèves des images exactes de la réalité physique constitue un objectif scientifiquement secondaire mais pédagogiquement primordial. En particulier lorsque cette illustration logicielle ressemble à un jeu « 3D » auquel nos « têtes blondes » s'adonnent à longueur de temps, on peut alors espérer : simuler, simuler, il en restera toujours quelque chose ?

Je vous propose de nous éloigner de notre belle planète bleue et d'observer la ronde des satellites artificiels... en restant confortablement assis. Y a-t-il un ordinateur relié à Internet dans la salle ? Si non, arrêtez de lire cet article. Si oui, vous êtes autorisés à quitter provisoirement des yeux cette feuille pour mettre en fonctionnement votre fidèle compagnon électronique pourvu qu'il soit équipé d'un navigateur Internet permettant la visualisation de programmes « JAVA ».

Le site gratuit (!) à atteindre est celui de la NASA (<http://liftoff.msfc.nasa.gov/→tracking→3D>) qui répond à l'adresse fort simple de :

<http://liftoff.msfc.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTrack3D.html>

ou, plus récemment à :

<http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTrack3D.html>

Respectez la typographie majuscule-minuscule et la syntaxe, sous peine d'un échec lors du lancement de votre fusée virtuelle...La merveilleuse habitude d'une syntaxe grammaticale et d'une orthographe correcte acquise (?) dans les matières littéraires a du bon.

Après quelques secondes, apparaît une fenêtre dans laquelle une magnifique Terre bleue et verte est dessinée. Rapidement, 500 points lumineux viennent entourer notre bon vieux globe. Maintenant suivez le guide...

Une concrétisation 3D de la réalité satellitaire

Un clic gauche maintenu de votre souris... et vous voyez le nuage de points lumineux,

comme la Terre s'orienter à votre guise. Ce spectacle 3D est plus joli en pleine page ...Entraînez vous à utiliser VIEW→ZOOM IN ou OUT.

Le temps s'écoule...et les satellites bougent. Deux groupes distincts sont identifiables ; une nuée de « rapides » très proche du globe et une couronne nettement plus lointaine de « lents ». Pour mieux appréhender l'ensemble, utilisez le menu OPTIONS →TIMING X100, pour accélérer la visualisation du phénomène. Rafraîchir l'image toutes les ½ secondes avec OPTIONS→UPDATE RATE→ ½ s.

Devinettes faciles...

Comment la NASA désigne-t-elle la station spatiale internationale ?

Quel groupe correspond aux satellites « géostationnaires » ?

La Terre tourne-t-elle sur elle-même dans ce référentiel de visualisation ? (Corollairement, ce référentiel est-il terrestre ou géocentrique ?)

Attention pour la suite, ne touchez pas au menu VIEW, qui doit impérativement rester sur ORBIT PATH.

Changeons de référentiel. A l'aide du menu SATELLITE→CENTER , observez le mouvement de cette noria céleste, vue d'un point à la verticale de la STATION spatiale internationale. Observez le mouvement relatif de la Terre « sous les pieds des astronautes ».

Sélectionnons un autre satellite (après être sorti du menu SATELLITE→CENTER afin de retrouver le référentiel géocentrique). Pour cela, cliquez avec la souris un « géostationnaire ». Que constate-t-on pour le mouvement relatif de la Terre après avoir choisi comme nouveau référentiel ce satellite géostationnaire grâce à SATELLITE→CENTER ?

Le modèle de l'orbite circulaire

Revenons au référentiel *géocentrique*...
...pour ce dernier objet géostationnaire (ex : Intelsat 804) et plaçons sa trajectoire dans le plan d'observation de l'écran par rotation de l'image avec clic gauche maintenu jusqu'à obtenir une coloration rouge uniforme de sa trajectoire dévoilant du même coup sa planéité. Cette trajectoire fermée semble bien circulaire et l'observation du globe terrestre indique qu'elle se trouve contenue dans le plan équatorial.

« Mesurons » l'altitude en fonction du temps...
...en utilisant VIEW→ SATELLITE POSITION, la donnée de l'altitude z (en km) apparaît. Après avoir accéléré une nouvelle fois le mouvement (OPTIONS →TIMING X1000), relevez les valeurs extrémales de z .

Calculez les rayons extrémaux r_{max} , r_{min} sachant que le rayon terrestre moyen R_T vaut 6378 km. Calculez le rayon moyen r et la variation relative $(r_{max}- r_{min})/2r$. On pourra en déduire avec quel pourcentage d'erreur on peut assimiler la trajectoire à un cercle.

On admet bien sûr que le logiciel donne les valeurs vraies de z Nous sommes rassurés : ils tournent rond.

Mouvement simulé et loi de Képler

Modèle cinématique.

Ce programme JAVA ne procède pas par intégration des équations différentielles du mouvement découlant de l'application du principe fondamental de la dynamique et des conditions initiales position-vitesse. C'est un modèle cinématique où chaque satellite est associé à des fonctions du type r , θ , ϕ du temps issus de modèles numériques dont les paramètres fondamentaux sont réactualisés régulièrement en fonction des observations du réseau de surveillance radar « NORAD » (données « two lines »).

Il semble donc justifié de vouloir « redécouvrir » les lois de Képler, conséquences du P.F.D., à partir de la simulation.

La 3ème loi de Képler

Préparons un tableau EXCEL à 8 colonnes. Remplissons les 4 premières colonnes (nom du satellite, zmax, zmin, période T) à l'aide de la simulation. A cette fin, on sélectionnera plusieurs satellites de rayons d'orbite différents à l'aide de

SATELLITE→SELECT. Par exemple Station, GPS BIIA-20, Spot4, Intelsat 804. Cherchons à déterminer le fameux rapport T^2/a^3 , où a vaut ici le rayon moyen r de l'orbite.

Voici un exemple de résultats :

nom du satellite	hmax	hmin	T	T	a=hmoyen +R _T	Δa/2a	T ² /a ³ (usi)
ISS (STATION)	409 km	386 km	1h:32min:20s	0,0641204 j	6775,5 km	0,17%	9.867E-14
GPS BIIA-20	20524	19862	11:57:57	0,4985764	26571	1,25%	9,892E-14
SPOT 4	853	827	1:41:24	0,0704167	7218	0,18%	9,843E-14
Intelsat 804	35800	35771	23:56:07	0,9973032	42163,5	0,03%	9,905E-14

moyenne= **9,877E-14**

Variation 3 pour mille

La troisième loi de Képler est ainsi vérifiée, elle conduit à déterminer la masse de la Terre :

$$M_T = \frac{4\pi^2}{G9.87710^{-14}}$$

Avec $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$ usi, on obtient $M_T = 5.99 \cdot 10^{24}$ kg. Tout à fait cohérent avec les valeurs de la littérature : $5.976 \cdot 10^{24}$ kg, soit un écart d'environ 2‰, compatible avec l'incertitude sur T^2/a^3 « mesuré ».

Vitesse et train satellitaire

Intermède

Après cet effort intellectuel et calculatoire, détendons nous en observant la marche des satellites de télécommunication de la "constellation" Iridium. A l'aide de SATELLITE →SELECT et de VIEW→ZOOM IN, suivons tout d'abord Iridium 22. Sélectionnez Iridium 23, puis 24 etc... jusqu'à 26. Amusant ?

Vitesse et période

Profitez de cette observation pour vérifier la relation vitesse/période (v/T) des Iridiums. Relevez la valeur de v pour ses satellites et comparez avec la relation de la mécanique :

$$v = \sqrt{\frac{2\pi GM_T}{T}}$$

Y a-t-il accord ? (Voir annexe 1).

XMM ou une ouverture sur les programmes de 1ère année post-bac

Mouvement sur une orbite elliptique

Avec les menus SATELLITE→SELECT et de VIEW→ZOOM OUT, intéressons-nous au satellite XMM d'observation dans le domaine des rayons X. A l'aide de la souris et du clic gauche maintenu, amenons l'orbite dans le « plan de l'écran » -couleur rouge.

Comment la norme de la vitesse (VIEW→SATELLITE POSITION) varie-t-elle avec l'altitude ?

Aspect quantitatif et conservation du moment cinétique

Notez les altitudes z d'apogée et de périégée puis calculez les distances r au centre de la Terre. A un deuxième passage (OPTIONS →TIMING X1000), relevez les valeurs des vitesses v correspondantes. Que constate-t-on pour le produit rv au périégée et à l'apogée ? Quel le pourcentage d'écart ? (Voir annexe 2).

Ce produit r.v reste-t-il constant en d'autres points de la trajectoire ? Pourquoi ?

Une idée pour un TP sur l'énergie

Pour une vingtaine de points sur l'orbite, on pourrait calculer la somme

$$\frac{GM_T + V^2}{r + 2}$$

correspondant à l'énergie totale de l'unité de masse du satellite. Que constaterait-on ? (Voir annexe 3).

Et le référentiel terrestre ?

Devinette supplémentaire :

Quelle est la projection de la trajectoire d'un géostationnaire sur le sol terrestre ? Sélectionnons Hot Bird 1, puis utilisons VIEW→GROUND TRACE en désélectionnant ORBIT PATH et centrons sur le satellite avec SATELLITE →CENTER. Qu'observe-t-on ? Choisissons maintenant Skynet 4A (ou LES 9) . Qu'observe-t-on ?

Rapprochons-nous de la Terre et observons la trace d'un GPS. Belle arabesque non ?

Satellites d'orbite basse et inclinaison

Sélectionnons SPOT 4, relevons la valeur « inclinaison », observons la trajectoire projetée ; passe-t-elle près du pôle ? Re commençons avec OAO 2 puis la Station ISS ; quelle est la latitude terrestre maximale (ou minimale) atteinte ? Y a-t-il une relation avec l'inclinaison ? (Voir annexe 4) Nous observons là la fameuse « sinusoïde » visible sur le planisphère terrestre des salles de contrôle de Houston et autres Kourou, Baïkonour ...

Nous voilà donc revenus sur Terre après bien des km parcourus. Que restera-t-il de ce voyage dans l'esprit de nos élèves ? Peut-être l'idée de repartir là haut ?... Mais certainement pas d'abandonner leur console de jeu au profit de « Nasa liftoff » !

En tout cas cette visite devrait constituer un apprentissage à l'exploitation méthodique quantitative ou qualitative de données Internet, à l'opposé d'un pillage aveugle et superficiel du contenu des « autoroutes de l'information ».

Alors, à vos souris et merci à la NASA !

Annexes

Annexe 1: Vitesse et période pour la "constellation" Iridium

On relève $T = 1\text{h } 40\text{min } 24\text{s}$ pour une vitesse $V_{\text{relevée}} = 7.460 \text{ km.s}^{-1}$. La mécanique céleste donne la relation :

$$v = \sqrt[3]{\frac{2\pi GM_T}{T}}$$

Pour la vitesse sur une orbite circulaire. Soit numériquement $V_{\text{modèle}} = 7.473 \text{ km.s}^{-1}$. L'écart vaut moins de $2^\circ/\text{oo}$.

Annexe 2: Orbite elliptique et moment cinétique, pour XMM

On relève l'altitude et la vitesse à l'apogée et au périégée, points repérés par les valeurs extrémales de l'altitude z . Conjointement on relève la vitesse v en ces points. Puis on calcule le produit rv .

Altitude z (km)	Vitesse v (km.s^{-1})	r (km)	rv (km^2s^{-1})
118 710	0,888	125 088	111 103
9 300	6,700	15 678	105 103

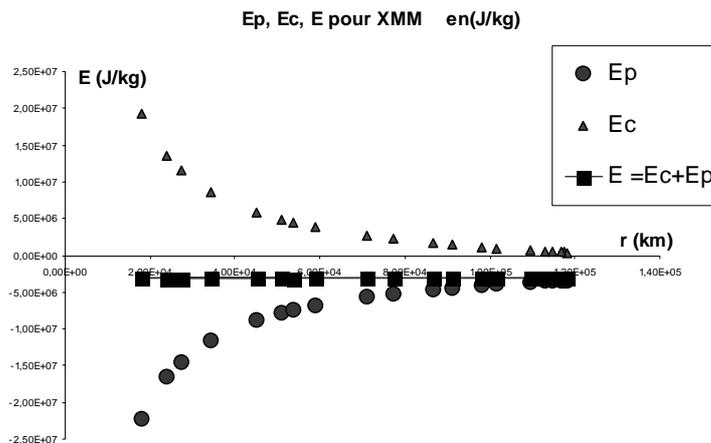
La variation relative du produit rv est donc de 5,5%. En multipliant les mesures on réduira cette valeur. La difficulté tient à repérer les z extrémales pour une vitesse v .

Annexe 3: Orbite elliptique et énergie mécanique

En utilisant la définition de l'énergie potentielle E_p de pesanteur par unité de masse et celle de l'énergie cinétique massique E_c , on peut construire un tableau $[z, v, r, E_p, E_c, E=E_p+E_c]$. Examinons les résultats pour XMM (les premières lignes du tableau), avec des valeurs d'énergie en Jkg^{-1} :

z (km)	v (kms-1)	r(km)	E_p	E_c	E
3,87E+04	3,42E+00	4,51E+04	-8,86E+06	5,86E+06	-3,00E+06
1,16E+04	6,20E+00	1,79E+04	-2,23E+07	1,92E+07	-3,10E+06
2,80E+04	4,15E+00	3,44E+04	-1,16E+07	8,61E+06	-2,99E+06
5,25E+04	2,76E+00	5,88E+04	-6,79E+06	3,80E+06	-2,99E+06

L'énergie totale reste constante, nous voilà rassurés ! En voici l'illustration graphique :



Le même travail fait pour « Chandra » ou « Polar » indique des valeurs d'énergie totale constantes mais différentes :

	CHANDRA	XMM	POLAR
E (Jkg^{-1})	-2,48E+06	-3,00E+06	-5,75E+06
période T	63h28min48s	47h52min58s0	17h56min12s
demi-grand axe a (km)	3,75E+04	3,11E+04	1,62E+04
$E \times a$	-9,31E+10	-9,33E+10	-9,29E+10

La proportionnalité de l'énergie totale E avec l'inverse du demi-grand axe (obtenu par la loi de Képler) est prouvée par la constance du produit $E \times a$ à 2°/oo près.

Annexe 4: Inclinaison et latitude maximale survolée

Les deux valeurs sont confondues ; un « polaire » a une inclinaison (angle entre plan de l'orbite et équateur) proche de 90° et pourra survoler tous les points de la Terre (avec un peu de patience). Cette inclinaison est associée aux satellites d'observation, d'ailleurs très nombreux. Evidemment les géostationnaires ont une inclinaison proche de 0° mais sont d'orbites hautes.

Pour les orbites basses (inférieures à 500 km), seuls quelques satellites « exotiques » ont des inclinaisons moyennes comprises entre ces 2 extrêmes 0 et 90° . ISS fait partie de ceux là, pour des raisons de compromis entre coût de revient d'un tir et accessibilité de l'orbite depuis le plus grand nombre possible de pas de tir. Notons que le télescope spatial Hubble (HST) est invisible sous nos latitudes en raison de sa faible inclinaison ($28,5^\circ$).



Un calendrier perpétuel et mental

Philippe Paturel et Georges Paturel

Résumé : Nous vous proposons une méthode, rapide et facile, pour calculer de tête, quel jour de la semaine correspondra à une date donnée. Comme exemple nous l'appliquons à l'année 2004.

Mots-clefs : CURIOSITE – CALENDRIER

Il vous est sans doute arrivé d'avoir à choisir une date, sans calendrier, et de ne pouvoir faire le choix faute de savoir si le 25 janvier 2003 était un samedi ou un vendredi. Nous vous proposons une méthode qui a fait ses preuves pour déterminer instantanément, à quel jour de la semaine correspond telle ou telle date. Hormis l'aspect pratique, vous aurez le plaisir d'étonner vos amis et même vos ennemis.

Pour parvenir au résultat vous devrez vous plier à deux contraintes :

- 1) utiliser régulièrement le système (faute de quoi le petit effort mental vous paraîtra trop difficile)
- 2) apprendre douze chiffres par cœur (plus un).

Commençons d'expliquer la méthode et vous allez comprendre.

Pour l'année 2003, retenir le chiffre 2. Chaque année vous aurez à retenir le chiffre de l'année. Ensuite vous avez à retenir une liste permanente de douze chiffres, associés à chacun des mois de l'année. Je vous livre la liste :

mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
n	0	3	3	6	1	4	6	2	5	0	3	5

C'est tout. Alors calculons. Vous voulez savoir à quel jour de la semaine correspond le 1 mai 2003. Ajoutons les chiffres de chaque élément de la date :

quantième du jour = 1
 mois de mai: n = 1
 année 2003: N = 2
 TOTAL = 1+1+2 = 4.

Le premier mai 2003 sera un jeudi (4^{ème} jour de la semaine). Je vérifie sur mon agenda: c'est bon. Compliquons un peu. Quel jour de la semaine sera le 14 Juillet 2003 ?

Même addition: 14 + 6 + 2 = 22.

Là, il faut diviser par sept et prendre le reste 22 = 3 x 7 + 1, le reste étant un, le 14 juillet 2003 sera un lundi. Je vérifie sur mon agenda, c'est encore bon.

Cette division par sept peut vous effrayer. Alors vous avez une autre solution. Chaque fois que dans votre addition (14+6+2) vous pouvez enlever 7, vous le faites. Ainsi, 14+6+2 devient 7+6+2 ou 0+6+2 = 1[7] (on dit 1 modulo 7), c'est le résultat; lundi, premier jour de la semaine.

Que va-t-il se passer en 2004 ? L'année 2003 étant une année 2, l'année 2004 devrait être une année 3 (décalage d'un jour par an, car 365=52x7+1). C'est vrai. Mais attention, l'année 2004 est une année bissextile. Pas de panique, c'est tout simple. Vous faites le calcul normalement et, si la date considérée se situe après le 29 février, vous

ajoutez 1 (pour prendre en compte le décalage d'un jour).

Ce qui revient à dire qu'après février, l'année 2004 sera une année 4.

On peut dire que l'année 2004 sera une année "3 et 4". Comme le décalage perdurera, l'année 2005 sera une année 5.

Pour que vous puissiez avoir quelques années de réserve nous vous donnons ci-dessous les numéros de quelques années à venir. Vous complèterez le tableau. Ce n'est pas difficile. Il faut seulement se rappeler la définition d'une année bissextile. Une année bissextile est "divisible" par 4. Exception: les années séculaires 2100, 2200 etc. sauf si le nombre composé des deux premiers chiffres est divisible par 4 (exemple : 24).

Par exemple, l'année 2000 était une année séculaire, mais 20 étant divisible par 4, l'année 2000 échappe à l'exception, étant une exception de l'exception. Bref, ne vous faites pas de souci, vous n'aurez pas de problème avant 2100, d'ici là nous ferons un autre article. Pour voir si nous avons bien compris, cherchons quel jour sera le 22 Février 2004. Je réponds de suite, $22+3+3 = 28 = 4 \times 7 = 0[7]$. C'est un dimanche. Vérification sur mon agenda informatique: Ca marche !

Et alors quel sera le jour du 15 mars 2004 (les ides de mars). De suite ($15+3+4$ ou $1+3+4 = 1[7]$). Ce sera un lundi: Ca marche encore. Nous vous le disions, c'est perpétuel, mais un peu mental. Mais que ne ferait-on pas pour épater nos ennemis ?

ANNEE	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
N	5 et 6	0	1	2	3 et 4	5	6	0	1 et 2	3	4

Voici les types pour les années de 1900 à 2023. De quoi voir venir.

Les années ayant une case blanche à leur droite, sont les années bissextiles à deux types.

Type 0	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
1900	1901	1902	1903	1904		1905
1906	1907	1908		1909	1910	1911
1912		1913	1914	1915	1916	
1917	1918	1919	1920		1921	1922
1923	1924		1925	1926	1927	1928
	1929	1930	1931	1932		1933
1934	1935	1936		1937	1938	1939
1940		1941	1942	1943	1944	
1945	1946	1947	1948		1949	1950
1951	1952		1953	1954	1955	1956
	1957	1958	1959	1960		1961
1962	1963	1964		1965	1966	1967
1968		1969	1970	1971	1972	
1973	1974	1975	1976		1977	1978
1979	1980		1981	1982	1983	1984
	1985	1986	1987	1988		1989
1990	1991	1992		1993	1994	1995
1996		1997	1998	1999	2000	
2001	2002	2003	2004		2005	2006
2007	2008		2009	2010	2011	2012
	2013	2014	2015	2016		2017
2018	2019	2020		2021	2022	2023



Pour une autre approche, voir l'article de J.-P. Parisot, « Construction et mode d'emploi d'un calendrier perpétuel » du CC n° 31 (1985).

■

Arago et la Lune rousse

C. Le Lay

Résumé : Dans les années 1820, François Arago est conduit à la suite d'un événement relaté ci-dessous à s'intéresser aux croyances populaires concernant l'influence de la Lune sur le climat ou les cultures. Le sujet auquel il consacra plusieurs pages de sa monumentale *Astronomie populaire* sera repris par la plupart des vulgarisateurs qui lui succéderont.

Mots-clefs : HISTOIRE - LUNE

Je suis charmé de vous voir réunis autour de moi, dit un jour Louis XVIII aux membres composant une députation du Bureau des Longitudes qui étaient allés lui présenter la *Connaissance des Temps* et l'*Annuaire*, car vous m'expliquerez nettement ce que c'est que la Lune rousse et son mode d'action sur les récoltes". Laplace, à qui s'adressaient plus particulièrement ces paroles, resta comme atterré ; lui qui avait tant écrit sur la Lune, n'avait en effet jamais songé à la Lune rousse. Laplace consultait tous ses voisins du regard, mais ne voyant personne disposé à prendre la parole, il se détermina à répondre lui-même : « Sire, la Lune rousse n'occupe aucune place dans les théories astronomiques ; nous ne sommes donc pas en mesure de satisfaire la curiosité de Votre Majesté. »

Le soir, pendant son jeu, le roi s'égaya beaucoup de l'embarras dans lequel il avait mis les membres de son Bureau des Longitudes. Laplace l'apprit et vint me demander à l'Observatoire si je pouvais l'éclairer sur cette fameuse Lune rousse qui avait été le sujet d'un si désagréable contretemps. Je lui promis d'aller aux informations auprès des jardiniers du Jardin des Plantes et d'autres cultivateurs. Telle a été l'origine du chapitre qu'on va lire. »¹

Cette entrée en matière est celle du chapitre XXXII de l'*Astronomie populaire* dans lequel

Arago reprend les explications déjà fournies dans l'*Annuaire* du Bureau des Longitudes pour 1827 et au cours public d'astronomie qu'il anime chaque semaine à l'Observatoire. Au phénomène de la Lune Rousse, Arago adjoint d'autres influences supposées de la Lune dont il analyse scientifiquement le prétendu fondement. Vous trouverez ci-après le titre des chapitres correspondants.

Arago montre que le bon sens populaire a tendance à interpréter la conjonction de deux événements comme un lien causal. Ainsi, au sujet des prétendus dégâts causés par la Lune rousse, nous rappelle-t-il que le fait de voir la Lune signifie que le ciel est dégagé. A cette période, il en résulte une inévitable baisse de la température des végétaux qui peut se révéler inférieure à celle de l'atmosphère environnante et occasionner le gel des bourgeons. Le seul rôle de la Lune est de signaler passivement par sa simple présence la sérénité de l'atmosphère propice à la chute de température.

Les « lunatiques » suscitent son scepticisme. Il rend néanmoins compte des observations de quelques médecins et ne ferme pas la porte à des recherches ultérieures plus concluantes.

¹ F. Arago, *Astronomie populaire*, tome 3, Paris, Gide et Baudry, 1856 (p. 497-498).

Chapitre	Titre	Page
XXXII	Lune rousse	497
XXXIII	La Lune exerce-t-elle une action sur les nuages de l'atmosphère terrestre ?	501
XXXIV	Des lunatiques ou de l'action prétendue de la Lune sur les êtres animés et particulièrement sur certaines maladies	503
XXXV	De l'influence de la Lune sur le nombre de jours de pluie	510
XXXVI	Influence de la Lune sur l'atmosphère terrestre	512
XXXVII	Influence de la Lune sur la direction du vent	516
XXXVIII	Des pronostics	517
XXXIX	De l'influence des phases de la Lune sur les changements de temps	519
XL	Marées atmosphériques	532
XLI	Lune de la moisson	533

Pour ce qui concerne la météorologie, il dresse un catalogue exhaustif de toutes les observations et montre, d'une part, le caractère subjectif du changement de temps, d'autre part, que la Nouvelle Lune est propice au changement de temps en Italie alors qu'elle est signe de stabilité en Autriche.

La Lune de la moisson est la Pleine Lune proche de l'équinoxe d'automne. La lumière lunaire prend alors le relais immédiat du Soleil et prolonge le jour, favorisant les travaux des champs. Quand il relate ce phénomène – *harvest moon* chez les Anglais, pour lesquels la moisson se déroule effectivement en septembre – et son contraire la Lune du chasseur de l'équinoxe de printemps, il s'attaque aux partisans des causes finales qui invoquent l'utilité pour l'homme de ces

manifestations dont Arago montre qu'elles s'expliquent sans difficultés d'un point de vue astronomique.

Arago, en savant de l'époque post-révolutionnaire, met sa fougue au service du combat contre les frayeurs irrationnelles. A ses yeux, l'astrologie est reléguée, si l'on me pardonne ce mauvais jeu de mot, au rang de « vieille lune ». Aussi concentre-t-il son énergie sur les comètes, dont on craint encore le choc contre notre planète, et la Lune. Parmi les vulgarisateurs qui lui succéderont tout au long du XIX^e siècle, rares seront ceux qui ne sacrifieront pas à la mode de ce nouveau sujet. Mais tous n'auront pas l'honnêteté de citer leur source, au grand dam d'Arago qui fera valoir sa paternité dans l'*Astronomie populaire*.

■

Construction d'une balance de Cavendish

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : Dans les deux cahiers précédents nous avons parlé des expériences fondamentales de Cavendish et de Boys qui ont permis de mesurer la constante de la gravitation universelle. Cette expérience est si délicate qu'il paraît impossible de la réaliser avec des moyens simples. C'est pourtant le défi que j'ai essayé de relever. Je voudrais vous faire partager le plaisir de cette réalisation. J'espère vous donner envie de vous lancer à votre tour dans cette expérience.

Mots-clefs : REALISATION - GRAVITATION

Introduction

Il y a bien longtemps que je rêvais de monter l'expérience de Cavendish mais sans oser m'y attaquer. Lors du repas de l'Assemblée Générale du CLEA de 2002, en discutant avec mes voisins de table (A. Petit et B. Sandré) j'appris que l'expérience avait été réalisée pour un TP à Orsay. Je décidais donc de me jeter à l'eau mais en réalisant tout moi-même avec du matériel facile à se procurer. En effet, dans l'expérience d'Orsay, la partie essentielle (la balance proprement dite) était fournie toute faite.

Avant même de consacrer trop de temps à la réalisation, je voulus essayer de mettre en évidence la force d'attraction. Je réalisai une sorte de balance, supportant une petite sphère de plomb, montée sur une pointe sans frottement et j'approchai une grosse masse (batterie de voiture). Aucune attraction ne fut décelée. J'essayai également de monter la sphère de plomb sur un petit flotteur et j'approchai la masse attractive, sans plus de succès. Je décidai néanmoins d'attaquer une réalisation plus soignée mais en me promettant de ne pas trop fignoler quand même. Le succès fut au bout de la réalisation, mais non sans quelques difficultés comme je vais vous le

décrire. Pour le principe de l'expérience je vous invite à vous reporter aux CC102 et CC103.

Le matériel

La première chose à faire est de rassembler le matériel et principalement le plomb. En parlant de mon projet à quelques collègues et amis je reçus bientôt plus de plomb qu'il n'était nécessaire (6 ou 7 kilogrammes), sous la forme de vieux tuyaux. Je récupérai un tube en aluminium, d'un mètre de long et d'environ 25 millimètres de diamètre (ancien velux), mon épouse me procura un rouleau de papier aluminium de cuisine de 10 microns d'épaisseur (c'est marqué sur la boîte) pour la réalisation du ruban de suspension de la balance. Pour le reste, un peu de bois, quelques chutes de tôle d'aluminium, deux boîtiers de CD. Enfin, il faut récupérer un petit miroir (on pourrait prendre un petit morceau d'un CD) et un pointeur laser.

Nous pouvons commencer la réalisation, mais avant, je vous montre une photo de la balance terminée (figure1).

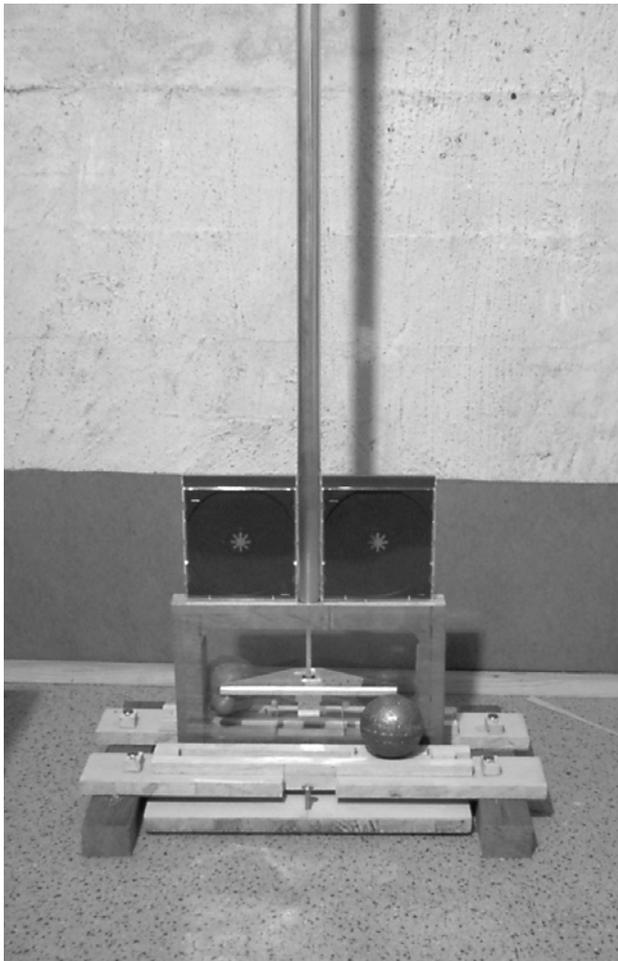


Figure 1: La balance de Cavendish terminée.

Je ne prétends pas que la réalisation est la plus commode et vous pourrez faire mieux sans doute. Mais au moins vous savez qu'en respectant les caractéristiques essentielles le résultat sera correct. Nous allons décrire tout d'abord la réalisation des sphères de plomb. C'est de loin la partie la plus délicate.

Réalisation des sphères de plomb

J'ai commencé par la fabrication des petites sphères. J'avais une bille d'acier de 2,5cm de diamètre. C'est elle qui m'a servi de modèle. J'ai utilisée la méthode classique des fondeurs, avec du sable spécial de moulage et un châssis en bois de ma confection. Je ne vais pas décrire la méthode car ce n'est pas celle que je vous recommande. La technique qui m'a permis de faire les grosses

sphères me paraît bien plus facile à mettre en œuvre.

Technique de moulage au plâtre

Les sphères modèles sont constituées d'une bille de 2,5cm de diamètre, en acier, pour les petites sphères et une boule en polystyrène de 7cm de diamètre pour les grosses sphères.

On commence par badigeonner la sphère modèle avec du savon noir à l'aide d'un pinceau. Puis on remplit de plâtre un pot en plastique (fromage blanc) jusqu'au quart de sa hauteur. Pour mémoire pour gâcher le plâtre il faut verser le plâtre dans l'eau, et non le contraire. Quand le plâtre est dur, on pose le modèle de sphère sur ce socle encore frais. On complète avec du plâtre un peu liquide jusqu'au milieu de la sphère modèle (on aura pris soin de tracer le cercle équatorial avant l'opération). On attend alors que le plâtre soit bien dur. On démoule le bloc qui constitue la première partie du moule. On vérifie que la sphère modèle se décolle facilement. Avec un couteau on fait trois encoches en V sur les bords du moule. Ces encoches serviront de détrompeur pour que les deux parties du moule soient toujours placées exactement dans la même position.

On remet ensuite le bloc de plâtre et le modèle dans le pot en plastique. On badigeonne la surface et les encoches avec du savon (on peut sans inconvénient remettre une couche de savon sur la demie sphère apparente). On remplit ensuite complètement le pot avec une nouvelle coulée de plâtre. On a ainsi constitué la deuxième partie du moule. Quand le plâtre est bien dur et bien sec, on ouvre les deux parties du moule, on enlève la sphère modèle. Le moule définitif est presque terminé. Il ne reste qu'à tailler au couteau deux demies cheminées coniques de coulage sur chacun des deux blocs du moule, de telle manière que, une fois le moule refermé, les deux demies cheminées constituent une unique cheminée conique. Cette cheminée ne doit pas être trop étroite (8 à 10 mm de diamètre) pour que l'air puisse sortir du moule pendant la coulée du plomb. Pour le moule original que j'ai réalisé pour les grosses sphères j'avais fait une cheminée cylindrique dans le bloc supérieur comme on peut le voir sur la figure 3. Ceci rendait le démoulage difficile à cause du cône de plomb qui restait dans la cheminée. Il est préférable de faire une cheminée conique entre les

deux parties du moule, comme celle qu'on voit sur la figure 3, pour le petit moule. Ainsi, le démoulage ne pose aucun problème.

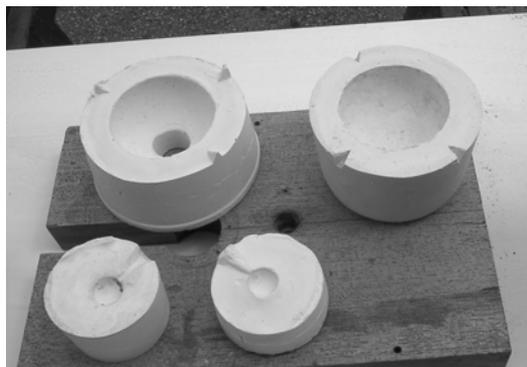


Figure 3: Les moules en plâtre.

Il nous reste à effectuer l'opération la plus difficile, le coulage du plomb. Il y a quelques précautions à prendre, car plusieurs dangers existent.

Coulée du plomb fondu

Les grosses sphères de 7cm de diamètre ont une masse de 2kg. Fondre une telle masse réclame une parfaite organisation et une grande vigilance. Il est conseillé de faire l'opération, dehors, à même le sol. Le métal est fondu au chalumeau à butane dans une casserole de fer en tôle épaisse. La casserole était entourée de briques réfractaires et, détail important, je me plaçais de telle sorte que le vent éloigne de moi les vapeurs. En effet, au-dessus de 327 degrés, avant même l'ébullition, le plomb donne des vapeurs nocives qu'il faut éviter de respirer.

Le coulage proprement dit ne pose pas de problème. Les deux parties du moule étant fermement maintenues ensemble par un serre-joint (ou un fil de fer) et le tout étant solidement fixé au sol, on saisit le manche de la casserole avec des maniques de cuisine et on coule doucement le métal dans la cheminée. On écarte éventuellement les scories de surfaces avec une tige métallique. On laisse refroidir longuement et on démoule. Si tout s'est bien passé on obtient une belle sphère. On coupe à la scie le moulage de la cheminée en plomb. On façonne ensuite la sphère, à la lime ou au marteau. Le moule est prêt à resservir pour une autre sphère. Les Figures 4 et 5 présentent le matériel utilisé. Quand vous aurez terminé cette

opération le plus difficile sera fait. La suite ne pose pas de problème majeur à une personne quelque peu méticuleuse.



Figure 4: Le matériel de moulage.



Figure 5: Gros plan sur la casserole.

La balance

Le ruban de suspension

Si vous avez lu les articles précédents vous avez compris qu'il y a intérêt, comme l'a montré Boys, à réaliser une balance minuscule pour pouvoir utiliser un fil de suspension extrêmement fin. Le couple de rappel variant comme la puissance quatrième du diamètre du fil, plus le fil est fin, plus grande est la déviation de la balance de torsion lors de l'attraction mutuelle des petites et des grosses sphères. Le problème est qu'il n'est pas facile de manipuler des fils de quelques microns de diamètre. D'où l'idée d'utiliser un ruban de suspension, offrant une bonne résistance à la rupture mais une faible résistance à la torsion. J'eus l'idée d'utiliser du vulgaire aluminium de cuisine dont l'épaisseur est d'environ 10 microns. Un rapide calcul montre qu'une largeur de 5mm doit supporter les 200g de la balance (chaque petite sphère a une masse de 100g).

Pour découper le ruban de un mètre de long et de 5 mm de largeur j'ai fabriqué un

"découpoir" fait de deux lames de rasoir, séparées par une baguette de section carrée de 5mm de côté et collées en biais à la colle cyanoacrylate (voir la Figure 6).



Figure 6: Le "découpoir" à ruban.

Pour commencer la découpe on engage sous les deux lames une large bande d'aluminium d'une dizaine de centimètres de largeur. Pour faciliter le démarrage, on peut coller une languette plastique de 3mm de largeur sur le bout de la bande. On engage la languette sous les lames et ensuite il suffit de tirer très doucement et sans à-coups, pour obtenir un beau ruban de 5mm de largeur.

Nous discuterons dans le prochain article les avantages et les inconvénients d'un tel ruban de suspension. J'ai depuis imaginé d'utiliser une bande magnétique d'une cassette. Je ne sais pas si cela donnerait de bon résultat. Si oui ce serait infiniment plus facile à réaliser que le ruban d'aluminium. Mais ce que je peux dire c'est que le ruban d'aluminium fonctionne bien. Vous voyez qu'il y a encore de la place pour l'expérimentation.

Le boîtier

Le boîtier a été réalisé dans une planche épaisse (3,5cm) dont le centre a été évidé. Un trou circulaire a été pratiqué sur le dessus pour recevoir le tube d'aluminium qui abrite le ruban de suspension. Deux boîtiers de CD ont été collés à l'Araldite de part et d'autre du tube pour servir d'équerres perdues. Ce boîtier a été collé sur une planche reposant sur trois boulons en triangle qui permettent de régler la verticalité du tube.

Un "U" en tôle d'aluminium permet d'immobiliser le fléau, lors des transports, en abaissant le point supérieur de fixation du ruban.

Le fléau

Le fléau est découpé dans une tôle d'aluminium selon le dessin de la Figure 7 et rigidifié par deux baguettes en bois de balsa. Les petites sphères de plomb sont collées à la colle cyanoacrylate sur les pattes des extrémités du fléau. Un petit miroir est collé sur la languette située au milieu, sous le fléau. Une fente permet de fixer le ruban de suspension. Le bord tranchant supérieur de cette fente a été protégé par un petit tube de laiton fendu.

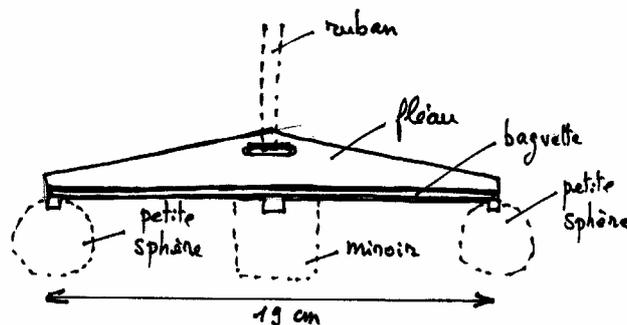


Figure 7: description du fléau.

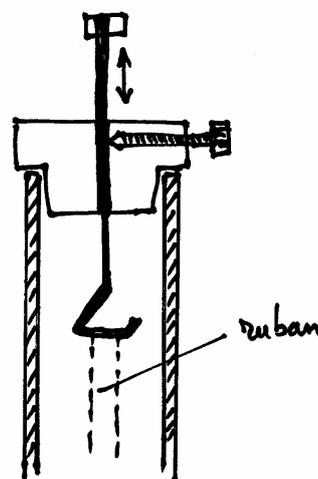


Figure 8: Le système de suspension du ruban, au sommet du tube. En débloquent la tige de suspension on peut abaisser le fléau pour qu'il repose sur un support.

Mise en place du fléau

Le ruban de suspension est fixé sur son système d'accrochage (Figure 8) et glissé dans le tube d'aluminium. Le fléau repose sur le support en "U". On glisse l'extrémité libre du ruban dans la

fente du fléau et on la fait remonter sur une hauteur de quelques centimètres. On colle alors le ruban sur lui-même avec une goutte de colle cyanocrylate. Quand la colle est sèche il suffit de relever délicatement le point de suspension du ruban et de l'immobiliser pour que la balance soit en position. On ferme enfin le boîtier par deux feuilles transparentes pour éviter les courants d'air (dans la prochaine version j'utiliserai des vitres de verre).

Les réglages

On place la balance dans un local isolé, avec un sol bien rigide (dalle en béton) et on règle la verticalité du tube pour que le ruban soit bien libre. Ensuite, en jouant sur le point de suspension du ruban, on règle l'orientation du fléau pour le placer parallèlement aux faces transparentes du boîtier. Cette opération est très longue. Il faudra sans doute plusieurs jours pour obtenir un réglage parfait.

Vous mettez à profit les longues attentes nécessitées par les réglages pour monter les glissières de bois sur lesquelles les grosses sphères vont se déplacer. Avec quelques baguettes et quelques chutes de bois le travail n'est pas difficile. Il faut simplement veiller à ce que ces glissières n'aient aucun contact avec la balance. J'ai collé les baguettes directement sur le sol avec de la colle thermofusible. Les grosses sphères sont collées avec cette même colle sur les parties mobiles des glissières. Quand on fait passer une grosse sphère d'un côté à l'autre, elle doit passer très près du boîtier (quelques millimètres) sans jamais le toucher.

Il reste aussi à mettre en place le pointeur laser. Je l'ai fixé sur un bâti de bois collé à même le sol. Le faisceau laser est dirigé sur le petit miroir du fléau. Il s'y réfléchit et va former un spot à l'autre bout de la pièce sur un petit écran (feuille de papier millimétrée collée en face de la balance). Attention de ne pas recevoir le faisceau dans l'œil.

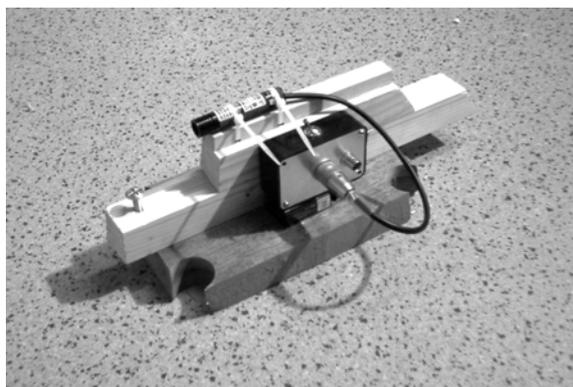


Figure 9: Le pointeur laser collé sur le sol.

Premiers essais

C'est avec une certaine émotion qu'on effectue le premier essai. Il faut beaucoup de calme mais le résultat est spectaculaire.

Il faut laisser la balance se reposer de nombreuses heures, les grosses sphères étant placées par exemple l'une devant la petite sphère de droite et l'autre derrière la petite sphère de gauche. Le mieux est d'attendre toute une nuit. Vous arrivez alors le lendemain, sur la pointe des pieds, vous allumez le laser et notez la position du spot sur le papier millimétré. Si vous n'avez pas perturbé le système par des déplacements violents, le spot doit être immobile. Vous allez calmement faire glisser les grosses sphères pour les amener en face des petites sphères opposées (sans toucher la balance) et vous revenez surveiller le spot, à pas de loup. Lentement vous le verrez se déplacer (le déplacement est visible après quelques secondes). Vérifiez que le déplacement est bien dans la direction que laissait prévoir la géométrie du système. Le spot se déplacera de plusieurs centimètres et oscillera ainsi jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre, après plusieurs heures. Vous pourrez répéter l'opération en inversant à nouveau les grosses sphères. Par plaisir j'ai du faire l'expérience une trentaine de fois. Chaque visiteur avait droit à un passage par ma cave pour voir l'expérience. La gravitation n'a jamais été prise en défaut.

Il reste à envisager maintenant la mesure de la constante de la gravitation universelle G . C'est ce que nous verrons dans le prochain article.

Histoires de diamètres apparents

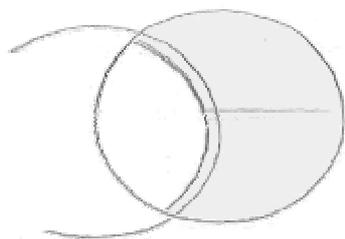
Mots-clefs : SOLEIL - LUNE - ECLIPSE - DIMENSION - DISTANCE

Solution du "Remue-Méninges" du n° 103

Pour connaître le diamètre apparent de la Lune, il fallait le comparer avec celui du Soleil. Mais, comme les deux astres étaient bas sur l'horizon, la réfraction avait aplati les disques. On pouvait décalquer la forme du Soleil levant et essayer de la superposer à la Lune. On voyait bien ainsi que le diamètre apparent du Soleil était supérieur à celui de la Lune.

Pour plus de précision, ce schéma permet de mesurer que le diamètre apparent de la Lune vaut très approximativement 90% du diamètre apparent du Soleil, soit à peine 29'.

Les éphémérides donnaient entre 29' et 30'. L'éclipse était annulaire (vue depuis l'Islande).



Diamètre apparent du Soleil

Dans le cahier CC103 nous vous avons présenté la méthode simple et précise proposée par R. Marical pour mesurer le diamètre apparent du

Soleil. Nous vous donnons sous forme graphique les résultats qu'il a obtenus avec les élèves de son Club d'astronomie de Fleury-sur-Andelle en mesurant le temps de défilement de l'image du Soleil (Figure 1).

Sous cette forme on perçoit mieux la précision des mesures (Figure 2). C'est un résultat remarquable si on sait combien faible est la variation de diamètre apparent du Soleil au cours d'une année (1,5%). Rappelons que cette variation résulte principalement de la variation de la distance Terre-Soleil. On voit très bien que nous sommes plus près du Soleil en hiver. Il n'est pas inutile de rappeler ce fait (voir Courrier des lecteurs).

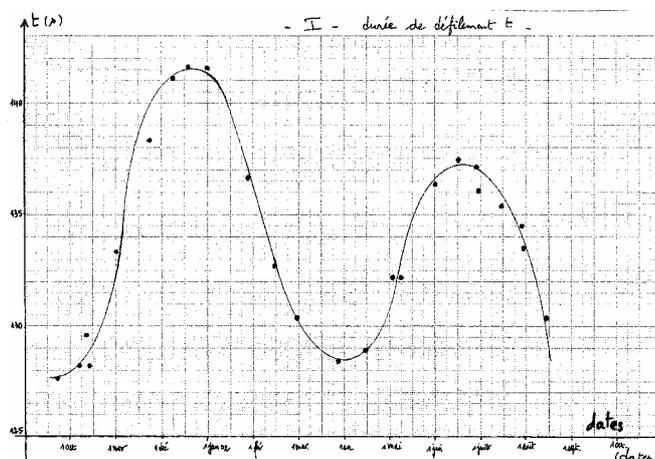


Figure 1: Variation du temps de défilement de l'image du Soleil.

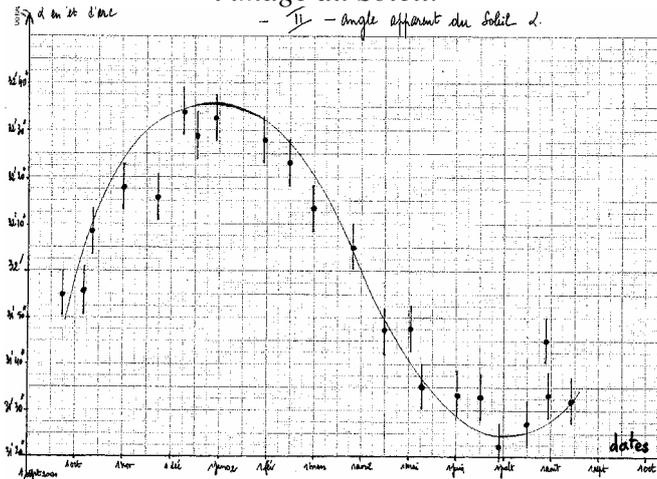


Figure 2: Mesure de la variation du diamètre apparent du Soleil au cours de l'année.

Relation entre temps de défilement et diamètre apparent

Pour obtenir le résultat remarquable ci-dessus, R. Marical a utilisé une relation entre le temps de défilement d'un point du ciel et l'arc parcouru, en l'occurrence entre temps de défilement du Soleil et diamètre apparent du Soleil. R. Marical nous donne une démonstration de cette relation (cf. Figure 3).

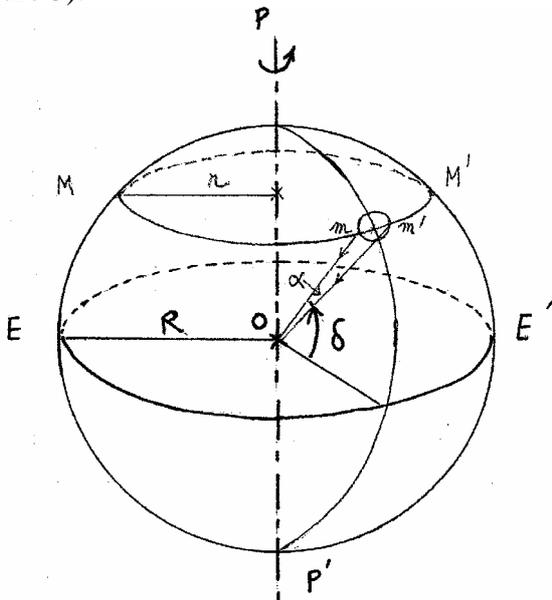


Figure 3: Illustration permettant de comprendre la relation entre temps de défilement et distance angulaire parcourue.

L'observateur O occupe une position géocentrique. PP' étant l'axe du monde. Le petit cercle de diamètre mm' représente l'objet visé, situé à la distance R de l'observateur. δ mesure la déclinaison de l'objet vu sous un angle α (en radian). EE' étant l'équateur céleste.

Sur le parallèle MM', le petit arc $mm' = R \times \alpha$ défile en t secondes. Pour le parallèle MM' de périmètre $2\pi r = 2\pi R \cos\delta$, un tour demande 86400 secondes environ (relation valable à 3/1000 par défaut pour le Soleil, car, à cause du déplacement de la Terre autour du Soleil, un tour demande plus exactement 86164 secondes).

La proportionnalité permet d'écrire:

$$\alpha = 2\pi \cos\delta (t/86400),$$

α étant en radians et t en seconde de temps. Pour exprimer α en minute d'arc (minute de degré) il suffit d'exprimer l'angle 2π radians en minute d'arc.

$2\pi = 360 \times 60 = 21600$ minutes d'arc, d'où la relation finale:

$$\alpha = (t/4) \cos\delta,$$

α est en minute d'arc et t en seconde de temps.

L'éclipse de Lune du 8 novembre 2003

Le 8 novembre 2003 une éclipse de Lune a eu lieu. La Lune est passée dans l'ombre de la Terre. Avec un simple appareil numérique, sans zoom optique, nous avons photographié le début de l'éclipse. La photo n'est pas très belle. Elle était prise sans support, l'appareil simplement appuyé contre un mur. La résolution maximum de l'appareil était de 2 millions de pixels. En agrandissant le cliché on a obtenu le résultat ci-dessous. Quelle distance Terre-Lune pourrait-on déduire de ce simple cliché?



Sur la petite photo, on mesure le diamètre de la Lune : $d=1\text{cm}$. Le diamètre de l'ombre, estimé par l'extrapolation de l'arc de cercle se projetant sur la Lune, est évalué à : $D = 2,2 \text{ cm}$.

Sachant que l'ombre de la Terre forme presque un cylindre dont la section a un diamètre de 12 700 km (diamètre de la Terre), on trouve que le diamètre de la Lune est :

$$12\,700 \times (d/D) = 5\,773 \text{ km}$$

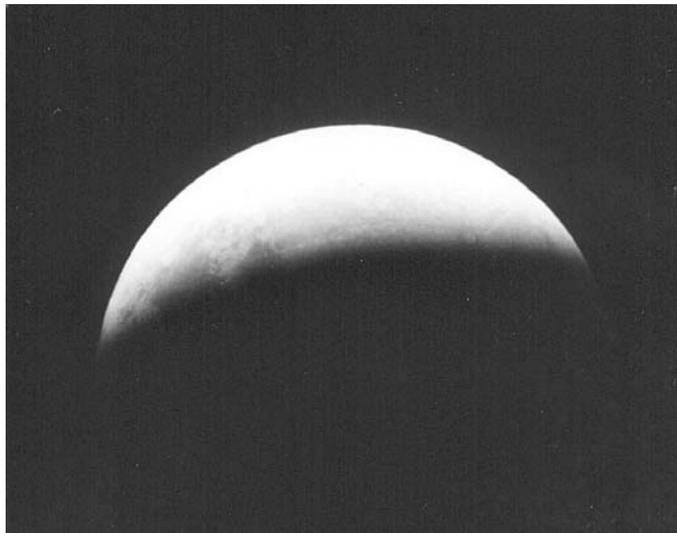
Le diamètre apparent de la Lune étant de $0,56''$, on déduit la distance Terre-Lune approximativement :

$$D_{TL} \approx 5\,773 / \text{tg}(0,56'') = 592\,374 \text{ km}$$

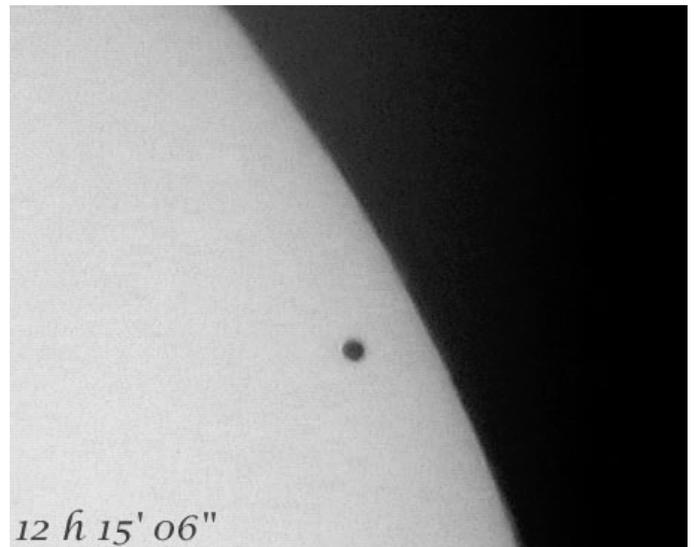
La valeur exacte est d'environ 390 000 km. Notre simple photo ne permet que d'avoir l'ordre de grandeur, mais c'est si simple !

Vous pourrez faire sans doute beaucoup mieux en utilisant l'excellente photo de cette même éclipse, prise par Daniel Toussaint.

Attention ! pour un calcul précis, vous devez prendre en compte le fait que l'ombre de la Terre est un cône, non un cylindre. Vous pouvez vous reporter à l'article « Au clair de la Lune à l'ombre de la Terre » du CC n° 37.



Problème n° 104



*Image : webcam derrière télescope
(Julien Nillon, SAB)*

Voici une photo du passage de Mercure devant le Soleil le 7 mai dernier. Sachant que la distance de Mercure au Soleil est de 0,29 UA (*), sauriez-vous calculer le diamètre de Mercure en fonction du diamètre du Soleil ?

(*) L'Unité Astronomique (UA) est la distance moyenne Terre Soleil, soit près de 150 000 000 km.

■

1. Sciences géographiques dans l'antiquité
2. Leçons de Marie Curie
3. Anim' Lune

Sciences géographiques dans l'antiquité

de Raymond D'Hollander

Préface de Suzanne Debarbat (distribué par l'Institut Océanographique – code SAF 7513)

Connaissance du monde – conception de l'univers, 2003 - 480 p.- ISBN : 2-901264-53-0

Ce livre, qui traite de l'évolution des sciences géographiques depuis la plus haute antiquité égyptienne jusqu'au 16^e siècle, est signalé dans une revue d'astronomie parce qu'il devrait intéresser les astronomes, y compris ceux qui ont été peu attirés par l'histoire de leur science ; ils en découvriront les prémices.

La place faite à l'astronomie est très importante car cette discipline est à l'origine de la géographie mathématique et ainsi de sa fille, la cartographie, qui, sans elles, n'existerait pas.

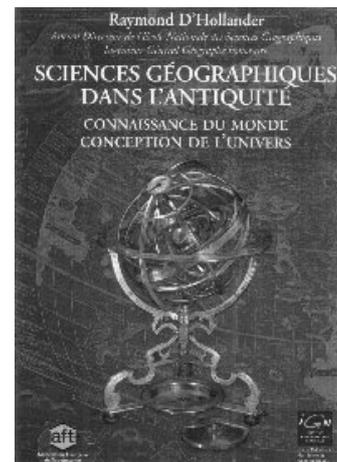
L'ouvrage décrit chronologiquement et d'une manière détaillée quelles étaient les connaissances de l'antiquité comme les apports lents et difficiles des savants et philosophes surtout ceux de culture grecque. Les travaux d'Eudoxe, Pytheas, Aristarque, Eratosthène, Hipparque, Ptolémée, entre autres, sont bien expliqués. On peut attirer l'attention sur l'analyse fine de la « Syntaxe mathématique » (Almageste) de Ptolémée qui est clairement faite.

Il montre aussi quelles furent les divergences d'opinions et l'évolution des concepts. Certes, ceux-ci ont conduit à des hypothèses parfois erronées, ce qui est caractéristique de l'évolution scientifique, mais utiles car elles menèrent à la modélisation et à la

création d'un outil mathématique suffisamment prédictif pour ces époques.

Bien entendu, ce livre traite dans des chapitres intéressants de la géographie, de la cartographie, de leur évolution et de leurs applications : topographie, tracé des routes, des aqueducs et canaux... ainsi que du problème difficile de l'orientation des mosquées.

Il comporte 22 chapitres et se termine par un Index comprenant 2500 termes et noms propres.



Le texte, très structuré, rassemble des connaissances dispersées dans de nombreux ouvrages et conduit ainsi à un savoir plus vaste et à une compréhension d'autant plus facile qu'il est suffisamment complet, clair et précis.

Les schémas et les illustrations sont bien adaptés et en nombre suffisant.

Les développements mathématiques nombreux peuvent rebuter certains esprits s'ils se contentent de feuilleter l'ouvrage ; en réalité, avec un peu d'attention, leur grande majorité est facilement compréhensible et la négligence de

certains calculs plus ardues n'empêche pas la compréhension du texte.

Cette publication d'esprit très moderne est un ouvrage de grande culture scientifique et historique.

Il ne faut pas oublier que si le savoir est fondamental, la culture qui le complète conduit assurément au développement de l'intelligence.

C'est pourquoi nous recommandons sa lecture.

J. Fort

Leçons de Marie Curie

Recueillies par Isabelle Chavannes,

Ed.: EDP Sciences, 91944 Les Ulis Cedex A

123p - 12,90 euros - ISBN: 2- 86883-635-6

Un jour, Rémi Langevin fut chargé par son grand-père de trier des vieux documents. Il trouva un classeur contenant des notes de cours prises par Isabelle Chavannes, sa grande tante qui avait suivi des cours élémentaires de physique donnés aux enfants d'un groupe d'amis par Marie Curie.

Ce petit livre retranscrit ces leçons. On y trouve les images des textes écrits de la main d'Isabelle Chavannes, alors âgée de treize ans. Ce livre est intéressant par la sélection des expériences proposées aux enfants par Marie Curie, physicienne et chimiste, deux fois lauréate du prix Nobel. On y décèle la rigueur, l'exigence et l'ingéniosité. La méthode pédagogique, faite de questions et de manipulations pratiques est aussi très instructive.

Ces quelques leçons portent sur les notions de masse, densité, pression. Je me suis amusé à refaire une des expériences avec un de mes petits enfants (expérience de l'œuf qui flotte dans de l'eau très salée et qui reste entre deux eaux quand on ajoute progressivement de l'eau douce).

Voici la liste des différentes leçons :

1. Où l'on distingue le vide de l'air
2. Où l'on découvre que l'air pèse sur les épaules
3. Où l'on comprend comment l'eau arrive au robinet
4. Où l'on apprend à peser
5. Où l'on mesure la densité de solides et de liquides
6. Où l'on mesure la densité d'objets de formes quelconques
7. Où l'on revoit le principe d'Archimède

8. Où l'on découvre comment faire flotter les bateaux

9. Où l'on fait flotter un œuf

10. Où l'on fabrique un baromètre.

Le livre m'a bien plu même si le contenu réel est assez mince (51 pages effectives, si on ne compte pas préface, postface et avant-propos). Mais l'émotion est quand même là car on sent la présence de cette femme admirable qu'était Marie Curie.

G.P.



Anim'Lune, un nouveau CD

La Société d'Astronomie Populaire de la Côte Basque (astrobasque.com) a créé un nouveau CD pédagogique (20€). Je l'ai acheté. Je l'ai essayé.

Ce CD propose de tout vous faire découvrir sur notre satellite: sa création, ses mouvements, ses phases, sa structure, son influence et les mythes qui lui sont attachés. Le CD est simple d'utilisation. Les animations sont claires.

J'ai bien aimé la description de la trajectoire de la Lune autour du Soleil (oui, je dis bien autour du Soleil). En effet, la Lune en tournant autour de la Terre effectue une trajectoire ondulante autour du Soleil.

J'ai moins aimé les fiches pédagogiques imprimables mais pas visualisables. J'aime bien voir ce que je vais imprimer. Même si à titre personnel je préfère un livre, le CD a un côté ludique qui peut plaire. Saluons au passage Victor Aguerre, un des auteurs et ancien du CLEA.

G.P.

■

EEA 2003 à Gap

Actions internationales

Un nouveau numéro Hors-Série

AG du CLEA à La Rochelle

L'École d'été d'astronomie à GAP

Francis Berthomieu a tiré quelques photographies de l'école d'été 2003. Vous y retrouverez l'ambiance sérieuse et joyeuse à la fois.



Photo 1: Cours introductif



Photo 2: Réflexion devant la sphère.



Photo 3: TP sur les taches solaires



Photo 4: Question de point de vue.



Photo 5: Le procès de Galilée - Galilée essaye de convaincre les grands inquisiteurs.



Photo 6: Photo de groupe avant le départ.

Actions internationales

Jean-Claude Pecker a reçu, comme membre de l'Institut, l'information de la création récente de l'*International Union of Science Communicators* (IUSC) dont le siège social est à Mumbai (naguère Bombay) en Inde. Il nous invite à adhérer à cette association. Après discussion au Conseil d'Administration (CA) et à l'Assemblée générale, il apparaît que la cotisation pour notre association serait beaucoup trop chère (plus de 1400 US dollars) en raison du nombre élevé de nos adhérents. En revanche, il a semblé intéressant qu'un représentant (par exemple le Président) adhère à titre individuel.

Monsieur Sivan Halevy a rédigé un rapport sur la possibilité de mettre en œuvre un projet d'astronomie en Palestine. Le projet vise à développer des animations en astronomie et à former des animateurs. L'idée que le CLEA aide à la réalisation d'une telle entreprise en fournissant gratuitement du matériel pédagogique a été acceptée au CA et à l'AG. Les personnes désireuses d'en savoir plus peuvent contacter Mr. Halevy (sivanh@free.fr)

Frédéric Dahringer a participé à la 7^{ème} « Summer School » de l'European Association for Astronomy Education (EAAE) qui s'est déroulée à Hall in Tirol (près d'Innsbruck) du 25 au 30 Août 2003 avec la participation d'enseignants de tous niveaux de 16 pays européens.

Pourquoi y participer ? Les raisons sont les suivantes : intérêt des conférences générales et des

travaux en ateliers, ambiance très conviviale (copie des écoles d'été du CLEA ? !), découverte des méthodes pédagogiques et des sensibilités des différents pays d'Europe (approches très techniques dans les pays du Nord, plus « gestuelles » pour ceux du Sud), échanges nombreux et faciles malgré la diversité des langues (notamment avec les collègues de l'Europe de l'Est), une belle façon de construire l'Europe !

La 8^{ème} Ecole d'été aura lieu aux Pays Bas, à De Glind, du 19 au 24 Juillet 2004. L'EAAE s'inscrit dans un projet Socrates. Les frais (inscription et séjour) peuvent être pris en charge. Pour plus d'informations, contacter le Rectorat de votre académie ou le site www.socrates-france.org et la responsable Rosa Maria. Ros, Professeur à l'Université de Barcelone (ros@mat.upc.es).

Un nouveau numéro Hors-Série

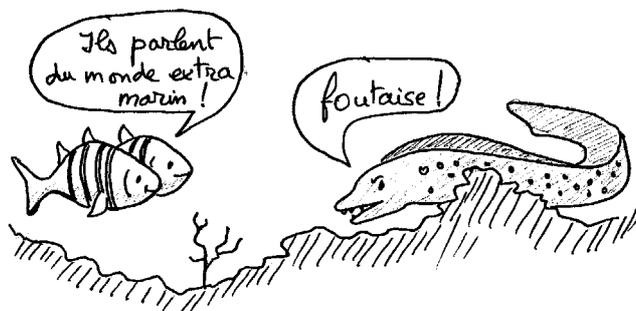
Pierre Causeret a finalisé le numéro Hors Série HS9 commencé avec Martine Bobin et quelques autres collègues du CLEA.

Ce numéro s'intitule: "Maths et Astronomie" et a été présenté au congrès des professeurs de math de l'APMEP, à Pau le 26 Octobre 2003.

Assemblée Générale du CLEA

Notre Assemblée Générale s'est tenue à La Rochelle, le 22 Novembre 2003, dans un cadre admirable, à l'Aquarium, sous le regard amusé des poissons, des tortues et des murènes.

Nous vous en donnerons le compte rendu détaillé dans le prochain Cahier. Disons tout de suite que tout s'est bien passé et qu'il a été très agréable de retrouver les collègues et les adhérents.



Petite mise au point sur les "aurores polaires" Préparation du transit de Vénus Mesure du rayon de la Terre Les saisons mal comprises Errata du CC103

Petite mise au point sur "Les aurores polaires"

Nous avons reçu un courrier de M. Fehrenbach au sujet de l'article de C. Larcher: « Les aurores polaires ». La lettre est intéressante car elle apporte des précisions complémentaires d'une grande finesse. Nous ne donnons pas la lettre *in extenso* mais nous donnons les passages les plus à même d'intéresser le lecteur.

M. Fehrenbach a eu la gentillesse de nous donner aussi une petite bibliographie sur le sujet. Nous la reproduisons intégralement.

Nous remercions notre collègue pour l'intérêt qu'il témoigne ainsi à notre revue. Voici donc l'essentiel des remarques avec quelques commentaires ajoutés à la suite d'un entretien téléphonique avec M. Fehrenbach:

Le champ magnétique terrestre

I-1 La partie est terminée par une figure qui n'est pas celle du champ magnétique terrestre,

Effectivement, la figure 1 donne l'aspect d'une couronne solaire qui n'a rien à voir avec le champ magnétique terrestre. C'est une erreur d'identification de fichier de notre part. La figure correcte du champ magnétique terrestre était donnée plus loin dans le texte.

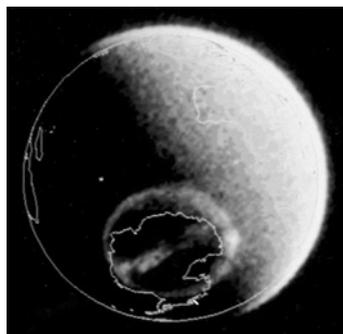
I-2 Il n'est pas donné de date pour les positions des pôles, Celles notées ne sont pas les actuelles.[...]

Effectivement, la position des pôles magnétiques varie au cours des années. La position actuelle du pôle magnétique nord, selon "Ressources naturelles Canada", est de 82,3°N de latitude et 113,4°W de longitude. (La position du pôle magnétique sud est approximativement 65°S de latitude et 138°E de longitude).

Section I-5 Le début est correct, mais lorsque l'auteur se met à parler des « cornets » [...] on retrouve les mots « défauts de cuirasse » sans explications. [...] On termine par une [...] erreur en positionnant les aurores au pôle. Elles existent bien au pôle mais ce n'est pas là qu'elles sont les plus intenses, c'est sur l'ovale auroral [...]

Les lignes de force du champ magnétique, même si elles n'étaient pas déformées par le vent solaire, présenteraient deux cônes (cornets) aux pôles magnétiques, par où les particules pourraient pénétrer. Mais, la section efficace de ces cornets est extrêmement faible et l'essentiel des particules qui sont responsables des aurores polaires arrivent, en fait, par un mécanisme compliqué (et semble-t-il encore mal connu) via des zones précises

entourant les pôles magnétiques, les ovales auroraux, connus depuis fort longtemps (19^{ème} siècle). Les ovales auroraux passent à 700 km ou 800km des pôles. Nous donnons ci-dessous une reproduction d'une photographie en ultraviolet réalisée par le satellite Dynamic Explorer (NASA) montrant l'ovale auroral sud (photographie disponible sur le site de l'Institut Astrophysique Spatiale:www.ias.fr).



Les effets de l'activité solaire

Section III-2 [...] pour les durées de vie ce n'est pas « de l'ordre de 0,90 à 110 s » mais très exactement de 0,7 s pour la raie verte de l'oxygène à 557,7 nm émise autour de 100 km, et de 110 s pour la raie rouge de l'oxygène à 630,0 nm, et 636,4 nm émise autour de 250 km, la valeur notée de 600,3 nm étant fautive.

La précision est importante car il y a deux valeurs possibles et non pas une plage de valeurs.

Petite bibliographie sur les aurores

- *Introduction à l'étude de la Luminescence Atmosphérique et de l'aurore Polaire* de D. Barbier
- *Introduction élémentaire à la physique cosmique et à la physique des relations Soleil-Terre* de JP Legrand, TAAF
- *International Auroral Atlas*, UGGI
- *Majestic Light* de Robert H. Eather, AGU
- *The Northern Light* de A..Brekke et A. Egeland, Springer-Verlag
- *Aurora* de Alister Vallance et Jones, Reide,
- *Atmospheric Emissions*, Nato Study 1968
- *Physics and Chemistry of Upper Atmosphere* de B.M. McCormac, Reidel, 1972
- *Exploration of the Polar Upper Atmosphere* de C. S. Deehr J. A. Holtet, Reidel
- *Aurora and Aiglow* de Chamberlain, Reidel
- *Histoire solaire et climatique* de E. Nesme-Ribes et G. Thuillier, Belin pour la science 2000

- *Du soleil à la terre* de J. Lilensten et P.L. Blelly, EDP Sciences 2000
- *Aurores boréales et australes* de M.Fehrenbach, G.Dawidowicz et R.Marion, GNL-Pôles d'images 2001
- *Sous les feux du soleil* de J.Lilensten et J.Bornarel, EDP Sciences 2001
- *Les Aurores* de Gérard Thuillier, revue L'Astronomie 2001 vol. 115.

Liste des principaux sites

- <http://www.geo.mtu.edu/weather/aurora/>
- <http://climate.gi.alaska.edu/curtis/curtis.html>
- <http://www.oulu.fi/~spaceweb/textbook/auroras.html>
- <http://gedds.pfrr.alaska.edu/aurora/>
- http://www-lpg.obs.ujf-grenoble.fr/photos_tromso.html



Différents aspects d'aurores polaires ©2000
Laboratoire de Planétologie de Grenoble – France
(CNRS/UJF)

C'est l'astronome Pierre Gassendi qui donna le nom d'aurore polaire aux lueurs qu'il put observer depuis la région de Digne en 1621 ! Marie-France Duval nous signale que l'activité solaire de ces derniers mois a donné lieu à des aurores polaires visibles de la région marseillaise.

Par ailleurs, notre président d'honneur J.C. Pecker, nous a demandé de veiller à ce que les sources des illustrations soient clairement

mentionnées. Effectivement, les références n'ont pas été données et nous nous en excusons. Les illustrations des pages 3 et 6 proviennent du livre de S. Vauclair, "La chanson du Soleil", publié aux éditions Albin Michel Sciences. Notons au passage que la théorie de l'émergence des taches est une théorie encore discutée. La figure de la page 5 est de J.C. Pecker (l'Astronomie Flammarion 1984, volume II, page 605).

Préparation du passage de Vénus

F. Berthomieu nous transmet l'appel à l'aide suivant:

"Je suis prof de physique en collège et je voudrais faire participer des élèves de 3ème à une manip sur le passage de Vénus de juin pour recalculer la valeur de l'U.A.. Des collègues de math sont aussi partants pour l'aventure.

J'aimerais aussi organiser, en parallèle, une observation "publique" (tous les élèves du collège, personnels et parents intéressés...) pour aider un maximum de personnes à ne pas rater ce spectacle rare. Plusieurs collègues sont tout prêts à aider.

Matériel disponible:

- collège: une petite lunette de 60 cm et un "Solarscope", et internet (normalement!).

- personnel: Un Schmidt-Cassegrain de 200, son filtre Astrosolar visuel, une toUcam (non modifiée) avec sa bague d'adaptation et un PC portable.

Quelle manip peut-on faire? Pour quelle exploitation en 3ème? (le site du CLEA renvoie sur celui de l'IMCCE qui est trop complexe pour nous. Help!)

Danièle Huot "

Comme nous l'annonçons ci-dessous, nous préparons le "transit de Vénus". Nous y avons déjà réfléchi lors de l'école d'été. Ce n'est pas simple. Nous essayerons de répondre à votre demande dans un dossier spécial du prochain cahier.

Mesure du rayon de la Terre

Un autre message d'un élève de Terminale S qui cherche un correspondant pour mesurer le rayon de la Terre par la méthode d'Eratosthène.

"Bonjour, je m'appelle Oussama Nahat, je vis à Djeddah Arabie Saoudite et je suis élève de Terminale S au lycée français de Djeddah.

Je suis intéressé par votre site et vos travaux, et pour cela j'aimerais participer en mesurant le rayon de la Terre par la méthode d'Eratosthène, qui nécessite deux lieux de mesure: le premier sera Djeddah et le second... (peu importe qu'il soit sur le même méridien ou pas).

Donc si vous connaissez des personnes à travers le monde qui aimeraient bien faire ces secondes mesures, veuillez me contacter s'il vous plaît.

Voilà, le message est passé. Si une personne souhaite donner suite à cet appel, qu'elle écrive à oussamanahat@hotmail.com.

Les saisons mal comprises

Dans un journal distribué à l'exposition permanente "La Terre & Le Temps" à Sisteron, on pouvait lire:

"Parce que l'orbite de la Terre autour du Soleil est une ellipse, sa distance par rapport au Soleil varie, ce qui donne naissance aux différents saisons".

Preuve que quelques phénomènes fondamentaux sont encore mal compris. Ceci étant rectifié, l'exposition est paraît-il fort intéressante selon notre ami C. Larcher qui a relevé cette coquille.

Errata du CC103

Notre ami Michel Bobin nous a communiqué quelques erreurs dans le CC103. Quelques corrections n'ont pas été effectuées, mystérieusement! Dans l'article concernant les expériences de Cavendish et de Boys il faut lire que le diamètre du fil de suspension utilisé par Boys était de 0,002 millimètres (et non pas centimètres). Dit autrement le fil de quartz utilisé par Boys avait un diamètre de 2 microns. Notons, entre parenthèses, que ce n'était pas un mince exploit!

Il y a aussi une erreur typographique. Disons bien que G, la constante de la gravitation universelle se mesure en $N.m^2.kg^{-2}$.

L'erreur de figure 1 concernant l'article "Les aurores polaires" a déjà été signalée (voir la petite "mise au point" ci-dessus).



ARTICLES A VENIR

Dans le prochain numéro (CC105) nous préparerons le "transit de Vénus" du 8 Juin 2004. Si vous avez des exercices, des propositions d'observation, des anecdotes ou autres, écrivez nous.

- 1) Histoire : A propos des heures planétaires
- 2) Et pourtant ils tournent ou les satellites artificiels
- 3) Une étude de l'Univers Local (suite et fin).
- 4) Voltaire et Newton
- 5) Au Soleil de Martinique
- 6) Transits de Mercure et de Vénus
- 7) Objectif Vénus (avec trois autres textes)
- 8) Réalisation : La réalisation de l'expérience de Cavendish (suite et fin)
- 9) Article de fond : Les ondes gravitationnelles
- 10) Travaux pratiques : La fabrication d'un petit pendule de Foucault en carton
- 11) Travaux pratiques : La détermination de la distance de la galaxie M31

En 2004 nous commencerons un cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique.

MATHS ET ASTRONOMIE Un nouveau Hors Série des Cahiers Clairaut

C'est le premier Hors Série spécifiquement destiné aux professeurs de mathématiques. Il est constitué de 9 fiches et de 6 diapositives.

Ce Hors Série de 64 pages contient plusieurs dizaines d'exercices regroupés par thème. Il s'agit pour certains d'exercices courts d'application directe (puissances de 10, vitesses, angles...), et pour d'autres de séries de questions plus longues permettant d'étudier un phénomène (horaires d'une éclipse de Lune, Vénus...).

Une fiche récapitulative indique les principales notions étudiées dans chaque exercice.

Les diapositives peuvent aider à traiter certains exercices en les projetant au tableau et en effectuant les tracés sur celui-ci (éclipses partielles, mouvement apparent...). D'autres serviront surtout à faire comprendre un phénomène (éclipse de Soleil) avant d'attaquer le problème. Il est envisagé de mettre rapidement sur le site du CLEA ces diapositives pour que les enseignants qui préféreraient utiliser un rétroprojecteur puissent les imprimer sur transparents.

Ce hors-série a été réalisé par notre regrettée Martine Bobin et par Pierre Causeret. Youri Gauthier a proposé quelques modifications et Jean Ripert a effectué une relecture complète et détaillée.

9 fiches pédagogiques

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Le mouvement apparent des étoiles | 6. Vénus |
| 2. Les saisons | 7. Repérage sur la sphère céleste |
| 3. Quelques calculs en astronomie | 8. Calendriers et lunaison |
| 4. Eclipses de Soleil | 9. Construction d'une carte du ciel |
| 5. Eclipses de Lune | |

6 diapositives

Grande Ourse et Polaire (fiche 1), Mouvement apparent du ciel avec Polaire (fiche 1)
Mouvement apparent du ciel sans Polaire (fiche 1), Eclipses partielles de Soleil (fiche 4)
Eclipses totales de Soleil (fiche 4), Eclipses partielles de Lune (fiche 5)

Prix adhérents : 12 €

Pour les non adhérents, ajouter 5 euros. Votre adhésion vous permettra de commander tous les autres documents du CLEA.

A commander à:

CLEA, laboratoire d'astronomie, Bâtiment 470, Université de Paris Sud, 91405 ORSAY Cedex

Adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr

Site Internet : www.ac-nice.fr/clea

Transparents animés pour rétroprojecteurs

(8 €)

- T1 Le TransSoluTe
(phases de la Lune et éclipses)
- T2 Les fuseaux horaires

Filtres colorés

Six feuilles de filtres colorés et
une feuille de réseaux (11 €)

CD Rom CLEA 2000

Sciences physiques en seconde
Programme 2000 (8 €)

DIAPPOSITIVES

Chaque série de 20 vues avec son livret
de commentaires (10 €)

- D1 Phénomènes lumineux
- D2 Les phases de la Lune
- D3 Les astres se lèvent aussi
- D4 Initiation aux constellations
- D5 Rétrogradation de Mars
- D6 Une expérience pour illustrer les saisons
(série de 8 vues 5 €)
- D7 Taches solaires et rotation du Soleil
- D8 Comètes

Publications du CLEA

Il faut être adhérent pour se procurer les
publications du CLEA. Les prix indiqués,
en euros, le sont port compris



Toute commande de documents est à
envoyer au siège du CLEA.
Laboratoire d'Astronomie, bât. 470
Université Paris Sud 91405 Orsay cedex

Chèques à l'ordre du CLEA.

Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

- HS1 L'astronomie à l'école élémentaire (10 €)
- HS2 La Lune niveau collège (10 €)
- HS3 Le temps, les constellations, niveau lycée (10 €)
- HS4 Astronomie en quatrième (10 €)
- HS5 Gravitation et lumière, niveau terminale (12 €)
- HS6 L'âge de la Nébuleuse du Crabe, niveau lycée,
avec 4 diapositives et 12 jeux de
2 photographies (16 €)
- HS7 Etude du spectre du Soleil (8 €)
- HS8 Etoiles variables (12 €)

Numéros hors série des Cahiers Clairaut réalisés
par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA

Cours photocopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université
Paris XI Orsay

- P1
Astrophysique générale (10 €)
- P2
Processus de rayonnement (5 €)
- P3
Structure interne
et évolution des étoiles (5 €)
- P4
Astrophysique solaire (5 €)

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2003

Adhésion au CLEA pour 2003 5 €
Abonnement aux CAHIERS CLAIRAUT n° 101 à 104 25 €
l'adhésion est indispensable pour tout achat de documents
y compris l'abonnement aux Cahiers Clairaut

Le numéro des Cahiers Clairaut 7 €
COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT des années antérieures :
 14 € par an du début (1978) à 1997 ; 17 € par an à partir de 1998.

Pour adhérer au CLEA et s'abonner aux Cahiers Clairaut, s'adresser à
Béatrice Sandré, trésorière du CLEA,
11, rue Couperin 91440 BURES SUR YVETTE. Chèque à l'ordre du CLEA

CLEA Laboratoire d'astronomie, bât 470
 Université de Paris Sud, 91405 ORSAY Cedex
 Tél / Fax : 01 69 15 63 80
 adresse électronique : clea.astro@astro.u-psud.fr
 adresse du site du CLEA : www.ac-nice.fr/clea

Publications

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1 - L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	7 €
2 - Le mouvement des astres	8 €
3 - La lumière messagère des astres	9 €
4 - Naissance, vie et mort des étoiles	10 €
6 - Univers extragalactique et cosmologie	9 €
7 - Une étape de la physique, la Relativité restreinte	16 €
8 - Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	10 €
9 - Le système solaire	14 €
10 - La Lune	10 €
11 - La Terre et le Soleil	12 €
12 - Simulation et astronomie sur ordinateur	8 €

Trois livrets (40 pages en quadrichromie), 1 CDrom et 1 DVD en exclusivité pour le CLEA :

● Livrets "Terre, Planète à Protéger" (par J. diMeglio, géophysicienne) et "L'univers Astronomique" (par A. Acker et J.Cl. Pecker) – Format A5 – Prix unitaire = 1,2 € HT

Livret "La Terre et son Univers en 7 animations" (par M. Dumas) - A4 - Prix unit. = 2,5 € HT

→ **Offre Spéciale = 36 € pour 10 de chacun des livrets (30 en tout) soit chaque livret à 1,2 € HT**

● CDrom "Terre, planète à protéger" (avec animations sonores, vidéos et images) pour 8 € HT

● DVD "40 ans de l'ESO" (d'après un film de 52 min) pour le prix exceptionnel de 4 € HT

(+TVA=5,5%). Merci de vous adresser à Laurence DEMOND/ APLF- Observatoire de Strasbourg
 11, rue de l'université - 67000 Strasbourg (Fax 03 90 24 24 17) e-mail : aplf@astro.u-strasbg.fr

Directeur de la publication : Georges Paturel
 Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

dépôt légal : 1^{er} trimestre 1979
 numéro d'inscription CPPAP : 61660
 prix au numéro : 7 €