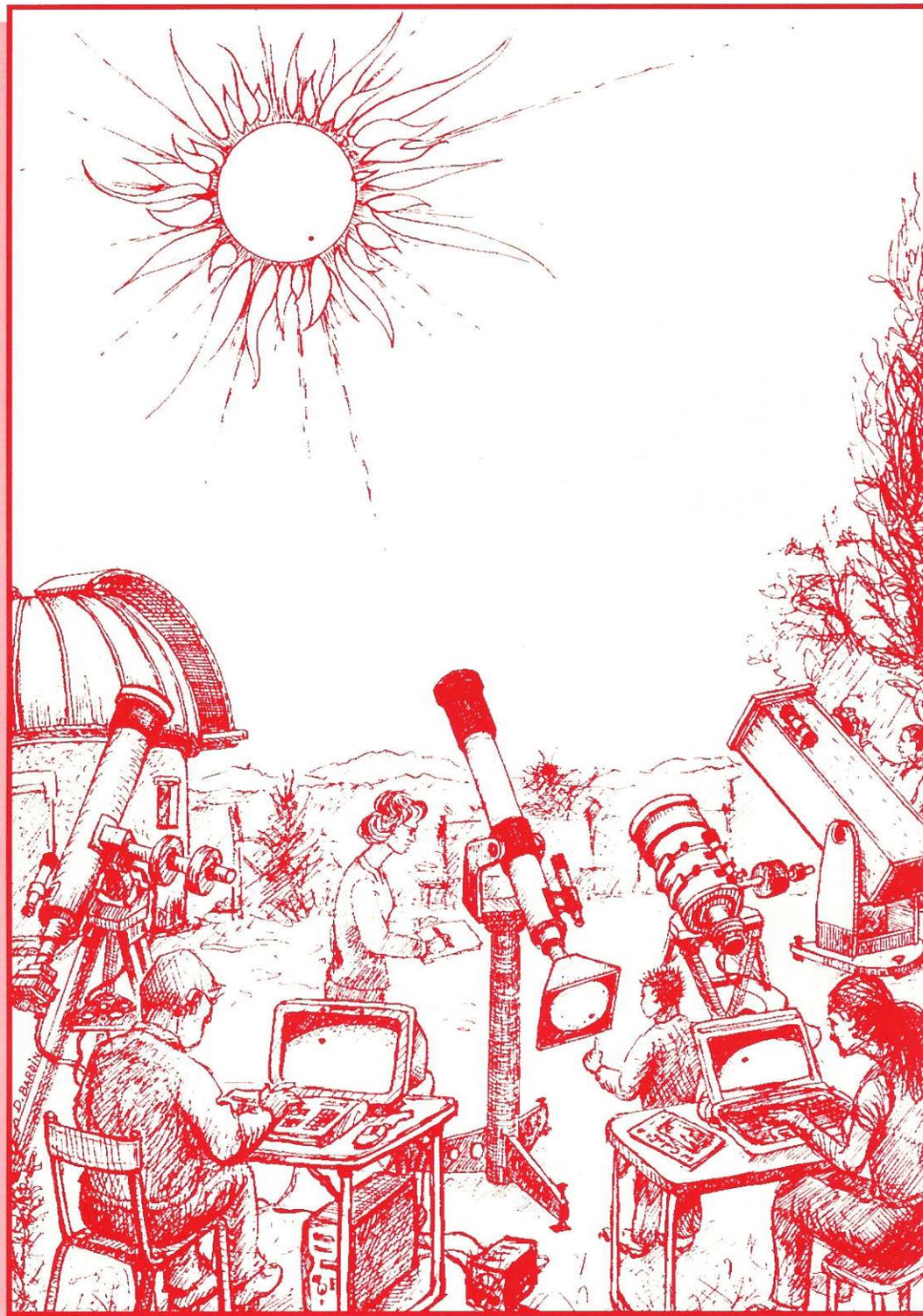


Bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

Cahier Clairaut



numéro 108 - HIVER 2004-2005

ISSN 0758-234X

Comité de liaison enseignants astronomes

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

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

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

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



Pour toute information s'adresser au siège du CLEA :

Laboratoire d'Astronomie, bât. 470

Université Paris Sud 91405 Orsay cedex

Tél./fax : 01 69 15 63 80

Adresse électronique :

CLEA : clea.astro@astro.u-psud.fr

Secrétaire : jean.a.ripert@wanadoo.fr

Le CLEA est présent sur internet à l'adresse :

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

Bureau du CLEA pour 2004

Présidents d'honneurs

Lucienne Gouguenheim,

Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Gilbert Walusinski

Président

Georges Paturel

Trésorière

Béatrice Sandré

Trésorier Adjoint

Jacky Dupré

Rédacteurs des Cahiers

Georges Paturel

Chantal Petit

Secrétaire

Jean Ripert

Secrétaire Adjointe

Cécile Ferrari

Responsable du site web

Francis Berthomieu

Comité de rédaction

des Cahiers Clairaut

Daniel Bardin

Francis Berthomieu

Michel Bobin

Lucette Bottinelli

Pierre Causeret

Frédéric Dahringer

Jacky Dupré

Charles-Henri Eyraud

Jean-Luc Fouquet

Lucienne Gouguenheim

Marie-Agnès Lahellec

Christian Larcher

Colette Le Lay

Lucette Mayer

Philippe Merlin

Georges Paturel

Jean Ripert

Josée Sert

Jean-Noël Terry

Daniel Toussaint

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2004 n° 108

EDITORIAL

Avec ce numéro se termine le dossier du transit de Vénus. Ce fut un grand succès qui nous a montré que les amateurs d'aujourd'hui pouvaient faire mieux que les astronomes professionnels d'il y a un siècle et que la détermination de la distance Terre Soleil était accessible à de jeunes lycéens grâce au progrès de la technique (photo numérique, horloge à quartz, réseau internet).

La mobilisation qui s'est produite autour de cet événement exceptionnel fut exemplaire. En 2005, l'année mondiale de la physique nous offrira, je l'espère, une autre opportunité pour une démarche semblable.

N'hésitez pas à nous faire part de vos réalisations, de vos découvertes. Les Cahiers Clairaut sont faits pour votre expression.

La Rédaction

patu@obs.univ-lyon1.fr

Cours

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique
IV – Les mouvements elliptiques (suite)
G. Paturel p. 2

Histoire

Sur une idée de Fontenelle
P. Leriche p.9

Documents anciens

La galaxie d'Andromède photographiée
G. Paturel p.11

Histoire

Nicole-Reine Lepaute et l'Hortensia
G. Boistel p.13

Observations

La chasse aux flashes d'Iridium
J.N. Terry p.18

Avec nos Elèves

Référentiels et mouvements de satellites
I – Introduction à l'aide d'une maquette 3D
P. Le Fur p.20

Reportage

Visite aux archives de l'Académie des Sciences
G. Paturel p.25

Histoire

Jean-Paul Grandjean de Fouchy
D. Abouaf p.26

DOSSIER :

Transit de Vénus

Exploitation des images fournies par le réseau GONG lors du passage de Vénus devant le Soleil.
F. Bertomieu p.27

Présentation de la méthode des contacts

G. Paturel p.29

Analyse des observations des contacts

J.E. Arlot et P. Rocher p.30

Un peu d'histoire : III - Les observations du transit de Vénus de 1874/1882

J.N. Terry p.32

Fiche pédagogique du CLEA

Calculer la distance du Soleil à partir du passage de Vénus du 8 juin

P. Causeret, T. Derolez, G. Dodray p.34

RUBRIQUES FIXES

• *Remue-méninges* p.37

• *Lectures pour la Marquise* p.37

• *La vie associative* p.38

• *Courrier des lecteurs* p.40

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique : IV - Les mouvements elliptiques

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé: Dans ce cours, nous montrons comment Kepler a trouvé que les orbites des planètes n'étaient pas des cercles parfaits. Il fallait pour ce faire qu'il ait une grande confiance dans la qualité des mesures de son maître, Tycho Brahé. Pour utiliser les mesures originales, nous sommes amenés à définir les systèmes de coordonnées. Nous verrons ainsi que la vitesse de révolution de la Terre autour du Soleil n'est pas constante et que la définition du temps en est affectée.

Mots-clefs : COURS - LOI - MECANIQUE

Introduction

Qu'avons-nous appris lors des trois premiers cours ? Nous avons compris comment, le mouvement de rotation de la Terre sur elle-même et son mouvement de révolution autour du Soleil pouvaient expliquer l'alternance du jour et de la nuit avec un rapport entre le jour et la nuit dépendant de la saison. Nous avons compris que la saison chaude était due essentiellement à la durée d'ensoleillement et à la hauteur du Soleil par rapport à l'horizon. Nous sommes même allés plus loin ; grâce à Kepler, Galilée et Newton nous avons été capables de comprendre l'origine de la relation qui lie la distance d'une planète à sa période de révolution. Il est donc possible de prévoir, en principe, la position des différentes planètes dans le ciel. Qu'avons-nous encore à apprendre pour expliquer les mouvements des astres ?

Le progrès, par l'exigence croissante qu'il engendre, nous pousse à approfondir encore nos connaissances. Plus la science progresse, plus le nombre de questions nouvelles augmente, car chaque nouvelle découverte ouvre la porte à de nouvelles interrogations. Nous pourrions nous contenter de ce que nous savons déjà. Cependant les observations méticuleuses de Tycho Brahé révélèrent à Kepler que la trajectoire d'une planète

ne pouvait pas se représenter par un cercle. Ce fut une grande surprise pour l'époque car le cercle était considéré comme une figure géométrique parfaite. Il fallait beaucoup d'audace pour abandonner cette vision. Mais les mesures l'imposaient. Nous allons essayer de nous en convaincre.

Mais avant nous devons apprendre à mesurer la position des astres. Et pour cela nous devons parler de systèmes de coordonnées ; ensuite seulement nous pourrions revenir aux mesures de Tycho Brahé.

Système de coordonnées

La position d'un astre sur le ciel est définie de manière conventionnelle par ce qu'on appelle un système de coordonnées. Aujourd'hui la chose nous paraît naturelle. Cela n'a pourtant pas toujours été le cas.



Figure 1 : la galaxie Messier31 repérée par la constellation d'Andromède et des Poissons (Ismaël Bouillaud, 1667 - reproduction libre inspirée de "Introduction à la cosmologie- Jean Heidmann, PUF, 1973)

Les astronomes utilisaient les constellations, figures construites en réunissant les étoiles, par la pensée, pour constituer une forme imaginaire. Une histoire mythologique greffée sur ces formes donne une pauvre justification mais un bon moyen mnémotechnique. Nous aurons l'occasion d'y revenir quand nous parlerons d'observation. La grande galaxie d'Andromède, Messier 31, était ainsi définie comme l'objet flou situé sous le bras d'Andromède, d'où son nom (Figure 1).

Mais pour désigner un astre sans ambiguïté il fallait une définition plus précise. Les planètes, objets errants comme l'étymologie nous le dit, ne sont jamais à la même place ; il fallait bien avoir recours à un moyen rationnel de repérage.

Les astres semblent piqués, tous à la même distance, sur la sphère céleste. Leur direction nous suffira pour définir leur position. Il s'agit donc de repérer un point sur une surface. De même que sur une feuille de papier (Figure 2) il faut deux grandeurs (les deux coordonnées) pour trouver un point quelconque de la feuille, il nous faut deux coordonnées pour trouver un point quelconque de la sphère céleste. Sur une feuille de papier on peut mesurer la position d'un point, par sa distance au bord gauche et sa distance au bas de la feuille.

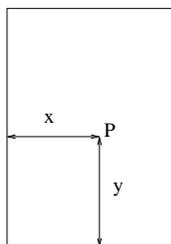


Figure 2 : Repérage sur une surface : deux coordonnées, par exemple x et y , suffisent.

Comment faire sur la sphère céleste ? C'est un peu plus compliqué (Figure 3). Il faut d'abord se donner un plan de référence qui définit un grand cercle sur la sphère dont l'observateur occupe le centre. Nous pourrions mesurer l'angle entre le plan de référence et la direction de l'astre. On peut par exemple mesurer l'angle de 0 à $+90^\circ$ pour les points au-dessus du plan et de 0 à -90° pour les points au-dessous. Mais que signifie "au-dessus" ou "au-dessous". Nous devons le définir en adoptant une convention. Nous définirons, selon la nature du plan, un nord, ou un zénith, enfin toute appellation qui définira un "au-dessus". Dans ce qui suit, nous lui donnerons, le terme générique de direction du **pôle nord**. De même, l'angle entre le plan de référence et la direction de l'astre sera désigné par

latitude. Malheureusement, cela ne suffit pas encore. En effet, à une latitude donnée nous n'avons pas un seul point mais une infinité de points formant un "petit" cercle, de même que sur une feuille de papier, à une distance donnée du bas de la feuille il y a une infinité de points.

Une façon de lever cette dernière ambiguïté est de définir précisément le point sur le petit cercle en comptant depuis une origine choisie arbitrairement. Mais le petit cercle n'est pas le même pour tous les astres. Cette difficulté est facilement levée si nous définissons un demi-plan origine, perpendiculaire au premier, passant par l'observateur et contenant l'astre à mesurer. Il nous suffit donc de mesurer la direction de ce demi-plan (de 0 à 360°) par rapport à l'un de ces demi-plans, arbitrairement choisi comme origine. Dans la suite, nous désignerons cet angle par le terme générique de **longitude**. Il est facile de voir que la définition du demi-plan origine peut se faire simplement en choisissant une direction origine dans le plan de référence, à partir de la position de l'observateur. Est-ce tout ce dont nous avons besoin pour définir un système de coordonnées ? Non. Nous devons encore définir le sens dans lequel nous compterons cette longitude. Ce dernier choix aurait pu être évité si nous avions adopté une convention disant par exemple que le sens de la longitude était défini à partir de la direction "dessus" du plan de référence (règle par exemple du bonhomme d'Ampère). Mais cette convention n'a pas été adoptée car les systèmes de coordonnées ont été définis empiriquement sur des habitudes anciennes.

En résumé, définir un système de coordonnées revient à définir trois choses pour l'observateur : une direction du pôle nord (cette position définira le plan de référence), une direction origine dans ce plan et un sens des angles par rapport à cette origine.

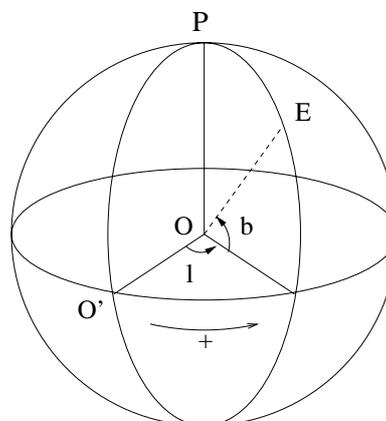


Figure 3 : Les éléments définissant un système de coordonnées sur la sphère céleste

Vous pensez sans doute que ce que nous venons de définir est la seule méthode possible. Sans doute c'est la méthode la plus logique. Pourtant certains astronomes ont utilisé une autre façon de repérer les astres sur le ciel. L'explication dépasserait ce cours élémentaire mais nous pouvons expliquer en quoi le système que nous venons de voir n'est pas totalement satisfaisant pour les très grands catalogues. A un pôle, la coordonnée "longitude" n'a pas de signification. Si vous avez trié votre catalogue selon cette longitude et que vous recherchez un astre situé à un pôle, vous devez balayer tout le catalogue pour trouver l'objet, car toutes les longitudes peuvent s'y trouver. Si le tri avait été fait selon l'autre coordonnée (latitude), la situation serait moins dramatique mais néanmoins la recherche d'un astre, à l'équateur cette fois-ci, serait difficile, car le nombre d'objets y serait très grand pour un même intervalle de latitude. Evidemment ce genre de difficulté n'apparaît que pour des catalogues de plusieurs millions d'astres.

Les différents systèmes de coordonnées

Il existe différents systèmes de coordonnées adaptés aux différentes études envisagées. Par exemple on peut définir les **coordonnées horizontales** à partir du plan de l'horizon de l'observateur et de la direction du sud, comme origine des longitudes. Pourrait-on construire un catalogue dont les étoiles seraient repérées dans un tel système de coordonnées ? Evidemment non, car, les coordonnées ne seraient valables que pour ce lieu et pour l'instant d'observation.

Comment faire pour qu'un astre ait des coordonnées invariables, propres à être enregistrées dans un catalogue ? Tout d'abord, le plan de référence doit être lié à la Terre et être le même pour tous les observateurs : le plan de l'équateur terrestre remplit bien cette fonction. Il est unique et connu : c'est un plan perpendiculaire à la direction du pôle nord, à peu près matérialisé par la direction de l'étoile polaire. Maintenant, comment choisir l'origine des longitudes pour que les rendre indépendantes du temps ? Cette direction doit, par définition, être dans le plan de l'équateur. Y a-t-il une direction remarquable ? Eh bien oui ! L'intersection du plan équatorial et du plan de l'écliptique définit une droite qui est fixe par rapport aux étoiles puisque les deux plans sont fixes (cf. CC106, p6).

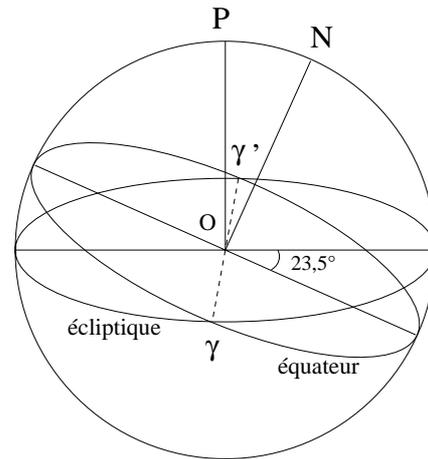


Figure 4 : Intersection écliptique, équateur

A partir de la position de l'observateur, cette droite définit deux directions (voir Figure 4) : l'une $O\gamma'$ dans est la direction occupée par le Soleil lors de l'équinoxe d'automne, l'autre, $O\gamma$, est la direction occupée par le Soleil à l'équinoxe de printemps. Nous avons déjà rencontré ces directions dans le deuxième cours. Laquelle de ces deux directions choisir comme origine des longitudes ? Par convention c'est la direction $O\gamma$ qui a été choisie. Comme $O\gamma$ est à la fois dans le plan de l'équateur et dans le plan de l'écliptique, cette direction nous servira d'origine pour les **coordonnées équatoriales** et également pour les **coordonnées écliptiques**. Dans le cas des coordonnées équatoriales les "longitudes" s'appellent les ascensions droites et les "latitudes" les déclinaisons. Pour les coordonnées écliptiques on parle tout simplement de longitudes et latitudes écliptiques. Dans ces deux systèmes, le "dessus" du plan de référence est donné par le pôle nord terrestre. Les longitudes écliptiques et les ascensions droites sont toutes deux comptées dans le sens direct, le sens contraire des aiguilles d'une montre. Nous aurons l'occasion de revenir sur les coordonnées équatoriales dont l'utilisation est fondamentale pour le pointage des instruments d'observation.



Le point γ dans la constellation des poissons

Le point γ , origine des longitudes, est situé dans la constellation des Poissons, mais cette information ne suffit pas pour trouver sa position précisément, car il n'y a pas d'étoile dans cette direction. Dommage ! Ce point tourne en même temps que les étoiles, du fait de la rotation de la Terre. Vous allez sans doute dire que ce point décrit donc un tour en vingt-quatre heures de nos montres ? Je suis désolé de vous décevoir mais ce n'est pas tout à fait exact. Et nous allons préciser cette nouvelle notion, très importante.

Temps solaire et temps sidéral

Nous définissons le temps à partir de la rotation de la Terre¹. Comment fait-on ? Visons le Soleil, dans une direction donnée, en prenant un repère terrestre (par exemple avec les coordonnées horizontales). Du fait de la rotation de la Terre, le Soleil ne restera pas dans cette direction. Après une journée nous le retrouverons dans la même direction. Nous décrèterons qu'il s'est écoulé 24 heures "solaires" (basées sur le Soleil).

Si au lieu de choisir le Soleil, nous avons fait la même chose avec une étoile autre que le Soleil, nous aurions défini 24 heures "sidérales" (basées sur une étoile). Ces 24 heures sidérales sont-elles égales aux 24 heures solaires ? La réponse est non, car pendant la mesure, la Terre a tourné autour du Soleil (Figure 5) ; la direction initiale, repérée dans mes coordonnées horizontales aura changé, dans un repère attaché au Soleil (coordonnées écliptiques). La chose est facile à comprendre en examinant la figure ci-dessous.

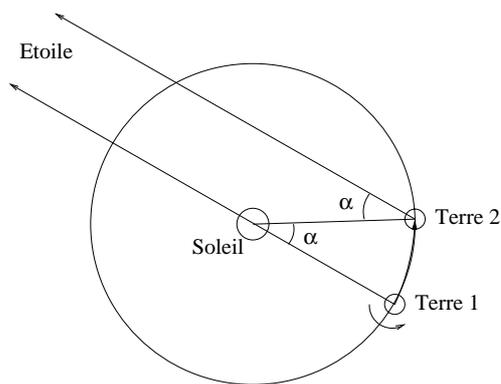


Figure 5 : Relation entre temps sidéral et temps universel. Pour juger que la Terre a effectué un tour sur elle-même, il faut prendre une direction de référence (Soleil ou étoile). La durée dépend de ce choix à cause de sa révolution autour du Soleil.

¹ Ce n'est plus le cas aujourd'hui car nos horloges atomiques sont plus régulières que ne l'est la rotation de la Terre.

En une révolution complète (c'est-à-dire 365 jours) le temps solaire aura perdu un tour (24 heures) sur le temps sidéral. Le temps sidéral avance plus vite de $24/365 = 0.0658$ heure par jour, soit 3min56s. Le point γ qui, redisons le, est notre origine des longitudes écliptiques ou équatoriales, fait un tour en 24 heures de temps sidéral. La position du point γ donne le temps sidéral. Inversement, une horloge donnant le temps sidéral nous permet à tout moment de connaître la position du point γ dans le ciel. Si vous visitez un observatoire traditionnel, vous y verrez deux horloges, aucune ne donne l'heure de votre montre : la première horloge donne le temps universel (temps solaire moyen à Greenwich) ; la deuxième donne le temps sidéral. Notez bien le mot "moyen". Il cache une petite complication que nous ne tarderons pas à comprendre.

Nous avons tous les éléments nécessaires à la poursuite de notre étude des mouvements. Revenons donc à notre histoire, à Tycho Brahé et à Kepler.

Les mesures de Tycho-Brahé

Tycho-Brahé avait accumulé les observations de la planète Mars. Il avait ainsi les positions très précises à la minute d'angle près sur un laps de temps d'au moins dix ans. C'était un travail remarquable. Réussir à mesurer un angle d'un soixantième de degré n'est pas chose facile. Pour vous en convaincre, regardez votre rapporteur. Les plus petites divisions sont de un degré (parfois un demi degré). C'est déjà très petit.

Tycho-Brahé n'exploita pas ses données. Il les garda même jalousement sans les faire partager à son jeune et génial collègue Kepler. Peut-être avait-il compris quelle révolution se cachait dans ses données. Quand il mourut, Kepler hérita de ce trésor qu'il sut magnifiquement exploiter. C'est l'extrême confiance en la qualité des mesures de son maître qui permit à Kepler de se convaincre qu'il y avait quelque chose de nouveau. Comment procéda-t-il ?

Tycho-Brahé avait enregistré les longitudes écliptiques de Mars. Le choix de coordonnées écliptiques était très naturel. En effet les planètes sont toutes très proches de ce plan. On peut dessiner sur une même feuille de papier, la trajectoire de la Terre, et la trajectoire de Mars, Le Soleil occupant le centre (puisque nous faisons, avec Kepler, l'hypothèse que le système du monde est héliocentrique).

Parmi toutes les mesures de Tycho-Brahé, Kepler a pu trouver des paires de mesures faites à 687 jours d'intervalle. Pourquoi donc ? Depuis la Terre, on peut observer Mars et voir quand la planète revient à la même position par rapport aux étoiles. Mars est-elle donc revenue au même point de l'espace ? Non, car la Terre, n'étant plus à la même place, le point de vue a changé. Entre ces deux observations il s'est écoulé un temps S , qu'on appelle la période **synodique**. Pour Mars cette période est de 780 jours. Comment trouver la vraie période, celle que nous mesurerions depuis une étoile extérieure et que l'on appelle pour cette raison, la période **sidérale** P . Le calcul n'est pas difficile. Nous avons déjà expliqué (CC105 p26) comment déterminer la période sidérale à partir de la période synodique, dans le cas d'une planète intérieure (planète plus proche du Soleil que ne l'est la Terre). Le calcul est assez semblable. Amusez vous à le refaire et vous trouverez que :

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{365.25} - \frac{1}{S}$$

Avec $S=780$ jours, vous trouverez que Mars revient exactement au même point de sa trajectoire après un temps $P=687$ jours. Ce genre de calcul était familier à Kepler. C'est ce qui explique qu'il ait constitué des paires de mesures avec cet intervalle de temps. Nous reproduisons les mesures utilisées par Kepler².

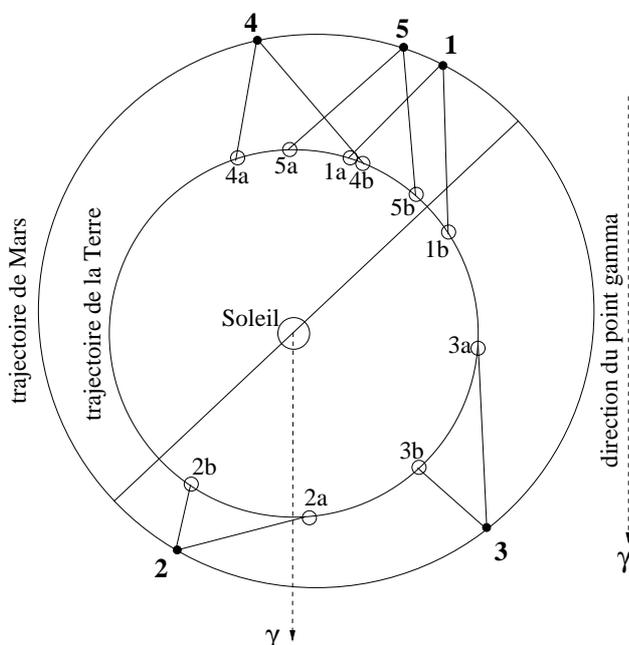


Figure 6 : La construction de Kepler avec des paires de points.

² Mesures rassemblées par l'astronome O. Gingerich

Tableau : Longitudes écliptiques du Soleil et de Mars utilisées par Kepler.

	date	l_{Soleil} (degrés)	l_{Mars} (degrés)
1a	17 Fev. 1585	339.38	135.20
1b	05 Jan. 1587	295.35	182.13
2a	19 Sep. 1591	185.78	284.30
2b	06 Aou. 1593	143.43	346.93
3a	07 Déc. 1593	265.88	3.07
3b	25 Oct. 1595	221.70	49.70
4a	28 Mar. 1587	16.83	168.20
4b	12 Fev. 1589	333.70	218.80
5a	10 Mar. 1585	359.68	131.80
5b	26 Jan. 1587	316.10	184.70

Vous voyez sur la Figure 6 que par ces observations Kepler a pu donner la position de Mars pour chacune des paires de mesures, en supposant la Terre se déplaçant régulièrement sur une orbite circulaire (ce qui est une bonne approximation, mais Kepler avait pu aussi tracer la forme de l'orbite terrestre). Avec la date on peut placer la Terre aux emplacements exacts sur son orbite autour du Soleil. Regardez, par exemple, le point 5a. Il correspond au 10 mars 1585, une dizaine de jours avant l'équinoxe de printemps. Vu depuis 5a le Soleil est presque dans la direction du point γ . La direction du Soleil vue depuis le point 2a (19 septembre) nous donne presque la direction du point γ . En construisant les cinq positions de Mars pour les cinq paires de mesures, Kepler a vu que le Soleil n'était pas au centre de la trajectoire de Mars. L'excentricité (écart entre le centre réel et la position du Soleil, rapporté à la mesure du rayon maximal) est de 0.09, presque dix fois celle de la Terre. C'est ainsi que Kepler a pu faire l'hypothèse que la trajectoire de Mars était bien représentée par une ellipse. Il a constaté aussi que la vitesse de déplacement des planètes n'était pas constante. Quand la planète est loin du Soleil sa vitesse est plus faible. Mais alors, me direz vous, c'est aussi vrai pour la Terre et le temps, mesuré par la position du Soleil, va être affecté d'une variation traduisant les changements réguliers de vitesse de la Terre sur son orbite. Examinons cette question qui a un effet direct sur la mesure précise du temps.

L'équation du temps

Nous venons de comprendre que le mouvement apparent du Soleil n'est pas uniforme tout au long de l'année car la Terre ne se déplace pas sur un cercle à une vitesse bien uniforme. On peut définir un **Soleil moyen** qui lui, aurait un mouvement

uniforme. L'hiver le Soleil vrai prendrait de l'avance sur le Soleil moyen car la Terre étant plus proche du Soleil, sa vitesse est plus grande (deuxième loi de Kepler). Le Soleil passe donc plus vite et la durée vraie des 24 heures solaires est plus courte que les 24 heures que nous aurions mesurées avec une horloge bien régulière. L'été ce serait l'inverse. Le temps apparent devrait fluctuer par rapport au temps vrai selon une belle sinusoïde³, bien symétrique (courbe en tirets sur la figure 8). Je dis "devrait" car en fait un autre phénomène, aussi important, se superpose à celui-ci. Expliquons le.

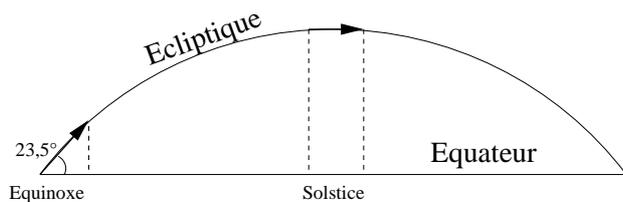


Figure 7 : Effet de projection de la vitesse orbitale du Soleil sur l'équateur.

C'est la rotation de la Terre sur elle-même qui fixe la durée de 24 heures. On gradue les heures sur l'équateur alors que tout au long de l'année le Soleil se déplace sur l'écliptique qui fait un angle de 23,5° avec l'équateur. Aux solstices (juin et décembre) le déplacement du Soleil sur l'écliptique est parallèle à l'équateur (revoir le ballon du deuxième cours). Aux équinoxes (mars et septembre) le mouvement apparent du Soleil est incliné de 23,5° sur l'équateur. Le déplacement apparent, étant la projection sur l'équateur, il sera variable (Figure 7). Cet effet de projection produit un décalage lui aussi bien représenté par une sinusoïde (courbe en pointillés sur la figure 8), avec des maxima en mars et septembre (aux équinoxes) et des minima en juin et décembre (aux solstices). La fréquence de cette deuxième courbe est donc double de la première puisque deux fois par an l'effet de projection est le même.

La variation globale dont nous parlons peut paraître faible. Elle est de l'ordre de 15 minutes en plus ou en moins du temps moyen. Mais 15 minutes de temps correspondent à une erreur d'angle de 3,75 degrés. Vous voyez que ce n'est pas du tout négligeable quand on se pique de faire des mesures à la minute d'arc près.

³ La loi de variation est un peu plus compliquée mais en première approximation il s'agit effectivement d'une loi sinusoïdale.

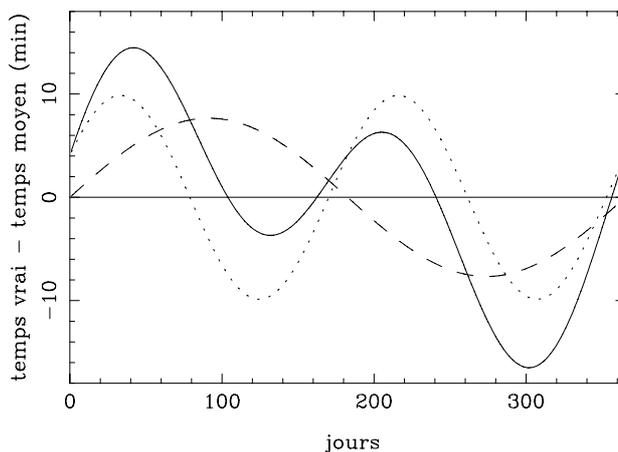


Figure 8 : l'équation du temps résulte de la superposition de deux phénomènes approximativement sinusoïdaux : la variation de la vitesse orbitale de la Terre et l'effet de la projection de cette vitesse sur l'équateur.

Donnons les équations approximatives des deux sinusoïdes qui composent l'équation du temps.

Pour l'effet de la variation de vitesse de la course apparente du Soleil on a l'écart :

$$\Delta t_1 = 7,66 \sin(0.0172 j) ,$$

où j est le numéro du jour de l'année et où l'écart est donné en minute de temps. En réalité il faudrait compter depuis le 3 janvier car c'est le 3 janvier que la Terre passe à son périhélie.

Pour l'effet de projection l'écart est (en minute de temps):

$$\Delta t_2 = -9.86 \sin(0.0344 j - 2.7144)$$

Les variations globales entre le temps vrai et le temps moyen sont données par : $\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$, c'est ce qu'on appelle l'équation du temps.

Pour conclure avec les orbites elliptiques, nous donnons, dans l'encadré ci-dessous, les éléments qui permettent de définir complètement la trajectoire d'un astre par rapport à un plan de référence. Ceci s'applique à la définition de la trajectoire d'une planète par rapport à l'écliptique.

Quand ces éléments sont connus, il est possible de calculer la position de l'astre, à tout instant du jour et de la nuit. Nous verrons dans les pages qui suivent l'intérêt de la chose à propos du transit de Vénus.

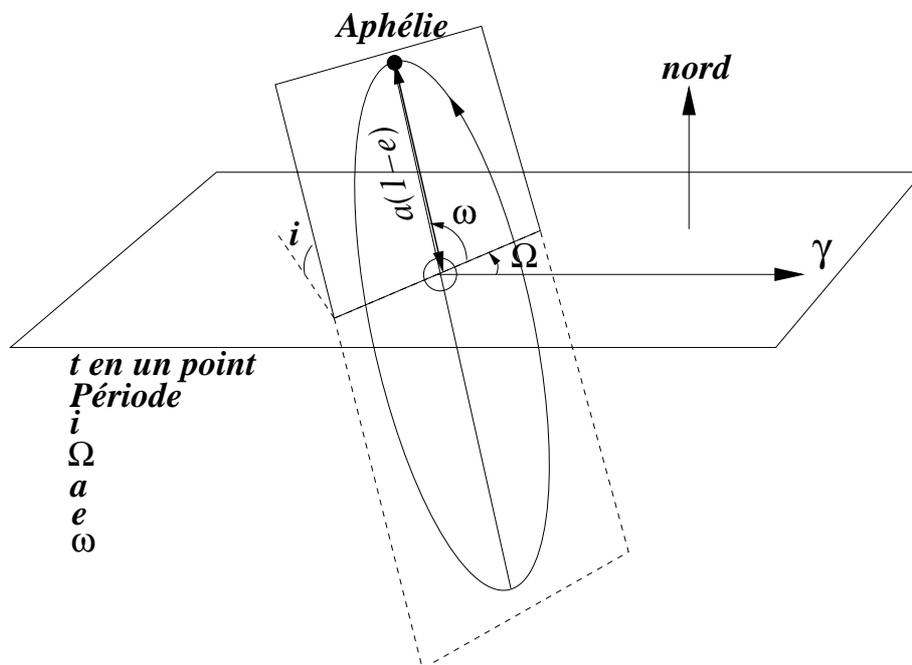
Les éléments d'une orbite elliptique

Quel est le nombre minimum de paramètres nécessaires pour définir parfaitement une trajectoire elliptique ? Avant de considérer le cas général, commençons par celui d'une trajectoire circulaire simple. La réponse est assez intuitive. Il faut définir le plan de la trajectoire, son centre, son rayon, la période de révolution et le temps de passage en un certain point quelconque de la trajectoire. Donc, une orbite circulaire est définie par cinq éléments.

Dans le cas d'une orbite elliptique, le rayon est remplacé par le demi grand axe, le centre est remplacé par un foyer de l'ellipse. Mais il faut définir deux éléments supplémentaires : l'aplatissement de l'ellipse (par exemple le rapport de son demi grand axe à son demi petit axe) et la direction de son périastre. Notons que la direction de son grand axe n'est pas équivalente à la direction du périastre car il resterait l'indétermination du choix d'un des deux foyers de l'ellipse. Au total sept éléments sont donc nécessaires. Différents choix sont possibles. Par exemple au lieu de définir l'aplatissement de l'ellipse b/a on peut définir son excentricité e . On rappelle en effet que $(b/a)^2 = 1 - e^2$.

Pour les orbites d'une planète on choisit conventionnellement les sept éléments suivants :

- a*** Le demi grand axe (par exemple en unité astronomique) ;
- e*** L'excentricité, distance entre le centre et un foyer, divisée par le demi grand axe ;
- i*** L'inclinaison entre le plan de l'écliptique et le plan de la planète considérée ;
- Ω** Longitude écliptique du nœud ascendant (la direction du nœud ascendant est la direction définie sur la droite d'intersection du plan de l'écliptique et du plan de l'orbite de la planète, dans la direction où la planète passe de l'hémisphère écliptique sud à celui du nord) ;
- ω** L'angle entre la direction du nœud ascendant et la direction du périastre. Cet angle est mesuré dans le plan de l'orbite de la planète et est compté positivement dans le sens du mouvement ;
- T*** Temps de passage au périhélie ;
- P*** Période sidérale de révolution.



SUR UNE IDEE DE FONTENELLE

Pierre LERICH

Résumé : Avec ses *Entretiens sur la pluralité des mondes* (1686), Fontenelle a créé un genre nouveau : la vulgarisation aimable. N'étant pas astronome lui-même, il a su exposer en termes simples les connaissances astronomiques de son temps (encore cartésien) et a présenté une preuve nouvelle de la rotation de la Terre sur elle-même.

Mots-clefs : HISTOIRE, HELIOCENTRISME, VULGARISATION

Dans le dernier chapitre des *Entretiens sur la pluralité des mondes*, Fontenelle soupçonne la Marquise de ne pas être totalement convaincue que la Terre tourne sur elle-même en 24 heures. Elle proteste de sa parfaite conviction (« Je fais mon devoir », dit-elle) mais l'astronome garde un doute, et propose alors la meilleure preuve, selon lui, de cette rotation. C'est une preuve qui lui plaît fort, peut-être parce qu'il croit l'avoir trouvée, bien qu'il n'ose affirmer en être vraiment l'inventeur : d'autres ont pu y penser avant lui.

Il suffit d'observer quelques soirs successifs les satellites de Jupiter avec la plus modeste lunette pour se rendre compte que plus ils sont éloignés de leur planète, plus ils tournent lentement. Il serait donc impossible qu'un habitant de Jupiter observe plusieurs nuits successives quelques-uns des satellites dans la même situation relative : les plus proches auraient pris de l'avance, les plus éloignés auraient pris du retard. Or, que voyons-nous sur Terre ? Chaque nuit, le ciel est à peu près semblable ; si on excepte la Lune qui prend du retard d'une nuit à l'autre, tout le reste du ciel, planètes et étoiles semble tourner d'un seul bloc, les dessins formés par les constellations restent invariables, alors que certaines étoiles sont sans doute plus éloignées que d'autres. Il faut une observation très attentive pour constater un léger mouvement de certaines planètes par rapport aux étoiles.

Donc il est impossible que tous les astres tournent autour de la Terre, car si c'était le cas, le ciel serait entièrement différent chaque nuit, on ne reconnaîtrait à peu près rien. La Lune, au lieu de prendre du retard d'une nuit à l'autre, prendrait au

contraire une avance considérable, étant beaucoup plus proche que tous les autres astres. Donc cette rotation de tout le ciel en 24 heures est en réalité l'illusion produite par la rotation de la Terre dans ces mêmes 24 heures. Fontenelle aurait pu mentionner la troisième loi de Kepler, qu'il connaissait, mais l'idée de tourner plus ou moins vite, sans précision, était suffisante pour une conversation familière avec une marquise, et il a très bien fait de s'en tenir là.

Il avait bien raison aussi d'être modeste et prudent quant à la paternité de cette preuve, car elle se trouve déjà cinquante ans plus tôt dans le *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, de Galilée. Celui-ci, comme Fontenelle, constate que les satellites de Jupiter ont des périodes de révolution d'autant plus grandes qu'ils sont plus éloignés de leur planète. Il en va de même pour les planètes autour du Soleil, (30 ans pour Saturne). Vouloir après cela faire tourner toutes les étoiles en 24 heures, c'est détruire l'ordre de l'univers. « Mais si c'est à la Terre qu'on donne la mobilité, l'ordre des périodes est alors très bien respecté ». Il était bien naturel que cette idée apparaisse pour la première fois justement chez le découvreur et premier observateur des quatre plus gros satellites de Jupiter.

Avant Galilée, n'ayant aucune idée des satellites de Jupiter ni de Saturne, Copernic avait dû se contenter d'arguments de bon sens, qui ne pouvaient être considérés comme des « preuves ». La sphère des étoiles étant très grande (c'est certain puisque l'horizon la coupe en deux moitiés égales, donc le rayon terrestre est forcément très petit), il est plus naturel de faire tourner l'objet le plus petit,

et de supposer le plus grand immobile. De même pour rapprocher le tabouret et le piano, il est plus rationnel de déplacer le tabouret plutôt que le piano. C'est certainement ainsi que Dieu procède dans l'univers. Celui qui veut faire tourner tout le ciel en 24 heures ressemble à ce visiteur de Florence monté au sommet du Dôme, qui demanderait qu'on fasse tourner toute la ville pour pouvoir l'admirer « sans se fatiguer à tourner la tête ». (Cette plaisanterie est de Galilée). Kepler lui aussi avait bien vu le problème lorsqu'il imaginait la Lune et la Terre privées soudain de leur mouvement orbital : elles se rapprocheraient lentement, puis de plus en plus vite, et se rejoindraient au centre de gravité du système, la Lune parcourant la quasi-totalité de la distance et la Terre, beaucoup plus lourde, bougeant très peu (Astronomie nouvelle, 1609, 80 ans avant Newton). Ici encore, c'est l'objet le plus petit qui bouge, le plus grand restant immobile ou presque.

Observant les satellites de Jupiter avec les premières lunettes, Galilée a tout de suite compris que cette observation confirmait entièrement l'intuition de Copernic. La découverte ultérieure des satellites de Saturne a permis à Fontenelle d'ajouter un exemple aux deux déjà fournis par Galilée donnant ainsi plus de force à son argument. Dans le même temps, les astronomes découvraient la rotation de plusieurs planètes sur elles-mêmes. Cela ne prouvait pas la rotation de la Terre (elle aurait pu être l'exception qui confirme la règle) mais cela rendait cette hypothèse de plus en plus plausible.

Avec le temps, d'innombrables preuves se sont accumulées, dont l'énumération serait fastidieuse. Cela va des vents alizés au pendule de Foucault, en passant par les baignoires qui se vident (légende tenace) et la déviation des obus d'artillerie. Les ouvrages de vulgarisation sont obligés d'opérer un choix dans ce bric-à-brac. L'idée de Fontenelle (et de Galilée) apparaît rarement parmi les preuves proposées. Elle aurait pourtant de quoi séduire par sa simplicité, car la plupart des preuves retenues exigent des explications complémentaires. Par exemple, le pendule de Foucault, qui effectue une rotation complète en 32 heures à Paris, prouve que la Terre tourne en 24 heures, à condition toutefois d'analyser soigneusement la géométrie du problème (voir « le Pendule et l'étoile », CC n°84, Hiver 98-99). Si le pendule avait été observé deux siècles plus tôt, du temps de Fontenelle, celui-ci aurait-il choisi cette preuve pour convaincre la Marquise ? C'est peu vraisemblable, car les explications nécessaires exigent quelques figures tracées sur le papier sinon sur le tableau noir. La conversation

nocturne dans un parc se prête mal à de telles démonstrations : expliquer la composition des vecteurs-rotation avec seulement des gestes et des paroles, et dans le noir, ce n'est pas commode, et la Marquise n'aurait certainement pas la patience nécessaire.

L'aplatissement de la Terre, qui est aussi une preuve de sa rotation, est aisé à concevoir et pourrait certainement être expliqué la nuit dans un parc, mais il faut croire sur parole les spécialistes qui nous en parlent. De même pour la variation de G : ces observations exigent un appareillage et une technique. Au contraire, l'idée de Fontenelle n'exige que quelques observations de Jupiter avec un instrument très banal, et quelques promenades dans un parc en compagnie d'une charmante marquise. Il suffit de regarder pour comprendre.

C'était donc une très bonne idée, qui n'occupe cependant qu'une page dans les *Entretiens* (sixième « nuit ») et se rattache d'assez loin à l'intention principale de l'ouvrage. Celui-ci se proposait surtout d'argumenter en faveur de la pluralité des mondes, comme le titre l'indique, en précisant bien qu'il s'agit de mondes *habités*. Fontenelle croyait très fermement à l'existence de créatures extra-terrestres, sur lesquelles nous ne pouvons faire que des suppositions. Il était très en avance sur l'actuel programme SETI, qui tente de capter des émissions radio venues de lointaines civilisations. Cependant, il ne prétendait pas à une certitude absolue, d'où une réflexion sur les différents degrés de croyance selon les sujets, d'où la constatation que la Marquise croyait d'une façon un peu tiède à la rotation de la Terre, d'où enfin cette « preuve » dont il était très fier, ignorant que Galilée y avait déjà pensé.

Les deux idées, rotation de la Terre et pluralité des mondes habités avaient un point commun qui n'apparaît pas à première vue mais qui est fondamental : la première contredisait 80 passages de la Bible, d'après les calculs d'un savant moine. Et la seconde contredisait la Genèse, car les créatures intelligentes des autres mondes, si elles existent, ne peuvent pas descendre d'Adam et d'Eve. Mais alors d'où viennent-elles ? Ont-elles été créées par Dieu ?

La Marquise aurait été bien étonnée de découvrir derrière les propos mondains et galants de l'astronome, une redoutable bombe à retardement. D'ailleurs les *Entretiens* ont été mis à l'Index un an après leur parution : un bon chrétien ne devait donc pas les lire. La même année 1687 paraissaient en latin les *Principia* de Newton.

DOCUMENTS ANCIENS

La galaxie d'Andromède photographiée

Voici un document datant de 1889. Les galaxies n'étaient pas encore reconnues comme objets extragalactiques mais les astronomes les photographiaient déjà. Jugez si ce texte semble digne d'intérêt.

— L'ASTRONOMIE. —

121

LES PROGRÈS DE LA PHOTOGRAPHIE CÉLESTE.

C'est de l'Angleterre que nous viennent aujourd'hui les derniers progrès accomplis dans la Photographie astronomique.

Par des procédés nouveaux, par un art ingénieux, par la patience et l'habileté, on a réussi à pénétrer plus profondément que jamais dans les mystères de la création sidérale et à trouver un mode de conservation

Fig. 38.



Photographie directe de la nébuleuse d'Andromède, par M. Isaac Roberts.
(Pose : 4 heures).

intégrale et sûre des clichés sur lesquels les merveilles du Ciel viennent désormais s'imprimer elles-mêmes.

Nous mettons ici sous les yeux de nos lecteurs la reproduction par la photogravure — sans aucune retouche de main humaine — d'une photographie directe de la nébuleuse d'Andromède faite, le 29 décembre dernier, par l'astronome anglais M. Isaac Roberts, à l'aide d'un télescope à miroir à verre argenté, de 20 pouces ou 0^m,50 d'ouverture.

La durée de pose a été de quatre heures.

Cette nébuleuse, regardée jusqu'ici comme une masse floconneuse, qui paraît assez régulière à l'œil nu, à la jumelle ou dans de petits instruments, et qui se montre morcelée en fragments dans les instruments les plus puissants, révèle ici pour la première fois son caractère

AVRIL 1889.

4

de nébuleuse en *spirale*. On le devine, malgré le vague des traînées.

Il est bien curieux de voir que cette forme spirale, révélée autrefois par le gigantesque télescope de lord Rosse pour la fameuse nébuleuse des Chiens de chasse, et que plus d'un astronome attribuait à la courbure du miroir du télescope plutôt qu'à la réalité, il est bien curieux de constater que cette forme, au lieu d'être une exception, devient de plus en plus générale, à mesure que s'accroissent nos moyens de perception. Naguère encore, n'avons-nous pas eu à signaler la même structure dans la nébuleuse du pôle de l'écliptique ?

Il y a là des milliers d'étoiles, qui paraissent en connexion avec cette immense nébulosité. On remarque, outre la condensation centrale, trois autres foyers de condensation. Le temps apprendra s'il y a là des variations et des effets de parallaxe.

M. Roberts a présenté à la même séance de la Société royale astronomique de Londres (11 janvier 1889) une nouvelle photographie des Pléiades, dans laquelle on voit des nébulosités enveloppant les étoiles Alcyone, Mérope, Électre et Maïa, ainsi que les étoiles 12 et 24.

La Photographie paraît appelée à nous enrichir des découvertes les plus inattendues dans cet ordre d'études. Ce que l'œil humain ne parviendrait jamais à voir, puisque la sensibilité de la rétine n'est pas accrue par le temps, l'œil photographique finit par le découvrir. Ce que cet œil nouveau ne perçoit pas en une heure, il le perçoit en deux. Ce qu'il ne perçoit pas en deux heures, il le perçoit en quatre. Il suffit de laisser exposée la plaque assez longtemps, et la plus faible action photographique finit par l'impressionner. A l'Observatoire de Harvard-College, M. Pickering a dirigé un appareil photographique vers un point quelconque du Ciel, et cet appareil a découvert en quelques heures douze nébuleuses nouvelles dans le voisinage de la nébuleuse d'Orion. On peut penser, remarque à ce propos M. Pickering, que le même appareil photographierait quatre à cinq mille nébuleuses nouvelles sur la surface entière du Ciel.

La Photographie va, en peu de temps, transformer l'Astronomie. Mais il est un point essentiel, capital, sans lequel toutes ses nouvelles révélations perdraient une partie de leur valeur, surtout lorsqu'on songe que des millions d'astres ne tarderont pas à être enregistrés sur les plaques des astronomes photographes. Il faut que ces plaques durent et puissent, dans plusieurs siècles, être comparées à celles que l'on obtiendra dans

En lisant ce texte ancien vous avez sans doute ressenti toute la puissance du visionnaire qu'était Camille Flammarion. Quel chemin parcouru depuis la découverte de cette galaxie par Abd-al-rahman al-Sûfi en l'an 900, ou la représentation donnée par Ismaël Bouillaud en 1667 (voir le cours IV dans ce Cahier).

G.P.■

HISTOIRE

Nicole-Reine Lepaute et l'Hortensia

Guy BOISTEL

Docteur en histoire des sciences et des techniques

Lauréat de l'Académie de Marine

(Centre François Viète, Nantes)

Résumé : Depuis quelques temps, les *Cahiers Clairaut* ont été animés par deux grandes questions : le passage de Vénus devant le Soleil et l'origine du nom *Hortensia*. Ces deux questions ont apparemment pour lien la muse de l'astronome Jérôme Le François de La Lande (*Lalande par la suite*), la femme de l'horloger Jean-André Lepaute, Nicole Reine Lepaute.

Avant de revenir à l'origine du nom *Hortensia*, il est utile de revenir sur la vie de cette femme méconnue. Le texte suivant est l'adaptation, pour les *Cahiers Clairaut*, d'une notice qui paraîtra prochainement dans le *Dictionnaire de biographie française* (Paris, Letouzey et Ané). Ceux qui ont visité l'exposition sur le passage de Vénus qui s'est tenue à l'Observatoire de Paris ont pu lire une version allégée de cette notice, ainsi qu'un petit paragraphe sur l'origine du nom *hortensia*. J'ajoute, comme auteur de ces textes, que les organisateurs ont cru bien faire en associant Mme Lepaute au passage de Vénus, ce qui est historiquement non fondé et donc erroné. La présence exagérée de Mme Lepaute dans cette exposition n'est due, selon moi, qu'à l'influence néfaste du soi-disant roman, *Le rendez-vous de Vénus* de Jean-Pierre Luminet. Mais, passons...

Les « femmes savantes » et astronomes sont peu nombreuses dans l'histoire. Nicole-Reine Lepaute est l'une de ces femmes. Elle fut calculatrice, au service de l'astronome Jérôme Lalande (1732-1807). Tout ce que l'on sait d'elle vient principalement de ce qu'il a écrit dans sa *Bibliographie astronomique* (Paris, 1803). Ses propos peuvent être, à certains égards, interprétés de manières différentes.



HORTENSE LEPAUTE

Fig.1 – Portrait de Nicole-Reine Lepaute

[Cliché BNF]

Disons maintenant que Nicole-Reine Lepaute restera dans l'histoire comme la « savante calculatrice », assistante zélée de Lalande et du mathématicien Alexis Clairaut (1713-1765) lorsque ces derniers entreprirent, en juin 1757, de longs calculs en vue de la première prédiction du retour de la comète de Halley en 1759, et qu'elle fut le principal auteur de nombreuses éphémérides astronomiques et nautiques dans la seconde moitié du XVIII^e siècle.

La femme de l'horloger Jean-André Lepaute

Elle naît à Paris le 5 janvier 1723, dans le Palais du Luxembourg où loge son Père qui est au service de la reine d'Espagne, Elisabeth d'Orléans. On ne connaît de sa jeunesse que les images angéliques dessinées par Lalande : Nicole Reine est une jeune femme studieuse, beaucoup moins mondaine que sa contemporaine, Gabrielle-Emilie le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet, la douce amie de Voltaire et traductrice de Newton.



Fig. 2 – Portrait de Jean-André Lepaute

Elle fait la connaissance des frères Lepaute lorsque ces derniers viennent installer au Palais du Luxembourg une horloge d'un nouveau type. Le 27 août 1749, à l'âge de vingt-six ans, Nicole-Reine épouse le déjà célèbre Jean-André Lepaute (1709-1789). Le couple loge désormais au Luxembourg. Nicole-Reine partage les travaux de son mari et tient les comptes de la maison Lepaute. Le jeune astronome Jérôme Lalande obtient peu de temps après un observatoire au-dessus du porche du Palais du Luxembourg. Il fait la connaissance des Lepaute et devient un ami proche de la famille. En 1753, Lalande est nommé par l'Académie des sciences commissaire pour examiner une horloge de Jean-André munie d'un échappement d'un nouveau type. Il encouragera Jean-André Lepaute, devenu horloger du roi en 1753, à construire des pendules astronomiques. Observant et décrivant les ouvrages de son mari, Nicole-Reine fait ses premières armes en calculant des tables d'oscillations du pendule

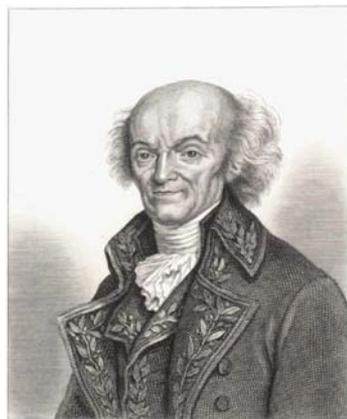
pour le *Traité d'Horlogerie contenant tout ce qui est nécessaire pour bien connoître et pour régler les pendules et les montres* que Jean-André Lepaute publiera à Paris en 1755.

La « savante calculatrice » de Clairaut

Aussi est-ce naturellement que Lalande propose au mathématicien Alexis Clairaut l'aide de Mme Lepaute lorsqu'ils décident en juin 1757 de se lancer dans une fantastique entreprise : calculer le retour de la comète que l'astronome anglais Edmond Halley avait prévu pour la fin de l'année 1758 ou le début de 1759. Un tel travail exigeait de fastidieux calculs pour déterminer la position de la comète sur son orbite, jour après jour, en tenant compte des perturbations gravitationnelles dues aux planètes géantes Jupiter et Saturne. Clairaut établit à cet usage des modèles de calculs que Nicole-Reine Lepaute et Jérôme Lalande complètent avec patience et précision. Après de longs et sévères mois de fatigue, en novembre 1758, Clairaut annonce fièrement à l'Académie royale des sciences que leurs calculs prévoient un retour de la comète au périhélie pour la mi-avril 1759. La comète passe au plus près du Soleil le 13 mars, confirmant ainsi, à un mois près, les recherches entreprises par Clairaut dans le cadre de la théorie newtonienne de la gravitation.

Clairaut peut alors publier sa *Théorie des comètes* (Paris, 1760). Mais il « oublie » de mentionner le nom de Nicole-Reine Lepaute dans la liste des calculateurs dont il a reçu de l'aide ! « Petite faiblesse » de Clairaut, qui ne voulait pas froisser sa jeune compagne du moment — Mademoiselle Goulier — jalouse des mérites de Mme Lepaute... Cette histoire de cœur a des répercussions immédiates sur les relations entre Clairaut et Lalande : les deux hommes ne seront plus jamais aussi proches qu'auparavant, et Clairaut poursuivra seul ses recherches en astronomie⁴.

⁴ Durant les années 1750, Clairaut et d'Alembert sont en compétition sur la théorie de la Lune et le problème des trois corps. Formé par Pierre-Charles Le Monnier, proche de d'Alembert, Lalande passe très rapidement dans le clan Clairaut, aux côtés de l'abbé Nicolas-Louis de Lacaille. Ce dernier décède en 1762. Après l'épisode de la comète de Halley, Clairaut aura perdu ses deux principaux soutiens, Lalande et Lacaille.



Lalande (Joseph-Siméon Lefrançois de)
Astronome - 1777

Fig. 3 – Portrait de Jérôme Lalande

[Cliché Observatoire de Paris]

« Pour la Gloire de M. de La Lande »

En 1759, Lalande est chargé de la *Connaissance des Temps* (CDT par la suite), les éphémérides astronomiques annuelles publiées par l'Académie royale des sciences. Estimant avoir autre chose à faire que de longs et laborieux calculs, Lalande engage Nicole-Reine Lepaute, ainsi que de nombreux « assistants »⁵, à l'aider dans la confection des tables et éphémérides astronomiques. Les contributions de Nicole-Reine ne sont pas toutes connues dans le détail. Les calculs pour le passage de Vénus devant le disque du Soleil de 1761 (CDT pour 1761, pp. 5 et 145-156) sont souvent attribués à Mme Lepaute ; rien ne vient confirmer cela. Lalande précise qu'elle écrit à cette occasion plusieurs mémoires pour l'Académie de Béziers dont elle fut, la même année, élue membre associé. Ces mémoires n'ont pour le moment pas été retrouvés. La lettre d'élection de Mme Lepaute à l'Académie de Béziers a été publiée par Jean Mascart en 1912 (voir la bibliographie).

On peut noter une *Table des angles parallactiques* (CDT pour 1763), utile pour la navigation astronomique, table que l'on trouve aussi dans l'*Exposition du calcul astronomique* de

⁵ J'ai, dans ma thèse de doctorat, tenté de dresser la liste de tous les commis calculateurs engagés par Lalande et son successeur, Edme-Sébastien Jeaurat, pour les calculs de la CDT : Guy BOISTEL, 2001, *L'astronomie nautique en France au XVIII^e siècle : tables de la Lune et longitudes en mer*, Université de Nantes, Centre François Viète, partie II.

Lalande (Paris, 1762) — le mode d'emploi de la CDT —, ainsi que des *Calculs pour l'éclipse annulaire du 1^{er} avril 1764* (CDT pour 1764). Lalande mentionne aussi des calculs de Mme Lepaute pour les éléments de la comète observée en 1762. Il nous assure également que Nicole Lepaute fut le principal auteur des tables du Soleil, de la Lune et des planètes pour les volumes VII et VIII des *Ephémérides des mouvements célestes* — éphémérides établies pour dix années — parues en 1774 et 1784. En effet, grâce à l'entraînement de Mme Lepaute au calcul astronomique, Lalande pouvait être assuré de pouvoir élaborer et publier rapidement les éphémérides à destination des astronomes et des marins devant partir au long cours. La politique de Lalande en matière de recrutement de calculateurs et de délégation des calculs astronomiques pénibles, est sévèrement critiquée par l'astronome Cassini de Thury dans un pamphlet écrit en 1773. Cassini y précise que Lalande est à la tête d'une « véritable manufacture de commis négligents et d'ouvriers ignorants dirigée en second par une académicienne de Béziers [sous-entendu, Mme Lepaute] utile à la gloire de M. de la Lande qui par son moyen se trouvera bientôt en état d'enfanter tous les mois un in-douze d'astronomie et in-quarto de calculs » !

Une éclipse exceptionnelle

Comme tout événement exceptionnel, l'éclipse annulaire de Soleil du 1^{er} avril 1764 est attendue par tous les astronomes. Une éclipse annulaire est rare. Celle-ci l'est davantage encore par ses circonstances. Elle doit permettre de tester la précision des tables de la Lune obtenues uniquement par l'analyse mathématique par Clairaut et par d'Alembert. C'est aussi pour ces derniers l'occasion de les comparer aux meilleures tables de l'époque, celles de l'astronome allemand Tobias Mayer, leur concurrent direct. Si Clairaut et d'Alembert prévoient l'éclipse annulaire à Paris, Mayer n'envisage rien de tel.

Calculatrice pour la *Connaissance des Temps*, Nicole-Reine Lepaute se charge donc de dresser une carte de visibilité de l'éclipse donnant sa progression de quart d'heure en quart d'heure pour toute l'Europe ! Cette magnifique carte est publiée dans la gazette jésuite, les *Mémoires de Trévoux* (juin 1762), et distribuée à Paris à des milliers d'exemplaires.

Quelques temps après, un minime de Clermont-Ferrand, le Père Sauvade, qui avait manqué

l'observation de cette éclipse, critique avec virulence les calculs de Nicole-Reine Lepaute. Claude-Etienne Trébuchet (1722-1784), autre calculateur recruté par Lalande pour la *Connaissance des Temps*, prend alors la défense de Mme Lepaute dans une longue lettre adressée au *Journal des Sçavans* (octobre 1766). Pour Trébuchet, seules les compétences en astronomie du Père Sauvade devaient être mises en doute !

Le « sinus des grâces et la tangente des cœurs » de Lalande

Une profonde amitié lia toute leur vie Lalande et Madame Lepaute. Sans doute Lalande nourrit-il des sentiments plus doux à l'égard de Nicole-Reine Lepaute, comme en témoigne ces quelques vers qu'il dédia à celle qui l'avait charmé, se montrant ainsi « géométriquement aimable et aimablement géomètre »⁶ :

*De tables de Sinus toujours environnée,
Vous suivez avec nous Hipparque et Ptolémée ;
Mais ce serait trop peu que de suivre leurs traces,
Et d'être au rang de ceux que nous comblons
d'honneurs,
Reine, si vous n'étiez et le sinus des Grâces,
Et la tangente de nos cœurs.*

Certains veulent absolument voir entre Lalande et Mme Lepaute des relations plus intimes qu'une simple amitié amoureuse. C'est sur ce point en particulier que les écrits de Lalande peuvent être interprétés comme on le souhaite. Les amitiés galantes du XVIII^e siècle ne sont pas de même nature que celles que nous vivons au début du XXI^e siècle. Les confondre conduit à des anachronismes et dans ce cas, conduit à ignorer les relations entre Mme Lepaute et son mari, et de manière plus générale, ses relations au clan Lepaute tout entier. Jean Mascart nous décrit Jean-André Lepaute comme un homme d'un caractère enjoué, désintéressé (il laissera son entreprise à ses frères et neveux), aimant beaucoup les arts et la société des artistes. Nicole Reine, femme charmante, est présente aux côtés de son mari, assurant le commerce et tenant les comptes de l'entreprise familiale, malgré son engagement comme calculatrice presque servile de Lalande. C'est aussi oublier que Lalande était affublé d'une physionomie ingrate, légendaire au début du XIX^e siècle :

Ce Dieu, dont tant de fois, il nia l'existence,

⁶ *Le Magasin Pittoresque*, 1907, Série 3, t. VIII, pp. 156.

*En le créant si laid méritait sa vengeance ;
Moi, j'aime son front chauve, et je crois en effet
Que le feu du génie a brûlé son toupet.*⁷

Regardons les portraits de Lalande et de Jean-André Lepaute ; regardons leurs relations professionnelles : peut-on raisonnablement imaginer les deux hommes rivaux ?

N'ayant pas enfant, Nicole-Reine accueille en 1768 l'un des neveux de son mari, Joseph Lepaute (1751-1788), âgé de quinze ans, — surnommé d'Agelet ou Dagelet, du nom d'une ruelle de Thonne-la-Long (Meuse), village natal de tous les Lepaute célèbres —, et lui enseigne avec l'aide de Lalande, l'astronomie cinq années durant. Soulignons qu'à cette époque, Nicole-Reine et son mari accueillent plusieurs membres de la famille pour élargir le cercle des horlogers Lepaute. Très vite, les talents de Lepaute d'Agelet sont remarqués : il devient professeur de mathématiques à l'Ecole Militaire en 1777, avant d'être élu adjoint astronome le 16 janvier 1785 à l'Académie royale des sciences. Embarqué comme astronome sur les frégates *L'astrolabe* et *La Boussole*, Lepaute-d'Agelet périra en 1788 dans l'île de Vanikoro avec le reste de l'expédition menée par La Pérouse.

Nicole-Reine Lepaute consacre ses sept dernières années à s'occuper de son mari qui avait cessé l'horlogerie vers 1774 et avait été atteint d'une grave maladie. Au même moment, sa santé décline et elle perd peu à peu la vue. Précédant son mari de quelques mois (Jean-André meurt le 11 avril 1789), Madame Lepaute meurt à Saint-Cloud le 6 décembre 1788 à l'âge de soixante-six ans.

L'Hortensia, fleur horlogère ?

Nicole-Reine Lepaute est au centre d'une légende concernant l'origine du nom *Hortensia* désignant une plante originaire de Chine. On a, sur ce sujet, à peu près écrit tout, son contraire et n'importe quoi. L'article le plus consistant est celui paru récemment dans le magazine *Hommes & Plantes* (2001, n°39, voir la bibliographie) et dont l'un des auteurs est astronome à l'Observatoire de Haute-Provence, Philippe Véron. L'affaire est tortueuse ; la voici résumée.

⁷ Extraits des *Etrennes aux sots*, de 1801, cités dans *Le Magasin Pittoresque*, 1907, Série 3, t. VIII, pp. 156.



Fig. 4 – L'hortensia de l'Herbier de Commerson

En marge de l'une des planches de son herbier, Philibert Commerson (1727-1773) — médecin et Naturaliste de l'expédition de Bougainville entre 1766 et 1769, ami très proche et très intime de Lalande — dédie à Nicole Reine, en 1771, la rose du Japon. En février 1773, peu avant sa mort sur l'Isle de France (l'île Maurice), il nomme d'abord cette plante *Peautia celestina* puis aussitôt, presque sans explication, *Hortensia cærulea* ou *Hortensia couleur d'azur*. Commerson avait déjà nommé une fleur *Peautia* en hommage à la famille de l'horloger Jean-André Lepaute.

S'étant aperçu de la double dénomination *Peautia*, il aurait ainsi changé le nom de *Peautia* en *Hortensia*. Remarquons que le terme *Hortensia* est plutôt neutre puisqu'il signifie aussi plante des jardins...

Mais l'hommage fut si fort qu'on en oublia le prénom de Mme Lepaute. Un *Dictionnaire des femmes savantes* assure que l'un des prénoms de Mme Lepaute aurait été Hortense, imaginant ainsi que l'hommage de Commerson fut ainsi plus direct, jetant ainsi pour les siècles à venir, la confusion entre la fleur nommée *Hortensia*, et le prénom de Mme Lepaute. On assure même que les neveux Lepaute accueillis à Paris appelaient leur tante, Mme Lepaute, Hortense. D'autres auteurs attribuent le changement de nom de *Lepautia* en *Hortensia* à l'astronome Legentil de la Galaisière qui ramena cette fleur de son voyage dans les mers de l'Inde, légende entretenue par Camille Flammarion au XIX^e siècle et inexorablement répétée depuis.

D'autres sources indiquent que le botaniste Jussieu serait à l'origine du nom *Hortensia*... La Bibliothèque Nationale de France conserve un portrait de Nicole-Reine Lepaute, légendé à tort « Hortense Lepaute », entretenant ainsi la confusion et la légende.

Quoiqu'il en soit, c'est bien en hommage aux talents de calculatrice-astronome et à l'abnégation de Nicole-Reine Lepaute que Philibert Commerson donna le nom *Hortensia* à cette plante.

Bibliographie sélective :

L'Abbé ROZIER, *Observations sur la physique*, année 1775, tome I : « éloges de M. Commerson par M. de la Lande », pp. 89-120.

Jérôme LALANDE, 1803, *Bibliographie astronomique*, pp. 480, 676-680.

MICHAUD, 1843, *Bibliographie Universelle Ancienne et Moderne*, tome XXIV, pp. 217-219.

Camille FLAMMARION, 1890, *Astronomie Populaire*, Paris, Marpon et Flammarion, pp. 618-619.

W.T. LYNN, 1911, « Madame Lepaute », *The Observatory*, février 1911, n° 432, pp. 87-88.

Jean MASCART, 1912, « Madame Lepaute », *Saggi di Astronomia Popolare* (Turin), vol. II, part 7, pp. 118-124 et 133-136.

Guillaume BIGOURDAN, 1926, « L'astronomie à Béziers : l'Observatoire. La querelle Cassini-Lalande », *Comptes Rendus du Congrès des Sociétés Savantes, Poitiers-1926*, Paris, Imprimerie Nationale, pp. 26-42.

Alfred LACROIX, 1938, *Figures de savants*, tome IV, pp. 1-13.

Elisabeth CONNOR, 1944, « Mme Lepaute, an Eighteenth-Century computer », *Astronomical Society of the Pacific, Leaflet n° 189*, November 1944 (8 pp.) ; *Biographical Dictionary of Women in Science*, 2000, Marilyn Ogilvie & Joy Harvey editors, N.Y., Routledge, pp. 772-773.

Richard CHAVIGNY, 1998, « L'Hortensia fleur horlogère », *Bulletin de l'Association Nationale des Collectionneurs et Amateurs d'Horlogerie Ancienne et d'Art*, n° 81, pp. 47-54.

Guy BOISTEL, 2001, *L'astronomie nautique au XVIII^e siècle en France: tables de la Lune et longitudes en mer*, thèse non publiée de Doctorat en histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes (seconde partie, pour les contributions de Nicole Lepaute aux diverses éphémérides astronomiques) (thèse commercialisée par l'Atelier National de Reproduction des Thèses de Lille-III).

Danièle VÉRON-DENISE et Philippe VÉRON, 2001, « De l'origine du nom de l'Hortensia », *Hommes & Plantes*, n° 39, pp. 6-15. ■

OBSERVATIONS

La Chasse aux flashes d'Iridium

Jean-Noël Terry

Résumé : *Voici une activité qui permet d'initier petits et grands au repérage dans le ciel, avec la récompense immédiate ! C'est d'observer les « flashes provoqués par les satellites Iridium ».*

Mots-clefs : OBSERVATION – SATELLITE – COORDONNEES - IRIDIUM

Qu'appelle-t-on Iridium ?

Il s'agit d'un essaim de satellites destinés aux communications téléphoniques. Le nombre choisi au départ était de 77, comme les 77 électrons orbitant autour de l'atome d'iridium.

En fait, il me semble que seuls 66 sont opérationnels actuellement.

Décrivant une orbite en 100 minutes à 780km d'altitude, ces satellites ont la particularité d'être équipés de 3 antennes de communication, séparées de 120°, inclinées de 40° par rapport à l'axe du satellite. De 188cm de long, 86cm de large, et 4cm d'épaisseur, ces antennes sont surtout extrêmement réfléchissantes.

L'axe du satellite étant à la verticale de la surface terrestre, il arrive qu'on se trouve dans la zone de réflexion des rayons du Soleil.

L'éclat peut atteindre la magnitude -8, près de 30 fois celle de Vénus.

Où chercher le flash Iridium ?

Il faut organiser son observation.

La position des satellites étant connue, des programmes de prévision des flashes ont été conçus. Le site Heavens-Above de Chris Peat est très intéressant. Voici son adresse (le site donne aussi les passages de l'ISS) :

<http://www.heavens-above.com>

Le programme de ce site demande la position de l'observateur. Il faut donc déterminer la latitude et la longitude de l'endroit où l'on se trouve. Excellent exercice qui peut être mené simplement sur carte.

Le site donne alors les prévisions par exemple pour une semaine avec, en particulier, la date, l'heure

locale, la magnitude du flash et sa position en hauteur et azimut.

C'est donc l'occasion de manipuler un autre système de coordonnées : le système « horizontal ». L'azimut est mesuré par rapport au plan méridien, dans le sens rétrograde, de 0° à 360°, l'altitude, au-dessus de l'horizon, de -90° à +90° (vers le zénith +, vers le nadir -). Ces coordonnées « naturelles » sont faciles à mesurer, mais elles varient avec le mouvement diurne et ne permettent donc pas de caractériser un astre donné. Par contre, ici, elles sont fort pratiques.

Un système simple consiste à bloquer une règle sur un pied photo. L'azimut est déterminé à la boussole, c'est ici suffisant (0°=360°=Nord, 90°=Est, 180°=Sud, 270°=Ouest).

Un niveau à bulle et un simple rapporteur permettent alors d'incliner la règle selon la hauteur, c'est-à-dire l'angle par rapport à l'horizon.

La règle donne alors la direction suivant laquelle observer.

Le pied photo et la règle peuvent être installés tranquillement de jour. Il ne reste plus qu'à venir un peu avant l'heure de passage de l'Iridium pour s'habituer à l'obscurité.

Avec un peu d'entraînement, on arrive à repérer le satellite sous forme d'un petit point lumineux en déplacement juste avant le flash, puis on peut s'amuser à le suivre après le flash, le plus longtemps possible.

Il est facile de remplacer la règle par un appareil photo et de laisser parler son imagination. Un téléobjectif demande une visée précise, un grand angle permet d'introduire des premiers plans. Une pose plus longue inclut le filé des étoiles...

La mise en scène peut se prévoir de jour. Ajoutons qu'un ciel pollué de lumière, comme c'est

hélas souvent le cas, permet quand même l'observation, vu l'intensité des flashes.

Bonne chasse et vous verrez que, même confiant dans les lois de la physique et dans les

calculs, vous serez toujours étonné de trouver le flash à l'heure prévue et à la position prévue !



Photo : Voici l'aspect d'un flash d'un satellite Iridium sur un fond de sapins de la belle région de Tarentaise. Impressionnant, non ?

■



Encore un Flash de dernière minute !



Le Conseil d'Administration et l'Assemblée Générale du CLEA ont eu lieu à Paris, les 27 et 28 novembre derniers. Le Conseil s'est tenu dans un cadre prestigieux : la grande salle du Conseil de l'Observatoire de Paris, sous la fresque allégorique du transit de Vénus et les regards sévères des anciens directeurs et de Louis XIV, en personne. Nous devons ce privilège au Directeur de l'Observatoire, Monsieur Daniel Egret, que nous remercions vivement. Nous remercions aussi Madame Vigouroux qui s'est chargée de régler les problèmes logistiques. L'accès à ce bâtiment historique était émouvant. Pensez ! Fouler les marches d'escaliers jadis empruntés par Lalande, Arago, Foucault et tant d'autres savants renommés. Nous avons pu voir la ligne méridienne tracée au milieu du jardin et les balises, frappées du nom "Arago", la repérant.

L'Assemblée Générale s'est tenue ensuite à l'Ecole Alsacienne, magnifiquement équipée pour accueillir les nombreux participants. L'organisation était assurée par Marie-Agnès Lahellec. Tout s'est admirablement déroulé. L'Assemblée Générale s'est conclue par une conférence de Patrick Cheinet, doctorant de l'Observatoire de Paris. Nous en publierons le texte dans un prochain Cahier Clairaut. Ce sera ainsi une excellente occasion de célébrer l'Année Mondiale de la Physique, puisque le sujet était : "Mesure absolue de l'attraction terrestre par interférométrie atomique et application à une nouvelle définition de l'unité de masse".

Les conclusions de ces journées seront publiées dans le prochain Cahier. Annonçons de suite que l'augmentation du prix de l'abonnement, votée l'an dernier, a été réduite pour ceux qui s'inscrivent dès le début de l'année : soit 28 € (30 € pour les retardataires dont les envois doivent être faits par courrier séparé).

G.P.

AVEC NOS ELEVES

Référentiels et mouvements de satellites I - Introduction à l'aide d'une maquette 3D

Pierre Le Fur

Résumé : *L'étude des mouvements de points matériels occupe les programmes du secondaire au supérieur sous les aspects cinématiques et dynamiques. La notion première reste la relativité du mouvement par rapport à l'objet référentiel. Une fois admis le mouvement d'un satellite par rapport au référentiel géocentrique, cet article se propose d'illustrer le passage au référentiel terrestre et d'analyser la diversité des traces sur le sol terrestre de la projection de ce mouvement. On abordera à cette occasion quelques applications pratiques de ces trajectoires.*

Traces de passage par rapport aux étoiles

a) Sur la sphère céleste

Commençons par réaliser une représentation tridimensionnelle d'une trajectoire orbitale circulaire, définie dans le référentiel géocentrique. Pour cela, un tube carton, du papier blanc, une sphère en plastique (« boule » de jeu de quilles à 3 « sous »), un pic à brochette ou quelques attaches trombones suffisent (figure 1).

La Terre est tout d'abord *supposée immobile par rapport aux étoiles* (pas de rotation propre). Elle est donc statique par rapport à la *sphère céleste*, sphère imaginaire sur laquelle seraient fixées les étoiles. Le plan de l'orbite-trajectoire, matérialisé par un trait noir sur le bord supérieur du cylindre cartonné lié aux étoiles, coupe celui de l'équateur céleste-terrestre suivant la ligne des nœuds. L'angle entre ces deux plans est *l'inclinaison i* de l'orbite. Ce montage permet de faire varier i de 0° (plans d'équateur et d'orbite confondus) à 90° (plans d'équateur et d'orbite perpendiculaires). On retrouve ainsi les orientations respectives des orbites équatoriales ($i=0^\circ$) de satellites géostationnaires et des orbites polaires ($i=90^\circ$) de satellites d'observation.

On remarque que pour l'un des nœuds, le passage d'un hémisphère céleste (terrestre) à l'autre se fait du sud vers le nord. On parle alors du nœud

« ascendant » de l'orbite, visible sur la figure 1. On fait retrouver la relation entre l'inclinaison i et le sens de circulation du satellite sur l'équateur:

Si $90^\circ > i \geq 0^\circ$ alors il circule de « l'ouest vers l'est », sens de rotation de la Terre (tir économique).

Si $i > 90^\circ$ il peut se déplacer de l'est vers l'ouest, cas de quelques satellites d'observation héliosynchrone comme la série Spot ($i=98.7^\circ$).

Enfin il est évident que la projection de la trajectoire circulaire sur la sphère céleste (-terrestre) est un grand cercle, intersection de la sphère et d'un plan passant par le centre de celle-ci. En déplaçant un stylo solidaire du bord du carton trajectoire, on matérialise la projection sur la sphère céleste (terrestre). (Fig. 1)

Le bord supérieur du cylindre de carton (liseré noir) représente la trajectoire supposée circulaire et fixe par rapport aux étoiles. La sphère de plastique se maintient sur ce tube à l'aide d'un pic à brochette ou de deux trombones partiellement dépliés qui la percent diamétralement suivant un axe passant par l'équateur, appelé ligne des nœuds. On **choisit** un sens de circulation sur la trajectoire (flèche) tel que le vecteur normal orienté est sortant du côté hémisphère nord dont le pôle se trouve ici dans le prolongement du A « d'Amérique ». Le mot « Equateur » est écrit de l'ouest vers l'est... Ici l'inclinaison i , angle entre les plans de l'équateur et de la trajectoire, vaut près de 45° .

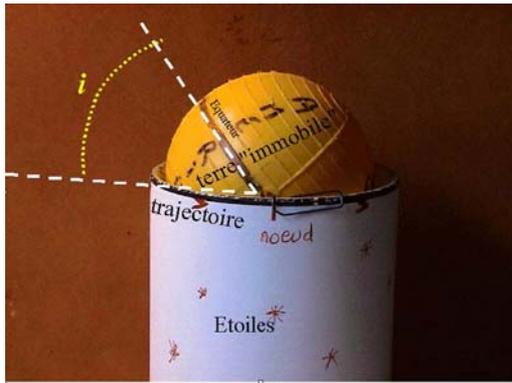
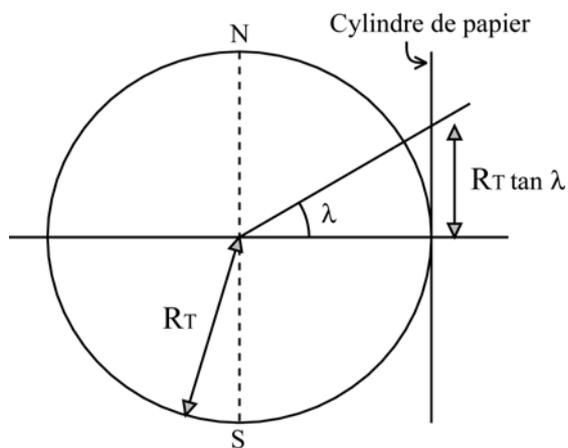


Fig. 1 : Tracé de passage sur la sphère céleste.

b) En projection de « Mercator »

Passons maintenant à une carte céleste-terrestre plane en utilisant une projection « aphyllactique centrale » (ou gnomonique) [1, 16], matérialisée par un cylindre de papier, enroulé sur l'équateur (schéma ci-dessous). Dans un tel type de projection à partir du centre de la sphère sur le cylindre, la latitude λ est représentée par $R_T \tan \lambda$ dans la direction orthogonale à l'équateur, où R_T est le rayon terrestre. Alors le plan orbital coupe le cylindre suivant une courbe elliptique fermée, représentant la trajectoire sur la carte.



On a représenté l'axe des pôles en pointillé, identique pour le cylindre et pour la sphère (Fig.2 en haut). La trajectoire sur le cylindre est donc matérialisée par l'intersection du plan de la table et du cylindre. Le cliché du bas présente la carte plane obtenue. Notons qu'il n'est pas nécessaire de tracer les continents sur le papier. (Sur la carte présentée, ils ne correspondent d'ailleurs pas exactement à une projection centrale, mais à une projection de Mercator non conforme.)

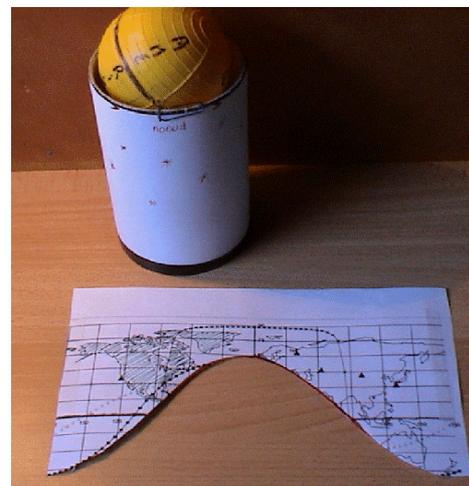
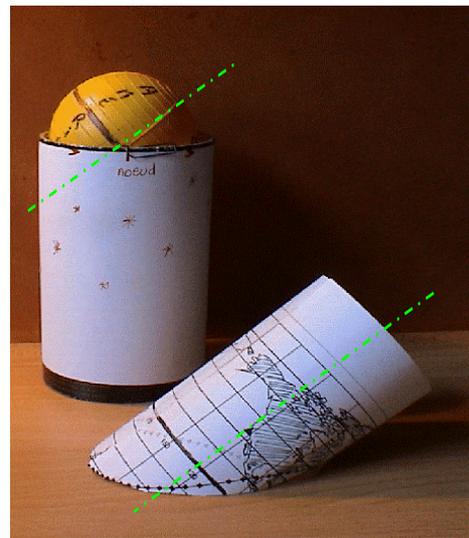


Fig.2 : La sphère terrestre-céleste accompagnée du cylindre de projection découpé suivant le plan orbital.

Déroulons la carte ainsi obtenue (photo du bas de la figure 2): pour une projection gnomonique, on obtient une sinusoïde vraie (voir démonstration plus loin II 1- b), de période angulaire $A_0 = 360^\circ$ en longitude. On remarquera que toute orbite plane (circulaire ou elliptique) donne une projection de ce type. Mais nous avons considéré une Terre immobile par rapport aux étoiles.

Traces de passage par rapport au sol terrestre

a) Orbite circulaire

Maintenant, nous allons prendre en compte la rotation de la Terre sur elle-même en $T_0 = 86164$ s. Le référentiel terrestre n'est plus confondu avec le référentiel céleste géocentrique. En prenant comme exemple une orbite circulaire d'inclinaison moyenne ($i \approx 50^\circ$) représentant une station spatiale

(ex : International Space Station $i = 51.6^\circ$), cherchons à matérialiser la trace de la trajectoire du satellite sur la Terre.

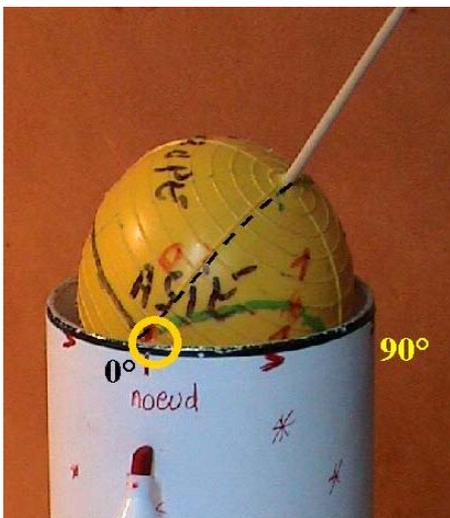
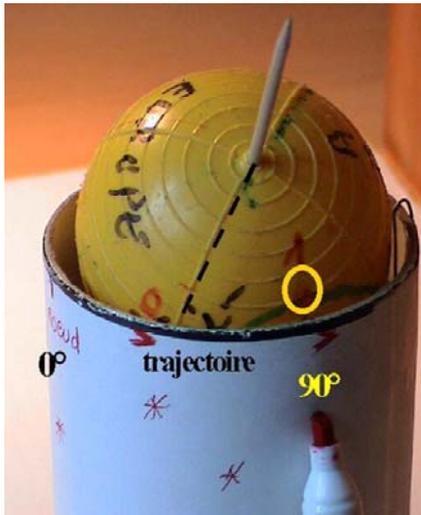


Fig. 3: Pointage de la position du satellite sur le sol terrestre :

Afin de permettre la matérialisation de la rotation propre de la Terre, fixons son axe polaire (pic à brochette) par rapport aux étoiles à l'aide d'un trou dans le cylindre support cartonné et d'un autre dans un carton plan solidaire du cylindre (figure 3). Libérons la sphère terrestre au niveau des nœuds afin de la laisser tourner librement. Laissons tourner la Terre sur elle-même pendant une période satellitaire T . A l'aide d'un stylo marqueur repérons le satellite au cours du temps.

Sur la figure 3 du bas, à $t = 0$: position 0 repérée par un cercle ; en haut, à $t = T/4$: position n°1. On a choisi une période satellitaire T égale à la moitié de celle de la Terre : $T=T_0/2$. La Terre a donc tourné d'un huitième de tour entre les deux images

espacées de $T/4$, correspondant à un déplacement angulaire de 90° pour le satellite. A $t=0$, le satellite étant au nœud ascendant, on repère sa position sur le sol terrestre par le point 0. A $t= T/4$, il a atteint le point 1, correspondant à la latitude maximale ($\lambda=i$).



Fig. 4: Trace de l'orbite sur la Terre obtenue par les pointages successifs (0, 1, 2,...) correspondant respectivement aux instants 0, $T/4$, $T/2$... On observe l'aspect « sinusoïdal » et la réduction de la période angulaire à $A = 180^\circ$ environ. Il y a en effet un quart de période T (passage de 0 à 2) pour 90° de longitude terrestre.

D'une manière générale la période angulaire A de la trace terrestre de l'orbite vaut (en degrés) :

$$A = 360 (1-T/T_0) \quad (R_1)$$

Pour un hypothétique satellite très rapide où T est négligeable devant la période terrestre T_0 , on reviendrait au cas d'une terre immobile soit $A = 360^\circ$; Pour un géostationnaire, la période A serait nulle. Tout cela est démontré par l'usage de la maquette en variant le rapport T/T_0 . (En restant dans des valeurs simples de rapport 1/4 à 1).

Le nœud ascendant a donc dérivé vers l'OUEST en longitude. Sa longitude terrestre Φ_n croît à chaque période T de (en degré) :

$$d = 360 T/T_0 \quad (R_2)$$

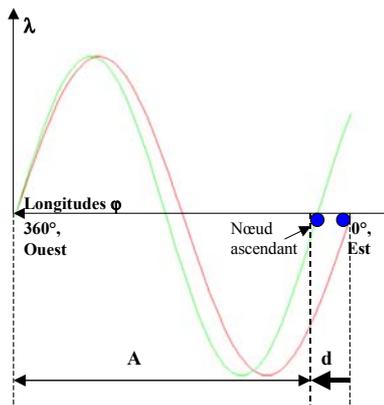
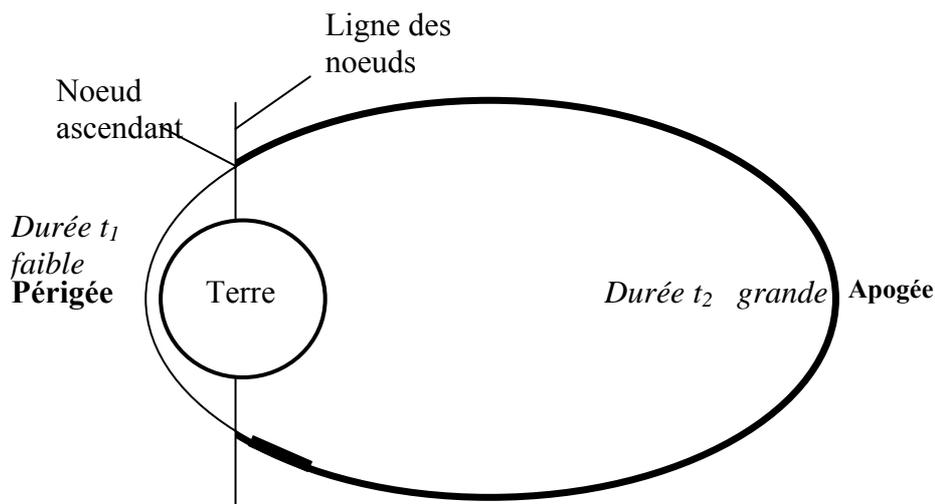
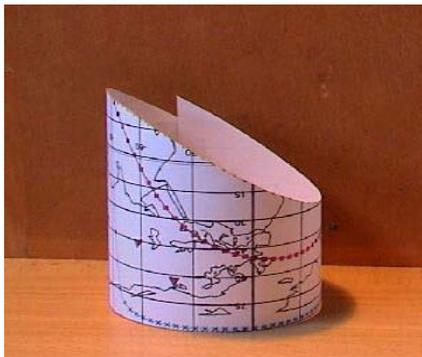


Fig. 5: Traces de l'orbite sur la Terre en projection de « Mercator »; latitude λ en fonction de la longitude φ . L'orbite initiale de période 360° est réduite à la période A . La trace n'est plus une courbe fermée.

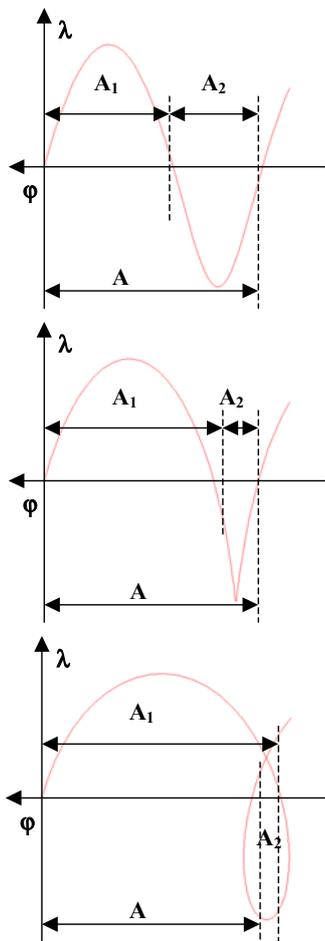
Avec la maquette on peut également mettre en évidence l'influence de l'inclinaison i sur l'allure de la trace, en aménageant plusieurs trous dans le cylindre carton.



b) Orbite elliptique

La loi des aires impose cette fois de faire varier sensiblement la vitesse angulaire du satellite sur son orbite, dont la trace sur la sphère céleste est toujours un grand cercle. La maquette permet d'entrevoir le résultat. Par exemple, on déplace rapidement le stylo satellite du nœud ascendant au suivant (satellite proche du périégée au-dessus de l'équateur) et lentement pour le retour au nœud ascendant (satellite dans la région de l'apogée au-dessous de l'équateur). Pour 180° décrits par le satellite, par rapport aux étoiles, la Terre aura peu tourné dans la première partie ($\Omega_T t_1$) et nettement plus dans la seconde ($\Omega_T t_2$). Evidemment $t_1 + t_2 = T$, période du satellite.

Dans le référentiel terrestre, la longueur longitudinale (en $^\circ$) de la portion de trajectoire au-dessus de l'équateur terrestre, juste après le nœud ascendant, sera donc différente de la portion à latitude négative. La partie de faible durée t_1 est équivalente à celle d'un satellite rapide d'orbite circulaire soit à une demi-période temporelle courte; donc à une demi-période angulaire A_1 longue comme l'indique la formule (R_1). Au contraire la deuxième partie est équivalente à un mouvement de longue demi-période donc à une portion de longitude A_2 faible.



Les courbes de la figure 6 illustrent cela. La courbe centrale présente un défilement longitudinal nul dans la partie A_2 , sous la forme d'un point anguleux. A cet endroit la vitesse angulaire du satellite $\Omega_{S/E}$ par rapport aux étoiles vaut celle de la Terre par rapport aux étoiles, $\Omega_{T/E}$. La vitesse longitudinale relative s'annule. La courbe du bas présente une boucle car $\Omega_{S/E} < \Omega_{T/E}$ dans cette partie. La vitesse angulaire du satellite par rapport à la Terre peut donc s'annuler et même changer de signe lorsque le satellite est proche de l'apogée, loin du sol, et créer ainsi des boucles (voir la figure 7).

Fig. 6 : Allures de trace terrestres d'orbites elliptiques en fonction de l'excentricité croissante de haut en bas.

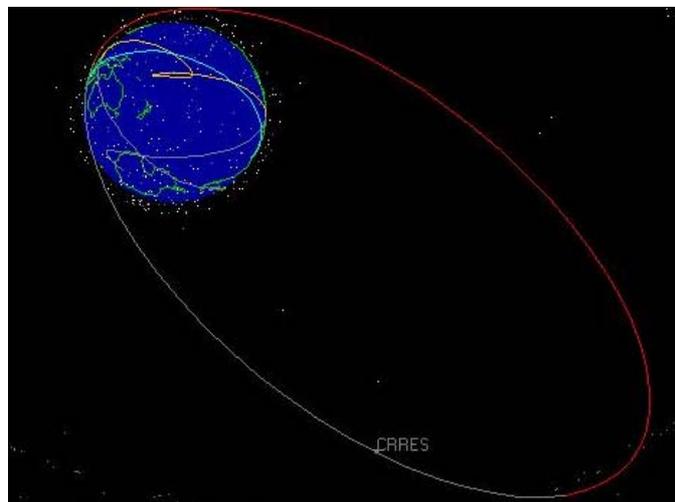


Fig. 7 : Orbite et trace terrestre de CRRES, d'après le logiciel de la NASA "JTRACK3D", accessible sur le site : <http://science.nasa.gov/realtime/jtrack/3d/JTRACK3D.html>. Une boucle de rétrogradation est bien visible.

REPORTAGE

Visite aux archives de l'Académie des Sciences

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Résumé : *L'Académie des Sciences, qui regroupe les savants les plus éminents de notre pays, possède des archives d'une inestimable valeur. Je vous invite à visiter ces archives, libres d'accès.*

J'ai souvent fréquenté le musée Ampère (ou musée de l'électricité), situé à Poleymieux, près de Lyon, dans la maison natale du grand savant. C'est un endroit magnifique, surtout au printemps, quand toute la campagne alentour est verdoyante. Je suis tombé amoureux de ce site sur lequel j'emène régulièrement mes visiteurs étrangers (Pekka Teerikorpi, Yuri Baryshev, Barry Madore !). J'ai fini par adhérer à l'association des amis d'André-Marie Ampère et ainsi j'ai rencontré M. Michel Dürr un des membres actifs de l'Association. Il m'a signalé que le génial savant avait laissé une impressionnante pile de documents à l'Académie des Sciences. J'ai cru tout d'abord que l'accès en était réservé aux gens autorisés. Non point ! L'accès est libre. J'ai donc décidé de me rendre à Paris, 23 Quai Conti, bien décidé à découvrir des documents originaux.

Mon idée de départ était de voir ce qu'Ampère avait laissé dans le domaine de l'astronomie, car, vous l'ignorez peut-être, mais Ampère a occupé, entre autres postes, celui de Professeur d'astronomie.

Quand on se présente à l'accueil, une personne vous remet un badge en échange de votre carte d'identité. Vous traversez alors les deux cours du splendide édifice et montez, à votre droite, au sixième étage. Là, une petite porte marquée "Archives" vous signale que vous êtes au bon endroit. Vous poussez la porte, traversez une petite pièce magnifiquement meublée et vous entrez dans une salle de lecture, baignée de l'ambiance feutrée d'une bibliothèque. Une personne vous accueille en vous demandant de remplir un questionnaire, dans lequel vous donnez vos coordonnées, vos motivations et le type de documents que vous désirez.

Pour les documents d'Ampère, on m'a apporté tout d'abord un classeur décrivant le contenu de tous les dossiers laissés par le savant. D'une manière générale, quand le visiteur a repéré un dossier intéressant, il peut demander à ce qu'il soit extrait des archives, pour consultation dans la petite salle de lecture. Une autre fiche doit être remplie, décrivant précisément le dossier visé. Pour ma part je n'en ai pas eu besoin car je suis tombé par hasard sur un second dossier contenant des copies de lettres écrites par Ampère. Les sujets étaient variés mais il était très souvent question d'astronomie, ce qui explique que j'ai passé le plus clair de mon temps sur ces lettres. J'aurai l'occasion de vous distiller ces informations dans les prochains Cahiers. Laissez moi cependant vous donner un petit aperçu.

Ce qui m'a frappé en premier lieu, c'est la diversité des sujets abordés par Ampère: vingt "casiers" classent 392 chemises. Chaque casier contient un thème. En voici quelques uns : Arithmétique et théorie des nombres, Calcul des variations, Probabilités, Mécanique Analytique, Astronomie, Mécanique Appliquée, Electricité et magnétisme, Physique, Classification des sciences, Philosophie, Grammaire, langue universelle et poésie etc. Ampère y traite aussi bien le problème du cerf-volant, que celui de la classification des corps simples. On ne s'ennuie pas.

Je conclus en empruntant la formule à l'une des lettres d'André-Marie Ampère: "Soyez persuadé que ma plus grande ambition est de mériter le titre de votre meilleur ami".

■

HISTOIRE

Jean-Paul Grandjean de Fouchy

Dominique Abouaf

Résumé : *L'Académie des Sciences a vu se succéder en son sein des hommes remarquables mais parfois mal connus. Jean-Paul Grandjean de Fouchy est l'un d'eux. Il fut le secrétaire perpétuel de cette noble assemblée pendant trente trois ans. Découvrons un peu plus de ce personnage exceptionnel.*

Jean-Paul Grandjean de Fouchy est né en 1707 à Paris et mort en 1788 à Paris. Il fit société avec un groupement d'artistes et de savants : MM Clairaut, de Gua, La Condamine, l'abbé Nollet, Rameau, Sulli, Julien le Roy & ses fils...

En 1740 Grandjean de Fouchy trace la courbe en huit de la méridienne de temps moyen avec les tables de l'équation du temps publiées en 1672 par Flamsteed.

En 1743, il devient secrétaire perpétuel de l'Académie royale des sciences après avoir y été invité à l'âge de vingt-quatre ans, en 1731 en tant qu'astronome. Il assumait cette fonction jusqu'en 1776 : pendant donc trente-trois ans.

C'est le marquis de Condorcet, son assistant pendant les trois dernières années de son secrétariat avant que de devenir son successeur comme secrétaire perpétuel de l'Académie royale des sciences, qui prononça l'éloge de Jean-Paul Grandjean de Fouchy.

Condorcet cerne ainsi l'essence de sa fonction, au regard de son prédécesseur réel, compte tenu de la parenthèse du secrétariat de M. de Mairan : " Dans un temps où les sciences n'étaient pas si répandues, M. de Fontenelle devait chercher à rapprocher leurs principes, leur marche, leurs méthodes, des conceptions de la métaphysique générale. Dans un temps où elles étaient plus communes, M. de Fouchy devait s'attacher davantage à montrer l'esprit des principes et des

méthodes propres à chacune d'elles. " Grandjean de Fouchy, astronome qui résolut la question des irrégularités des "...immersions..." et "...émersions..." des satellites de Jupiter, qui créa la lunette à quatre verres permettant de telles observations, avait donc en charge de rendre, une fois le discours de la science maintenu dans la poigne métaphysique garantie par Fontenelle, chacune des sciences à l'ouverture de leurs champs respectifs. Condorcet, dans son " Éloge ", les énumère toutes ; astronomie, sciences naturelles, physique, calcul, logique des sciences contre sophismes des préjugés.

Jean-Marc Levy-Leblond fait cette remarque à propos de Jean-Paul Grandjean de Fouchy :

" Et au dix-huitième siècle déjà, certains sentaient bien le besoin d'ajouter à la rigueur neuve des formalisations mathématiques newtoniennes une argumentation plus séduisante pour l'intuition. Ainsi, Grandjean de Fouchy, secrétaire de l'Académie des sciences, commentant un mémoire de Clairaut, écrivait-il en 1746 (...) : C'est là une très remarquable et précoce présentation de la conception heuristique de la physique. " Grandjean de Fouchy prend en considération les difficultés scientifiques comme des ouvertures qualitatives pour l'avancée des sciences.

(Éléments tirés en majeure partie d'un article de la revue « Alliage » Culture, Science et Technique.)

■

Au fil des perles des enseignants et des astronomes

Les savants ont souvent la réputation d'être de grands distraits. L'astronome Bernard Liot fut incontestablement un grand savant. Je voudrais vous rapporter une histoire authentique, au sujet de la première réception de Bernard Liot à l'Académie des Sciences. Cette histoire me fut rapportée par un autre académicien, G. Wlérick, il y a bien longtemps.

Pour cette première réception, un académicien devait passer prendre B. Liot pour le conduire à l'Académie des Sciences. La femme de B. Liot, sans doute pour rehausser le prestige de son mari devant l'honorable visiteur, voulut jouer le rôle d'une servante de maison. Elle revêtit donc une tenue appropriée. Mais, Bernard Liot, oubliant la convention, embrassa la "servante" en disant "au revoir chérie !", sous le regard médusé de son collègue. G.P.

DOSSIER : LE TRANSIT DE VENUS

Exploitation des images fournies par le réseau GONG lors du passage de Vénus devant le Soleil.

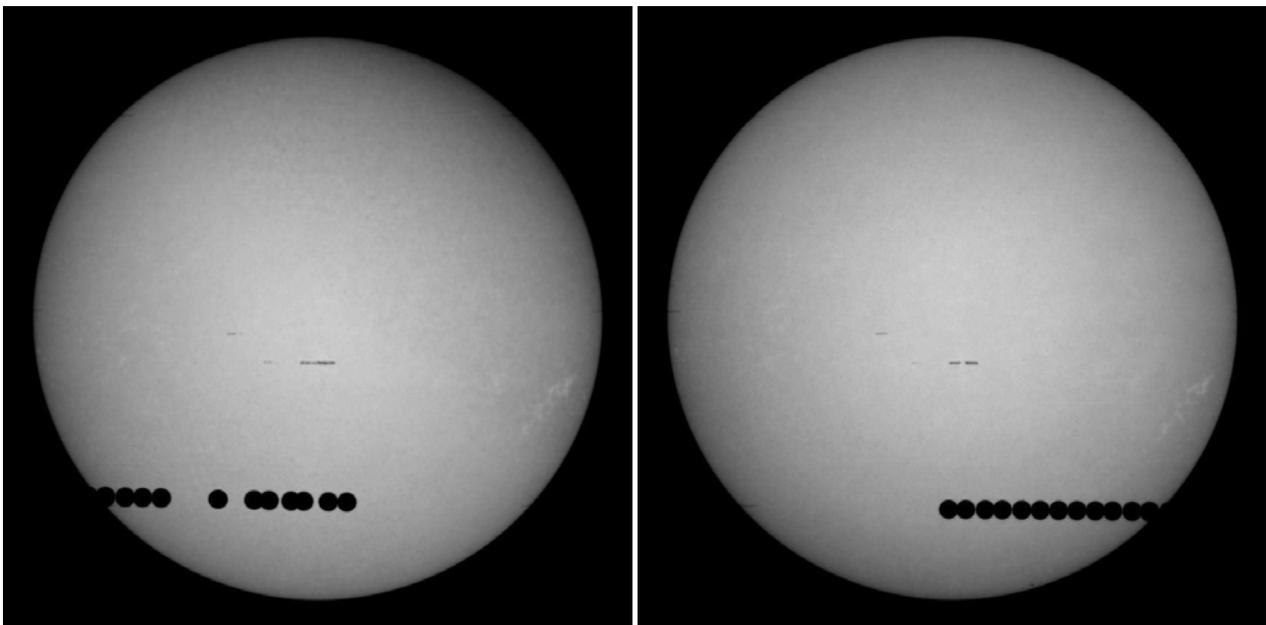
Francis Berthomieu

Résumé : Dans notre numéro 105, nous vous présentions la méthode mise au point par les élèves du Club Astre du Lycée Jean Moulin de Draguignan pour déterminer la distance du Soleil par la méthode de la parallaxe lors du passage de Mercure en mai 2003.

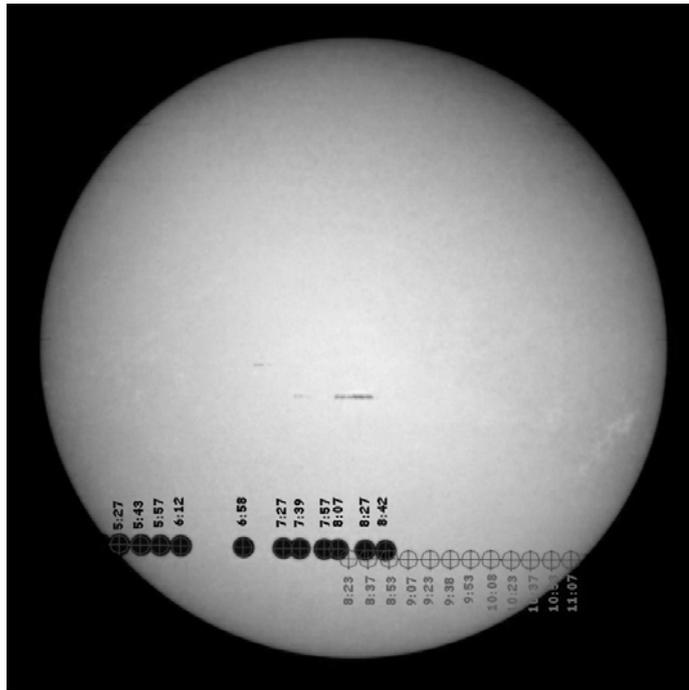
Il s'imposait de donner un épilogue à ce travail. Le passage de Vénus devant le Soleil devait permettre d'améliorer les résultats : Il suffisait d'appliquer exactement la même méthode, avec de nouvelles données.

Voici ces nouveaux calculs, encore effectués à l'aide des images du réseau GONG, et plus particulièrement celles prises depuis Learmonth (Australie) et El Teide (Iles Canaries).

Les images utilisées :



Images composites du passage vu depuis Learmonth et El Teide



Superposition des deux séries de clichés

Superposition des deux images composites

Nous avons soigneusement superposé et daté les deux images, puis procédé au repérage des centres de Vénus : à chaque date correspondent deux coordonnées x et y (en pixels), relevées sur les deux trajectoires.

Les deux trajectoires du centre de Vénus sur fond de disque solaire peuvent alors se modéliser sous forme d'équation paramétriques du premier degré donnant x(t) et y(t), où t s'exprime en minutes. On a choisi par commodité t=0 à 5:00 T.U.

Pour les points associés à l'Observatoire de Learmonth la régression linéaire donne :

$$\begin{aligned} x &= 1,696.t + 92,63 \\ y &= 0,0041.t + 673,6 \end{aligned}$$

Pour celui d'El Teide, c'est :

$$\begin{aligned} x &= 1,648.t + 89,89 \\ y &= 0,014.t + 690,00 \end{aligned}$$

Ces formules, applicables à tout instant t, donnent, en choisissant l'instant commun de mesure à 8h30 (t = 210 min après l'origine des temps)

Pour Learmonth : $X_{LE} = 448,79$ et $Y_{LE} = 682,21$

Et pour El Teide : $X_{TE} = 435,97$ et $Y_{TE} = 692,94$

A partir des coordonnées calculées de ces deux points, (Centre de Vénus vu de Learmonth à 8h30 TU et centre de Vénus vu de El Teide à la même heure) on calcule leur distance sur l'image : on trouve **17 pixels**.

- Sachant que le diamètre apparent du Soleil le 8 juin est 31,5' (ou $9,16 \cdot 10^{-3}$ rad) et que l'image du Soleil a un diamètre de 775 pixels sur les images GONG, on déduit simplement que les 17 pixels d'écart à 8h30 correspondent à un écart angulaire $\Delta\beta$ facile à obtenir :

On trouve : $\Delta\beta = 17 \cdot 9,16 \cdot 10^{-3} / 775$

$$\Delta\beta = 2,00 \cdot 10^{-4} \text{ rad}$$

La relation établie pour le passage de Mercure ou de Vénus s'applique ici, avec les valeurs suivantes :

- La distance (notée **AB**) entre les deux parallèles issues de Learmonth et El Teide en direction du Soleil à 8h30 TU le 8 juin a été déterminée en pointant ces deux positions sur l'image de la Terre fournie par le site <http://www.fourmilab.ch/cgi-bin/uncgi/Earth> : on en déduit une distance en pixels qui, comparée au diamètre de la

Terre sur l'image, permet le calcul en kilomètres. Nous avons travaillé avec une image de 1000 pixels de côté et trouvé :

$$AB = 11750 \text{ km.}$$

- Rappelons-le, la valeur du coefficient k donne la mesure de la distance Terre-Vénus en unités astronomiques à l'instant du passage. En négligeant les excentricités des orbites de la Terre et de Vénus, nous avons trouvé :

$$k = 0,28$$

On en tire la distance du Soleil :

$$D_{TS} = AB \cdot (1-k) / (k \cdot \Delta\beta)$$

$$D_{TS} = 1,51 \cdot 10^8 \text{ km}$$

Nota : toutes les images et l'ensemble du dossier réalisé pour les Olympiades de Physique sont accessibles depuis le site du CLEA <http://www.ac-nice.fr/clea> aux rubriques « actualité » ou « avec nos élèves ».

■

Présentation de la méthode des contacts

G. Paturel, Observatoire de Lyon

Si nous faisons le bilan des observations du CLEA nous parvenons à un excellent résultat pour la distance Terre Soleil le 8 juin. Le tableau ci-dessous donne l'ensemble des mesures (en million de kilomètres - Mkm).

153 Calern
122 Chinon
191 Dijon_1
132 Dijon_2
184 Draguignan_1
151 Draguignan_2
168 Ferney-V.
161 Spitzberg
118 Lyon
165 Marseille
125 St-Genis L.
135 Tarentaise
244 Versailles_1 *
159 Versailles_2
151 ± 7 Mkm Moyenne

* rejeté à 2σ

Attention, ce résultat n'est pas l'unité astronomique mais simplement la distance Terre-Soleil le 8 juin 2004. Pour obtenir l'unité astronomique, c'est-à-dire

le demi grand axe de l'orbite de la Terre, il faudrait connaître les éléments de l'orbite de la Terre (excentricité, direction de l'aphélie etc...) - voir page 8 de ce Cahier.

Un calcul détaillé donnerait pour l'unité astronomique $UA=149$ Mkm, ce qui est l'approximation souvent adoptée.

Une connaissance détaillée des orbites de Vénus et de la Terre peut même conduire à une valeur encore meilleure de l'UA. C'est la méthode que l'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides (IMCCE) a mis en œuvre. Il suffit d'avoir une mesure de l'heure précise d'un des quatre contacts des bords de Vénus et du Soleil pour obtenir une détermination. Expliquons comment cela est possible.

Les éléments des orbites de la Terre et de Vénus peuvent être obtenus par l'observation directe, à l'exception de la valeur des demis grands axes. Celui de l'orbite de la Terre est précisément l'UA que nous cherchons ; celui de Vénus en est une fraction connue, grâce à la troisième loi de Kepler. Si nous possédons une première estimation de l'UA, il est possible, au prix d'un calcul complexe, de prédire les instants des contacts. L'écart entre la valeur prédite et la valeur observée,

pour le contact choisi, sera relié à l'écart entre la première valeur adoptée de l'UA et la valeur mesurée. Si notre première estimation de l'UA n'est pas excellente, il sera possible de faire des itérations, c'est-à-dire de ré-injecter le premier résultat dans le calcul et de recommencer jusqu'à obtenir une convergence vers le résultat final.

C'est l'une des méthodes utilisées par J.E. Arlot et P. Rocher et dont les résultats sont présentés dans l'article qui suit. Les calculs compliqués réclamaient tout le savoir faire de l'IMCCE, mais les mesures des temps des contacts ont été faites par une large communauté d'écoliers et d'étudiants européens (et même extra-européens).

Analyse des observations des contacts

Le résultat final du calcul de l'UA

J.E. Arlot, P. Rocher, IMCCE

Résumé : *Nous avons reçu toutes les observations de contact effectuées le 8 juin dernier. Nous avons effectué le calcul de l'unité astronomique [...] en effectuant plusieurs tris des données reçues. Que peut-on retenir de tous les résultats obtenus? Quelle valeur « finale » peut-on trouver pour l'unité astronomique? Pouvons-nous comparer ces résultats à ceux obtenus lors des siècles précédents? Avec quelle précision les observateurs d'aujourd'hui ont-ils effectué les mesures? Nous allons tenter de faire une synthèse des résultats obtenus ci-dessous.*

La base de données

Nous avons reçu 4550 timings des contacts venant de 2500 observateurs inscrits. La plupart des observations viennent d'Europe mais des données sont aussi venues d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et d'Australie (voir les cartes disponibles sur le site Web). Malheureusement, les observateurs étaient dispersés, mal situés -c'est-à-dire ne profitant pas du maximum de parallaxe- ce qui rend les méthodes de Delisle et Halley très difficiles à appliquer.

coordonnées puisque ces contacts n'étaient pas observables de là. Ces données correspondent à la base de données complète incluant même les données erronées. Les calculs définitifs seront effectués en utilisant "une base de données propre" choisissant seulement les "bonnes" observations selon plusieurs critères sur lesquels nous reviendrons.

Table du nombre de "timings" reçus. T2 et T3
sont les deuxième et troisième contacts.

	T2	T3
Europe	1105	1297
Afrique	14	21
Amériques	3	30
Asie	59	60
Australie	14	0
Tous	1195	1408

Notez que les observations de T2 d'Amérique correspondent à des erreurs d'entrée des

Le calcul de l'unité astronomique

A partir d'une valeur initiale de l'Unité Astronomique (UA), nous faisons des prévisions et conservons seulement les observations proches des prévisions. Ces observations permettent de déterminer une nouvelle UA qui permet alors de calculer de nouvelles prévisions des contacts et ainsi de suite. Le processus convergera vers une UA finale.

Nous effectuons un calcul en disposant de toutes les données et donc en effectuant au préalable un tri des « bonnes » observations et en éliminant les « mauvaises » observations. Comment faire ce tri? À partir d'une valeur de l'UA, nous calculons les contacts théoriques. Nous gardons seulement les données proches des instants prévus (à quelques secondes de temps pourvu que les données conservées gardent une répartition gaussienne) et

déterminons alors une nouvelle UA permettant de recalculer de nouveaux contacts théoriques, et ainsi de suite. En fait, si on débute avec la valeur "vraie" connue de l'UA, le résultat final ne change pas mais on n'a pas besoin d'itérer le processus.

Table des résultats. *n* est le nombre de "timings", σ est l'incertitude et Δ est l'écart à l'UA "vraie".

Contact	<i>n</i>	résultat (km)	σ (km)	Δ (km)
T2 ^a	262	149590268	108359	7602
T3 ^a	421	149226725	324822	371145
Tous ^a	1066	149507347	173437	90523
Tous ^b	583	149608708	11835	10838

^a **Premier critère** : on élimine les observations à plus de 8 secondes de la prédiction (intervalle 16 sec).

^b **Deuxième critère** : on élimine les observations à plus de 4 secondes de la prédiction (intervalle 8 sec).

Quelles conclusions tirer de ces résultats?

Le meilleur résultat est celui dont la dispersion est la plus faible et non pas celui ayant le plus faible écart à l'UA (puisque nous ne sommes pas sensés connaître la « vraie » UA) ; c'est celui correspondant aux « meilleures » observations (intervalle de 8 secondes) qui nous donne une erreur de 10 000 km seulement.

On remarque un écart plus faible à la « vraie » UA pour les contacts T2 (intervalle de 16 secondes); cela vient du fait d'une grande parallaxe pour la majorité des observateurs européens lors du contact T2 (lever du Soleil) mais la turbulence et la difficulté d'observation entraînent une très grande erreur sur ce résultat.

Les contacts T3, plus nombreux, ne donnent pas de bons résultats, la majorité des observateurs européens l'ayant observé proche du méridien et du zénith. C'est le moment où la parallaxe est la plus faible et même une très bonne mesure donne des résultats médiocres.

Lorsque les timings des contacts sont pondérés par le lieu (i.e. par la parallaxe), le résultat s'améliore un peu mais le nombre de lieux bien situés est très faible (Australie, Sibérie, ...).

Notre résultat final peut donc être celui de tous les contacts de l'intervalle de 8 secondes (583 observations) :

$$\text{UA} = 149\,608\,708 \text{ km} \pm 11\,835 \text{ km}$$

(écart à l'UA 10 838 km)

Ce résultat est meilleur que celui de Newcomb de 1890 : UA=149668378±330000 km qui s'écarte de

l'UA "vraie" de 70508 km. Eliminer plus d'observations (réduire l'intervalle de conservation des données) ne donne pas de meilleurs résultats, les observations étant alors trop peu nombreuses et ne présentant plus une répartition gaussienne.

Ce bon résultat a pu être obtenu parce que l'on connaît un critère permettant de choisir de bonnes observations, car l'on sait que nos prédictions sont très proches de la réalité. En fait, dans la prédiction des contacts, la parallaxe est le paramètre dont on connaît la valeur avec la meilleure précision et cela avec un facteur mille par rapport aux autres paramètres entrant dans le calcul.

Conclusion

Notre but est atteint : montrer que des jeunes (et moins jeunes) collaborant dans le monde entier, permettent de faire une mesure scientifique de qualité. Une conclusion très intéressante et surprenante est la qualité des observations effectuées, bien supérieure à celle des siècles précédents. Cela vient de la bonne connaissance des longitudes des lieux d'observation, de la disponibilité du temps universel en tout lieu et de la possibilité d'enregistrement du phénomène sur CCD ou caméscope.

Pour ceux qui souhaitent refaire les calculs, les bases de données des observations sont en ligne et des logiciels permettent de refaire les mesures en choisissant ses observations. Consultez nos pages web :

<http://vt2004.imcce.fr/vt2004i-dev>.

La liste complète des fiches pédagogiques est disponible sur :

<http://wvww.imcce.fr/vt2004/fr/fiches.html>.

Le colloque VT-2004 organisé à Paris

A Paris, les 5 et 6 Novembre 2004, s'est tenu le colloque européen VT-2004 (comprenez "Venus Transit 2004"). Une participation exceptionnelle d'une large communauté, principalement européenne, autour de l'observation des temps des contacts a permis, avec l'aide de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides) de mesurer l'unité astronomique, avec une précision encore inégalée par cette méthode. Les premiers résultats donnés dans l'article ci-dessus, y ont été présentés.

Un peu d'histoire :

III - les observations des transits de Vénus (1874 - 1882)

Jean-Noël Terry

Résumé : *Cet article présente le dernier volet de la fresque historique sur les observations des transits de Vénus : les observations des deux derniers transits avant celui de cette année.*

En 1874 :

En 1824, **Johann Encke** fit une analyse rigoureuse des résultats de 1769, trouvant une parallaxe moyenne de 8.604''.

La distance obtenue était trop élevée, 153 millions de km, on le savait par l'utilisation d'autres méthodes, donc on persiste !

En 1871, le Congrès des Etats-Unis vote des crédits pour 8 expéditions : 5 au Sud (îles Kerguelen, Tasmanie, Nouvelle Zélande, île de Chatham, le Pacifique) et 3 au Nord (Nagasaki au Japon, Vladivostok en Sibérie et Pékin).

La photo étant née, chaque équipe fut équipée d'un télescope de 5 pouces avec plaque photo.

Mais la météo ne fut pas favorable. Il y eut des mesures en Nouvelle-Zélande, à Pékin où James Watson découvrit aussi un astéroïde le 10 octobre (n°139), baptisé Juéwa par le roi de Chine.

A Vladivostok, le temps fut instable et les photos de mauvaise qualité.

Les photos utilisables furent celles de Nagasaki et Kerguelen.

Des expéditions furent montées par la France (6 : à Pékin avec Fleuriais, au Japon avec J.Janssen (et son revolver photographique) et F.Tisserand, à Saïgon avec Héraud, aux îles Campbell avec Bouquet de la Grye, à l'île St-Paul (océan Indien) avec Mouchez, et à Nouméa avec André, la Hollande, le Danemark, l'Autriche, l'Italie, le Mexique, l'Allemagne.

Pour l'île St-Paul, on savait peu de choses. Des renseignements furent recueillis auprès de pêcheurs de morue qui allaient dans les parages de décembre à mars. Le personnel d'ouvriers partit de Toulon le 1^{er} avril pour la Réunion, les observateurs et les instruments le 2 août. Tout le monde se réunit à la

Réunion le 29 août sous les ordres du capitaine de vaisseau Mouchez à bord du bateau « Dives ».

La mission quitte l'île le 6 septembre et, après une escale à l'île Maurice, elle arrive à St-Paul le 23 septembre. Le lieu n'est guère accueillant, le débarquement est difficile. Il faut construire des cabanes, installer le matériel, déterminer la longitude.

Début décembre, le temps est détestable, la nuit du 8 au 9, il pleut à seaux et il vente. Puis le temps se dégage pendant les 5 heures d'observation ; on réalise 500 bonnes photos !!

La mission repart le 4 janvier 1875. Une pyramide commémorative est dressée sur l'île. La mission arrive à La Réunion le 20 février où la mission hollandaise a connu l'échec à cause du temps resté couvert. Tout le monde rentrera à Paris le 5 mars. L'Angleterre envoya du monde en Egypte et en Inde.

Le capitaine anglais G.L.Tupman observa le transit depuis Punchbowl Street à Hawaï. Le roi David Kalakaua, qui régna de 1874 à 1891, était intéressé par l'astronomie. Dans une lettre au capitaine Floyd, du 22 novembre 1880, il souhaitait la construction d'un observatoire à Hawaï. Il visita l'Observatoire de Lick, lors d'un voyage aux USA. En 1884, un télescope de 5 pouces fut installé sous un dôme, mais il ne fut pas utilisable par manque de stabilité de son socle.

Les résultats ne furent guère plus probants : Airy calcula 8.754' ; Edward Stone 8.88' et Tupman 8.81'.

En 1882 :

Le transit du 6 décembre 1882 était le dernier avant le 21^{ème} siècle, et visible plus facilement. Mais une certaine désillusion se faisait jour.

Aux Etats-Unis, ce fut tout de même un succès populaire avec un télescope dans la rue Broad Street, non loin de la Bourse, et des gens observant à travers des verres fumés. Quelques écoles furent même fermées pour la journée et le phénomène fit la une des journaux.

Des observatoires furent installés en Argentine et en Afrique du Sud (Natal).

Une observation eut lieu à **Wellington, en Afrique du Sud** :

Miss Abbie Park Ferguson était professeur depuis 1874 dans une école protestante pour jeunes filles à Wellington. Elle était passionnée d'astronomie et créa un cours d'astronomie dans cette école. Connaissant le Dr David Gill, astronome au Cap, elle le fit venir pour des conférences.

En 1881, un nouvel observatoire fut construit au Mt Holyoke et l'ancien télescope fut donné à l'école, qui fit construire un petit observatoire dans le jardin, juste à temps pour le transit de Vénus du 6 décembre 1882.

1882 fut une année particulière : une « grande comète » était apparue (David Gill réalisa l'importance de la photo), et c'était le dernier transit avant 2004 et 2012.

Le professeur **Simon Newcomb** encouragea les professeurs et étudiants de l'école à monter leur observation. C'est ainsi que les demoiselles **Cummings, Ferguson et Brown** figurent parmi les astronomes professionnels et sont créditées de cette observation.

Les Français organisèrent 10 missions : Haïti (Callandreau), Mexique (Bouquet de la Graye), Martinique (Tisserand, Bigourdan, Puiseux), Floride (colonel Perrier), Santa-Cruz (capitaine Fleuriais), Chili (lieutenant de vaisseau Bernardières), Chubut (Hatt), Rio-Negro (Perrotin, directeur de l'Observatoire de Nice), Cap Horn (lieutenant de vaisseau Courcelle-Seneuil), Bragado (lieutenant de vaisseau Perrin).

Ce transit n'apporta pas de progrès sensible dans la précision de la parallaxe : 8.79' (Newcomb). On ne pouvait faire mieux avec cette méthode.

En 2004 :

La page était blanche... nous avons contribué modestement à en écrire quelques lignes à l'adresse des enseignants !! ■

La comparaison du dernier résultat avec les calculs des siècles précédents

En compilant les résultats obtenus lors des siècles précédents, on peut donner les valeurs suivantes :

Au XVIIème siècle :

- Horrocks, UA= 94 000 000 km, diff. à l'UA : 55 597 870 km

Au XVIIIème siècle :

- Pingré et Short, 1761, UA= 138 540 000 km ± 14 400 000 km, diff. à l'UA 11 057 870 km
- Lalande et Pingré, 1761 & 1769, UA= 151 217 000 km ± 1 512 000 km, diff. à l'UA : 1 619 130 km.

Au XIXème siècle :

- Newcomb, 1890, UA= 149 668 378 km +/- 330 000 km, écart à l'UA 70508 km

Au XXIème siècle :

- Méthode ci-dessus (J.E. Arlot et P. Rocher), 2004, UA = 149 608 708 km ± 11 835 km, écart à l'UA 10 838 km.

La comparaison avec les résultats du XXIème siècle montre plusieurs choses:

- avant le XVIIIème siècle, l'UA était très sous-estimée
- après le passage de 1761, l'UA n'est pas très bien déterminée mais en associant les passages de 1761 et de 1769, les résultats s'améliorent. Le calcul de Newcomb en 1890, avec correction des longitudes mal connues au XVIIIème siècle, donne un très bon résultat : les observations du XIXème siècle ne permettront qu'une diminution de l'erreur.

J.E. Arlot et P. Rocher

Fiche pédagogique du CLEA

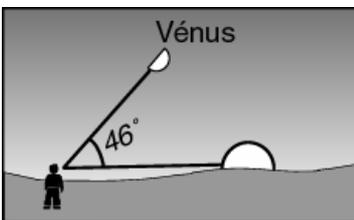
Calculer la distance du Soleil à partir du passage de Vénus du 8 juin

Le 8 juin 2004, on a pu voir Vénus passer devant le Soleil. Cela ne s'était pas produit depuis 1882. Nous vous proposons de calculer la distance du Soleil à partir de photographies de cet évènement.

1. Première partie

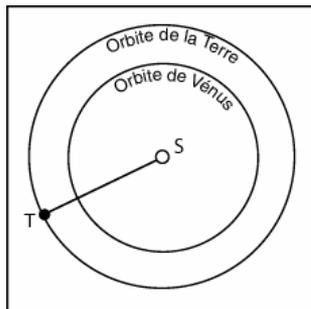
Vénus est souvent visible le soir ou le matin, très lumineuse. On l'a surnommée l'étoile du Berger, mais c'est une planète, qui tourne autour du Soleil. Son observation permet de calculer les dimensions relatives des orbites de Vénus et de la Terre.

Vue depuis la Terre, Vénus ne s'éloigne jamais à plus de 46° du Soleil. C'est ce qu'on appelle son élongation maximale.



Le 29 mars 2004, l'angle entre la direction du Soleil et celle de Vénus était maximal et mesurait 46° .

a. Sur ce schéma, placer Vénus sur son orbite pour que l'angle \widehat{STV} soit maximal.



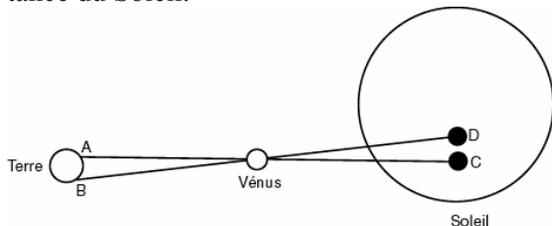
b. On sait que cet angle vaut alors 46° .

En déduire $\frac{SV}{ST}$.

On considère que les orbites de la Terre et de Vénus sont des cercles centrés sur le Soleil.

2. Deuxième partie

En observant un passage de Vénus devant le Soleil depuis deux lieux éloignés, on peut calculer la distance du Soleil.

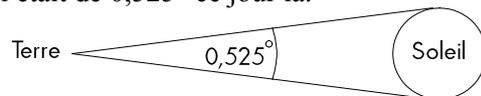


Principe : les observateurs placés sur Terre en A (Dijon) et B (La Réunion) voient Vénus devant deux points différents du Soleil, C et D.

a. Les deux photos de la page suivante ont été prises exactement à la même heure (8h30 en Temps

Universel) et orientées de la même manière (le nord en haut), la première depuis l'île de La Réunion, la deuxième depuis Dijon.

A l'aide d'un calque, superposez ces deux photos. Déterminez l'écart en degrés entre les deux images de Vénus, sachant que le diamètre apparent du Soleil était de $0,525^\circ$ ce jour là.



b. Ayant mesuré l'azimut et la hauteur du Soleil à 8h30 TU à Dijon, on a pu matérialiser sur un globe terrestre la direction du Soleil observé depuis La Réunion et depuis Dijon.

Déterminer la distance entre ces deux lignes de visée sachant que le diamètre de la Terre est de 12740 km.



(Pour faire cette photo, le photographe s'est placé de telle manière que la ligne de visée soit perpendiculaire au plan contenant les deux bâtonnets)

c. On considère que (AB) et (CD) sont parallèles (perpendiculaires à la droite Terre - Soleil). En utilisant les résultats des questions 1b et 2b, calculer CD.



d. On vient d'obtenir la mesure de CD en km. On a trouvé dans la question 2a sous quel angle on voyait CD.

Il reste à calculer à quelle distance il faut se placer du Soleil pour voir la longueur CD sous l'angle déterminé au 2a et vous aurez la distance de la Terre au Soleil.

Les photos (les deux photos sont à la même échelle et orientées de la même manière, le nord en haut).

Le Soleil et Vénus photographiés depuis St Louis (île de la Réunion) le 8 juin 2004 à 8 h 30 TU (Temps Universel).

Latitude 21°17' Sud
Longitude 55° 25' Est.

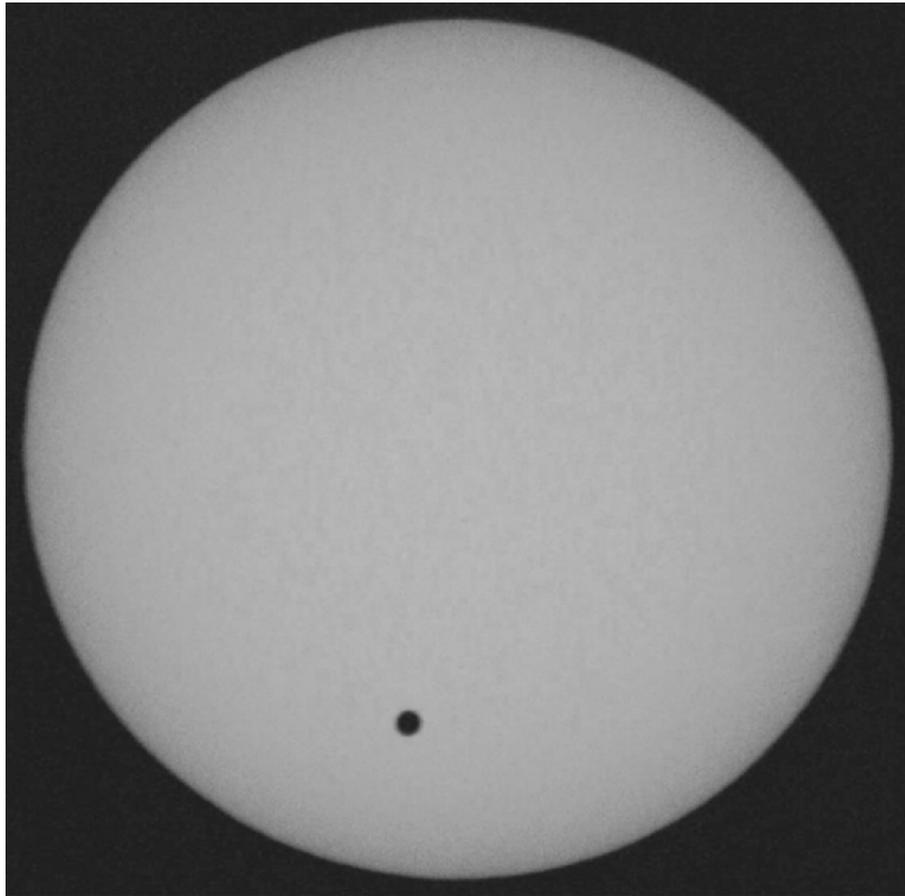


Photo André Peyron

Vénus photographiée depuis Dijon le 8 juin 2004 à 8 h 30 TU (Temps Universel).

Latitude 47°19' Nord
Longitude 5° 2' Est.

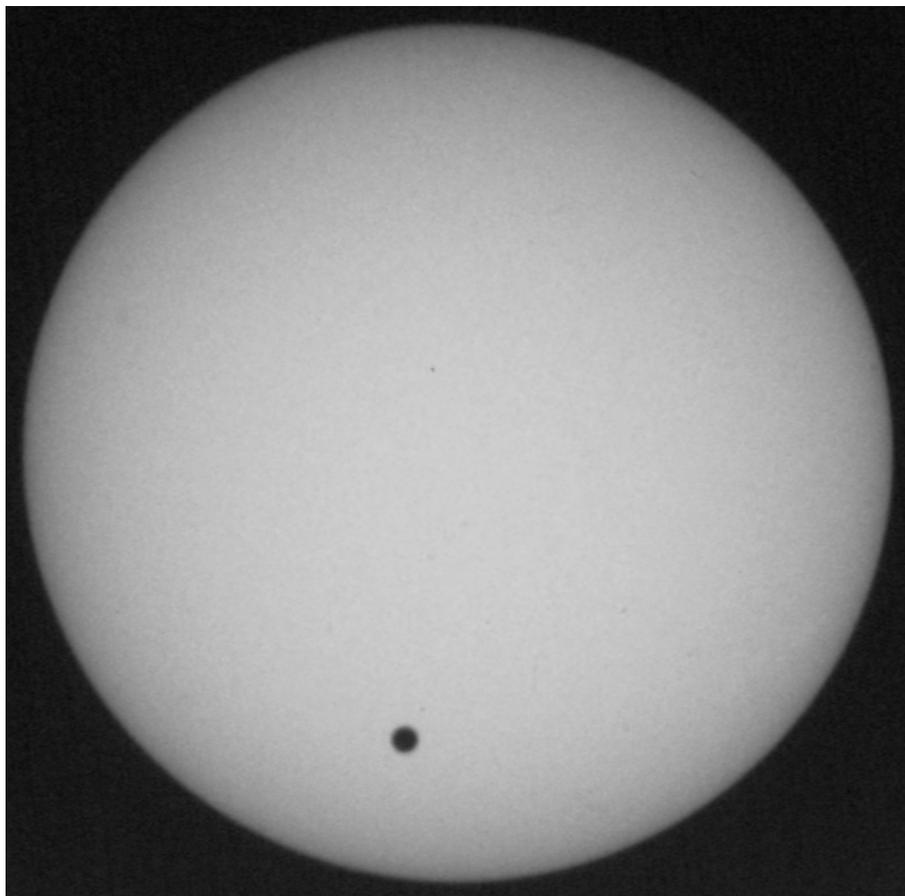


Photo Pierre Causseret.

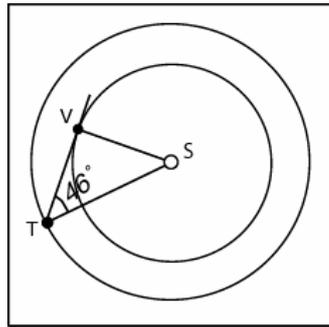
Correction et remarques

Première partie.

a. (TV) est tangente à l'orbite de Vénus.

b. Le triangle STV est rectangle en V.

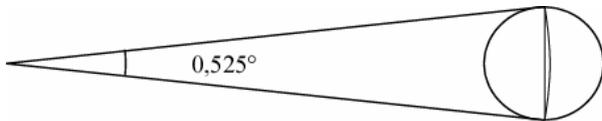
$$\frac{SV}{ST} = \sin 46^\circ \approx 0,72$$



Il faut signaler que, les orbites des planètes étant elliptiques, l'élongation maximale de Vénus varie entre 45° et $47,75^\circ$.

Deuxième partie

a. Le diamètre du Soleil sur la photo est de 115 mm pour $0,525^\circ$, l'échelle est donc de $0,0046^\circ$ par mm. Dans ce genre d'exercice, on considère que la mesure d'un segment est proportionnelle à l'angle sous lequel on le voit depuis la Terre. C'est vrai pour la mesure des arcs de cercle centrés sur la Terre, cela revient donc ici à assimiler le segment à l'arc de cercle. Les angles étant petits (inférieurs au degré), l'erreur est négligeable.



Quand on superpose les deux photos à l'aide d'un calque, on obtient un écart entre les deux images de Vénus de 1,5 à 2 mm, ce qui donne $0,0069$ à $0,0092^\circ$ avec notre échelle. En utilisant les images numérisées (sur le site du CLEA) et en les superposant à l'aide d'un logiciel, on peut être plus précis. On trouve environ $0,008^\circ$.

b. Diamètre de la Terre sur la photo : 39 mm pour 12740 km

Ecart mesuré entre les deux bâtons sur la photo : 25 mm, ce qui correspond à 8200 km environ.

c. On a considéré (AB) et (CD) parallèles. On peut donc utiliser le fameux théorème de Thalès pour trouver CD.

Le résultat de la question 1a ($SV/ST = 0,72$) permet d'écrire : $CV = 0,72 CA$

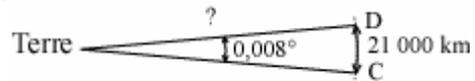
donc $VA = 0,28 CA$ et $CV/CA = 0,72/0,28$

Avec en plus $AB = 8200$ km, on trouve $CD \approx 21\ 000$ km.

d. Dernière étape : il reste à trouver à quelle distance on est du Soleil pour voir un segment de 21 000 km sous un angle de $0,008^\circ$.

Plusieurs méthodes sont possibles :

Avec des proportions (en assimilant le segment de 21 000 km à un arc de cercle centré sur l'observateur) :



$0,008^\circ \rightarrow 21\ 000$ km. En divisant par 0,008 puis en multipliant par 360 :

$360^\circ \rightarrow 945\ 000\ 000$ km. En divisant par 2π , on obtient une distance de 150 000 000 km environ.

Ce calcul peut aussi s'effectuer en utilisant une tangente ou encore en transformant l'angle en radians.

e. Précision :

Le résultat semble tout à fait correct, à comparer avec la distance réelle de 151 800 000 km ce jour-là. Mais si on considère l'imprécision sur les mesures, les problèmes d'orientation des photos et de mise à l'échelle, on s'aperçoit que l'incertitude est en gros comprise entre 10% et 20%.

Conclusion : On peut affirmer que la distance Terre Soleil est comprise entre 120 et 180 millions de km. Ce n'est pas très précis mais obtenir un ordre de grandeur correct de la distance Terre Soleil, c'est déjà bien !

Ont participé à la mise au point du protocole et aux prises de vue : Thérèse Derolez, Gilles Dodray, Georges Paturel, André Peyron et Pierre Causeret.

Comité de Liaison Enseignants Astronomes. Site Internet : www.ac-nice.fr/clea

REMUE MENINGES

Sommes nous sûrs de nos connaissances en mathématiques ?

Attention la lecture de cet article peut se révéler dangereuse. Nous vous recommandons la plus grande attention. Les connaissances mathématiques requises sont du niveau de terminale S, voire un peu au-delà. Mais vous allez voir qu'il y a de quoi ébranler les certitudes des plus savants.

Rappelons tout d'abord les expressions qui font entrer les plus belles constantes mathématiques (i étant le nombre imaginaire tel que $i^2 = -1$):

$$e^{i\pi} = -1, \text{ et de même } e^{2i\pi} = 1.$$

(Pour que l'expression soit encore plus belle on l'écrit parfois : $e^{i\pi} + 1 = 0$, dite formule d'Euler).

On se demande alors à quoi est égale la forme plus générale : e^{ix} ? Voici une démonstration en trompe l'œil fort troublante :

$$\begin{aligned} e^{ix} &= e^{2i\pi x/2\pi} \\ e^{ix} &= (e^{2i\pi})^{x/2\pi} \\ e^{ix} &= (1)^{x/2\pi} \end{aligned}$$

d'où : $e^{ix} = 1$, pour toute valeur de x .

Ce résultat semble contredire la première relation que nous donnions en introduction (et qui est correcte). Où est donc l'erreur ? La solution de cette énigme est donnée au bas de la dernière page de ce numéro.

Pour vous consoler si vous ne trouvez pas, voici une approximation facile à vérifier avec une calculatrice et qui est correcte au milliardième près :

$$\pi \approx \sqrt[4]{\frac{2143}{22}}$$

G. et Ph. Paturel, B. Rutily

■

LECTURE POUR LA MARQUISE

L'univers exploré, peu à peu expliqué

Jean-Claude Pecker, éd. Odile Jacob, sciences, ISBN 2-7381-1188-2

Jean-Claude Pecker, membre de l'Institut et professeur honoraire au Collège de France est aussi un vulgarisateur remarquable. Le propos de ce nouveau livre se veut modeste ; il ne l'est pas. Au contraire il fourmille de références précises et de réflexions pertinentes sur la lente élaboration du savoir sur l'Univers. Le premier chapitre s'intitule l'Univers contemplé par quarante siècles. Tout au long de l'ouvrage on découvre comment l'homme est passé du mythe à l'explication rationnelle et scientifique, guidée par les faits. Cette partie, développée dans les six premiers chapitres, enchantera à la fois les historiens et les philosophes et les scientifiques passionnés d'épistémologie astronomique et astrophysique.

Les trois derniers chapitres présentent la cosmologie moderne, née réellement avec les théories relativistes. Jean-Claude Pecker, avec son ouverture d'esprit habituelle, s'attache à prendre du recul sur la théorie standard. Il présente les idées les plus originales et jette un œil critique sur le "Big-Bang" classique, sans sortir du cadre rationnel que la science vraie impose. Cette dernière partie devrait alimenter les réflexions des étudiants, des chercheurs et de tous les hommes cultivés qui souhaitent réfléchir sagement à ce qu'est notre univers, sans subir la pression de dogmatismes toujours vivaces.

Ce livre pourrait servir de préambule au livre de J.V. Narlikar, présenté ci-après. Rappelons que J.C Pecker, en invitant J.V. Narlikar au Collège de France, a organisé en 2004 une série de conférences, qui s'est conclue par un stimulant colloque, "Facts and Problems".

G.P.

Faits et spéculations en cosmologie

Jayant Vishnu Narlika, éd. Collège de France/Fayard-2004

Ce petit livre présente la leçon inaugurale faite par Jayan Vishnu Narlikar, le 20 novembre 2003, au Collège de France.

On connaît les réticences du cosmologiste Indien par rapport au modèle du Big Bang, même après le décès, en 2001, de Fred Hoyle, chef de file des opposants.

Si les 57 pages sont de petit format et sans équations, la clarté du texte pose de vraies questions au moment où la cosmologie semble au pied du mur, pour traiter l'accélération de l'expansion de l'univers et la présence d'une matière obscure.

La question centrale posée par l'auteur est : la cosmologie est-elle ancrée sur des faits avérés ou est-elle spéculative ? Donc, en fait, est-elle une science ?

Sans polémique, J.V. Narlikar énonce les problèmes à résoudre. Mais le vertige peut nous saisir : aurons-nous la chance de connaître, dans un avenir pas trop lointain, les réponses tranchant le débat, ceci grâce à des observations indubitables ?

Voilà en tous cas une saine lecture pour les neurones : à méditer sans modération !

Jean-Noël Terry

CD-Lune -2004

CISAF- IAP/CNRS et SAF, sous la direction d'Henry Bovy.

Grâce à l'aimable obligeance de Serge Koutchmy, chercheur à l'Institut d'Astrophysique de Paris et

principal investigateur du projet CISAF, nous avons eu l'occasion d'évaluer ce CD qui présente des photographies absolument extraordinaires de la Lune. La lecture du CD peut se faire avec la version 98 de Windows et une mémoire de 64 Méga-octets.

Les différentes figures "sélénologiques" (pardonnez moi d'inventer ce mot mais je n'ai pas osé dire "géologiques" en parlant de la Lune) y sont répertoriées : les cratères, les mers, les monts, les fissures etc.

Vous y trouverez des digitalisations d'images anciennes (avant 1900), des images des missions Apollo et surtout l'Atlas Virtuel de la Lune. Cet Atlas est une merveille. Vous avez l'impression de vous promener sur la Lune. Avec l'option réglages vous pouvez faire varier la position du terminateur. Le zoom est impressionnant. Nul doute que plusieurs applications éducatives pourront en être tirées. La première qui vient à l'idée est évidemment le calcul de la hauteur des montagnes lunaires par la mesure de l'ombre portée. Une autre application pourrait être la mesure de la parallaxe de la Lune par le pointage de cratères bien définis depuis deux sites distants (suggestion de J.E. Arlot de l'institut de Mécanique Céleste et de Calcul des éphémérides). Il est possible, paraît-il, de voir le relief, en affichant deux images décalées angulairement par la libration, et en les regardant chacune avec un œil.

Serge Koutchmy est en train d'étudier la possibilité de diffuser ce magnifique CD dans le prochain Cahier Clairaut.

G.P.



LA VIE ASSOCIATIVE

Instructions pour les auteurs

Vous trouverez ci-dessous les instructions pour publier dans les Cahiers Clairaut. Nous prions les auteurs de respecter ces consignes, pour nous faciliter le travail d'édition.

Format

Type de fichiers : MS word (fichier .doc)

Marges : gauche, droite, haute : 2 cm, basse : 3 cm.

Format papier : A4 (21 × 29,7 cm).

Polices : Times New Roman de taille 11.

Mise en page

Votre article doit comporter obligatoirement un titre, votre nom et adresse et un bref résumé.

Un article possède 6 pages au maximum, figures comprises, sinon il faut le découper en deux articles. Il est très important que la mise en page soit la plus "**dépouillée**" possible : maximum de deux niveaux de section, pas de "puces" automatiques.

Figures

Les figures seront publiées sur une largeur de 8,6 cm, exceptionnellement sur 18cm. Les figures sont au format gif ou jpg. Elles doivent être **données dans des fichiers séparés** et clairement identifiées (fig1, fig2, etc...). Indiquez simplement dans le texte l'emplacement que vous souhaitez, de manière bien lisible et de telle façon que nous puissions retrouver facilement le nom du fichier correspondant. Par exemple :

(INSERER ICI fig1).

Les légendes des figures doivent être données sur une page séparée, à la fin de votre texte et bien identifiées (légende fig1).

Symboles mathématiques

Utilisez les opérateurs mathématiques de l'option "caractères spéciaux", par exemple :

× et non x ; - et non -.

Compte rendu de l'Ecole d'Eté d'Astronomie de GAP 2004

Nous vous avons déjà dit (CC107) que cette cuvée 2004 avait été exceptionnelle. Pour en juger il nous a suffi de lire les nombreux courriers électroniques échangés au retour. Pour les plus sportifs, la journée commençait par une petite mise en jambe matinale dans les bois, sous la houlette dynamique de Lucette. Après la douche et le petit déjeuner, les cours avaient lieu. Cette année nous avons eu la chance d'accueillir Florence Durret de l'Institut d'Astrophysique. Elle a su faire partager sa compétence dans le domaine des galaxies en interaction et des amas de galaxies. Les cours fondamentaux n'étaient pas oubliés : photométrie, spectrométrie, systèmes de coordonnées et repérage dans le ciel, évolution stellaire, etc. L'après midi était en général consacré aux travaux dirigés et aux ateliers. Les moins bricoleurs ont réussi avec l'aide énergétique de Daniel à repartir avec une monture équatoriale. Puis, à la nuit tombée, les observations pouvaient commencer, depuis le terrain de golf qui offre une vue bien dégagée. Les plus courageux ont pu suivre les variations de l'étoile delta Céphée ou observer la grande galaxie d'Andromède. D'autres avaient préféré enregistrer, de jour, la course du Soleil ou mesurer sa température. Des expériences

Ne pas mettre d'unités dans les formules, seulement dans les résultats numériques. Pour les expressions mathématiques compliquées, utilisez si possible l'éditeur d'équations de MS word.

Les variables mathématiques utilisées dans le texte doivent être en italique.

Soumission d'un article

Les articles doivent être envoyés :

Soit par courrier postal (disquette ou CD) à :

**Paturel G., Observatoire de Lyon,
69561 Saint-Genis Laval CEDEX**

Soit par courrier électronique à :

patu@obs.univ-lyon1.fr

(Des adresses supplémentaires seront fournies ultérieurement).

C. Petit et G. Paturel ■

rare ont été tentées : L'expérience de Cavendish, mettant en évidence l'attraction universelle entre les corps, s'est parfaitement déroulée. En revanche, nous avons eu quelques soucis avec l'expérience plus classique du pendule de Foucault. Nous recommencerons l'an prochain après quelques améliorations.

Enfin, la dernière soirée sera inoubliable pour chacun de nous. Sans concertation, les encadrants et les stagiaires avaient préparé des vidéos projections agrémentées de "bulles" (miracle du numérique). Tant dans la préparation que dans la projection ce fut une débauche de fous rires.

Cette semaine de l'EEA2004 fut à la fois économique[♥], sportive, culturelle et amusante. C'est si rare de travailler en s'amusant !

En 2005 l'école d'été aura encore lieu au col Bayard, près de Gap, du 19 au 26 août. Nous accueillerons les conjoints et les enfants des participants, dans la limite des places disponibles. Réservez ces dates dans vos vacances !

[♥]Le CLEA subventionnait 40% des frais de séjour des participants (stagiaires ou encadrants).

Liste de diffusion pour le CLEA

La liste de diffusion, C-L-E-A@yahoogroupes.fr, mise en place par Jean Ripert et Christian Larcher, connaît un fort succès. Elle permet des échanges rapides et très vivants entre les membres du CLEA. Inscrivez-vous!

LE COURRIER DES LECTEURS

Qu'appelle-t-on, le printemps, l'été, l'automne, l'hiver ?

Une question importante a été soulevée par notre secrétaire Jean Ripert. Nous vous donnons le message qu'il a transmis et qui a suscité de très nombreux commentaires, parfois contradictoires. Il était important de faire le point. Voici ce dont il s'agit :

«*Dans un journal local que je ne citerai pas, j'ai trouvé un long article sur l'astronomie avec des éphémérides. Je cite de mémoire une phrase qui a attiré mon attention : "...le 21 décembre ce sera le solstice d'hiver (d'été dans l'hémisphère sud)..."* Qu'en pensez-vous ? » J.R.

Voici la conclusion :

Les solstices dits d'été et d'hiver sont définis par le passage du Soleil aux points respectivement de déclinaison maximale (+23°27') et minimale (-23°27'). Les équinoxes dits de printemps et d'automne sont définis par le passage du Soleil aux points de déclinaison nulle (respectivement croissante et décroissante). Dans cette définition, il

n'est pas question de température moyenne, de saison chaude ou froide. Ce sont bien les dates qui fixent le nom des saisons.

Cependant, en interrogeant, par l'intermédiaire de notre collègue B. Rutily, quelqu'un vivant dans l'hémisphère sud, nous avons appris, qu'on y parle de printemps quand dans l'hémisphère nord nous parlons d'automne et réciproquement. De même, il nous a été confirmé par M.-F. Duval, qu'en Juin au Pérou, les gens parlent d'hiver (et réciproquement ils doivent parler d'été quand nous sommes en hiver). Donc, le langage courant ne s'accorde pas avec la définition astronomique. Cet abus de langage résulte semble-t-il de l'influence des pays industrialisés, qui sont principalement situés dans l'hémisphère nord. C'est ainsi que l'hiver a été associé à la saison froide et l'été à la saison chaude. Notons qu'à l'équateur c'est aussi l'appellation du nord qui s'est imposée. Il n'en reste pas moins que les saisons sont définies, au sens astronomique du terme, par les dates, non par la température moyenne, même si le "Petit Robert" définit l'hiver comme la plus froide des quatre saisons.

■

Réponse au piège du "remue méninges"

Ce qui est faux dans la démonstration en trompe l'œil, est la transformation de $(e^z)^n$ en e^{zn} . Si cette transformation est bien légitime pour $z \in \mathbb{R}$, elle n'est vraie dans \mathbb{C} que dans deux cas particuliers : $n \in \mathbb{Z}$ ou $-\pi < \text{Im}(z) \leq \pi$ ($\text{Im}(z)$ étant la partie imaginaire de z). Le premier cas est évident (au moins pour $n \in \mathbb{N}$) en écrivant $(e^z)^n = e^z e^z e^z \dots n$ fois, ce qui est bien e^{nz} , selon la propriété $e^{z+z'} = e^z e^{z'}$. La raison profonde du deuxième cas est plus subtile. Elle est liée à la périodicité de e^z (période de $2i\pi$). En effet, avec $a = e^z$, notre équation s'écrit $a^n = e^{n \ln a}$, ce qui montre qu'il faut être capable d'inverser la fonction exponentielle pour substituer $\ln a = z$. Comme l'exponentielle est périodique, on ne peut l'inverser que dans une région du plan complexe où la fonction est injective, pour, qu'à une valeur de a , corresponde une seule valeur de z . C'est ce qu'on appelle la détermination principale du logarithme. Avouez, que la démo' était démoniaque !

Articles à venir

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique V ; Les ondes gravitationnelles ; L'expérience de Michelson ; Pendule de Foucault en carton ; La détermination de la distance de la galaxie M31 ; Référentiels et Satellites II ; Les étoiles variables ; Poincaré, précurseur de relativité ; Mesure absolue de l'attraction terrestre par interférométrie atomique et application à une nouvelle définition de l'unité de masse.

Remerciements: Nous remercions Pierre Causeret, Christian Larcher, Jean Ripert, pour la relecture de ce Cahier ainsi que Chantal Petit pour son assistance.

Les fiches 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" 4 diapositives et 12 jeux de 2 photographies	16 €
HS7 Etude du spectre du Soleil	8 €
HS8 Etoiles variables	12 €
HS9 Mathématiques et Astronomie	12 €

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

Documents édités par le CLEA

Transparents animés pour rétroprojecteurs	8 €
T1 le Transsolite (phases de la Lune et éclipses)	
T2 Les fuseaux horaires	
Filtres colorés	11 €
Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux	
CD Rom CLEA	8 €
Astronomie et Astrophysique Programme de seconde, collège, TPE	

Documents photographiques CLEA-Belin	5 €
20 exemplaires des 8 documents (phases de la Lune spectres de Rigel, Saturne, Arcturus, 69 Pisces, etc)	

Publications du CLEA

Les publications ne peuvent être vendues qu'aux adhérents du **CLEA** (loi de 1901). Prix franco de port.
Toute commande de documents est à envoyer à :

CLEA - Laboratoire d'Astronomie, Bât. 470 – Université Paris Sud – 91405 Orsay cedex

En joignant un chèque à l'ordre du **CLEA**.

Fascicules pour la formation des maîtres en astronomie

F1 L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps	7 €
F2 Le mouvement des astres	8 €
F3 La lumière messagère des astres	9 €
F4 Naissance, vie et mort des étoiles	10 €
F6 Univers extragalactique et cosmologie	9 €
F7 Une étape de la physique, la relativité restreinte	16 €
F8 Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie	10 €
F9 Le système solaire	14 €
F10 La Lune	10 €
F11 La Terre et le Soleil	12 €
F12 Simulation et astronomie sur ordinateur	8 €

Cours polycopiés 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 €

Diapositives

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

D1 Les 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	

CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 2004

Adhésion au CLEA pour 2004 5 €
Abonnement aux **CAHIERS CLAIRAUT** n° 105 à 108 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 :
. du début (1978) à 1997 14 €/an
. à partir de 1998 17 €/an

**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**

Trois livrets (40 pages en quadrichromie), 1CD 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.C. Pecker, astrophysiciens) – 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 1,2 € HT par livret**
- CD "Terre, planète à protéger" (avec animation sonores, vidéos et images) pour 8 € HT
 - DVD "40 ans de l'ESO" (d'après un film de 52 minutes) 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 Haugel, 92240 Malakoff

dépôt légal : 1er trimestre 1979
numéro d'inscription CCPPAP : 61660
prix au numéro : 7 €