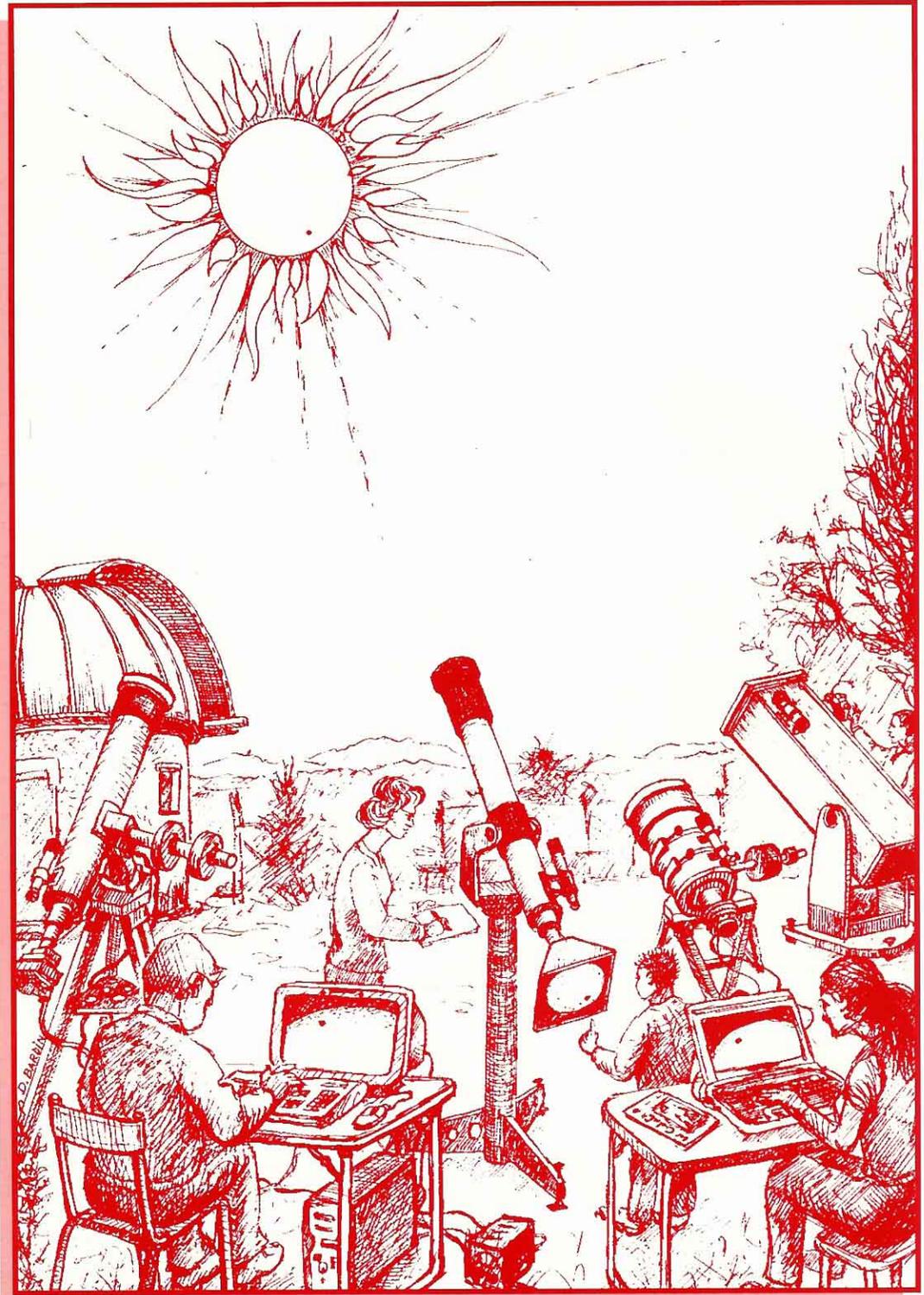


Bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes

# Cahier Clairaut



numéro 106 - ÉTÉ 2004

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](mailto:clea.astro@astro.u-psud.fr)

Secrétaire : [jean.a.ripert@wanadoo.fr](mailto: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

## Été 2004 n° 106

### EDITORIAL

Il sera encore question de Vénus dans ce numéro. Daniel Bardin, qui a réalisé la couverture pour l'année 2004, commente son dessin :

### A PROPOS DE LA COUVERTURE

"Le passage de Vénus devant le Soleil est un événement important de 2004. La couverture illustre un moment de cette journée : un groupe d'observateurs s'est installé dans un lieu dégagé près d'une petite coupole. Quatre instruments sont visibles : une lunette en monture équatoriale dotée d'une caméra CCD, une lunette altazimutale avec un tronc de pyramide en carton à fond de papier calque, (système de projection par oculaire, sans danger), un télescope court, catadioptrique, avec caméra CCD et enfin un gros télescope type Newton sur monture "Dobson". Tous les instruments sont équipés d'un filtre solaire placé à l'avant, sauf la lunette centrale."

Daniel nous sollicite aussi à la rubrique "Remue-méninges". Nous vous souhaitons bonne lecture et bonnes vacances d'été.

**La Rédaction**  
patu@obs.univ-lyon1.fr

### *Cours*

**Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique - II : mouvements de Terre.**

G. Paturel  
p. 2

### *Histoire*

**A propos des heures planétaires - II**

Ch.-H. Eyraud, P. Gagnaire  
p. 7

### *Histoire*

**Aristarque de Samos**

P. Lerich  
p. 11

### *Observations*

**Et pourtant ils tournent. Ou les satellites artificiels**

P. Le Fur  
p. 14

### *Article de fond*

**Une étude de l'Univers Local : les grandes étapes d'un programme (suite et fin)**

G. Theureau  
p. 20

### *DOSSIER: Transit de Vénus*

**Comment superposer les photos en l'absence de taches solaires**

B. Sandré  
p. 26

### Les documents anciens

G. Paturel  
p. 29

**Un peu d'histoire : I - Les premières observations du transit de Vénus**

J.N. Terry  
p.31

### *Réflexions et débats*

**Quelques réflexions sur l'histoire de l'astronomie**

N. Maury-Lascoux  
p. 33

### *RUBRIQUES FIXES*

#### *• Remue-méninges*

p. 37

#### *• Lectures pour la Marquise*

p. 37

#### *• Les potins de la voie lactée*

p. 38

#### *• Courrier des lecteurs*

p. 39

## Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique: II- mouvements de Terre

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

**Résumé:** Dans ce cours, nous montrons comment la loi d'inertie de Galilée a jeté les bases d'une compréhension des deux mouvements principaux de la Terre : sa rotation et sa révolution autour du Soleil. Puis nous verrons comment les preuves de ces mouvements ont été données. Une expérience simple de visualisation est proposée qui permet de représenter les phénomènes observés.

**Mots-clefs :** COURS - LOI - TERRE - SOLEIL - REALISATION

### Introduction

On dit que le rire est le propre de l'homme. Je crois qu'il y a une caractéristique encore plus spécifique de l'intelligence humaine ; c'est la curiosité. Quand l'homme observe un phénomène, il cherche à en comprendre l'origine (ceci n'interdit pas de le faire en s'amusant).

Lors du premier cours nous avons rencontré plusieurs phénomènes que les premiers hommes ont observés : les levers et les couchers du Soleil qui se produisent chaque jour dans une direction un peu différente de la veille, selon un cycle régulier. Le Soleil qui, selon les saisons, monte plus ou moins haut dans le ciel et nous éclaire plus ou moins longtemps. Les étoiles qui se décalent par rapport au Soleil (rappelez-vous les levers héliques !). Nous allons commencer par analyser ces quelques phénomènes. Je suis sûr que vous aurez envie de les expliquer aux enfants après les avoir compris.

Que manquait-il aux observateurs anciens pour interpréter correctement ces observations, apparemment si simples ? Saurions nous reconstituer la formidable démarche intellectuelle ?

### Forme et dimension de la Terre

C'est par là qu'il faut commencer. Les Astronomes grecs avaient imaginé déjà que la Terre était ronde. La contemplation du Soleil ou de la Lune pouvait suggérer que les corps célestes étaient sphériques. Mais les astronomes surent donner quelques bonnes raisons : par exemple, quand la Lune passe dans l'ombre de la

Terre, le bord de l'ombre apparaît comme un arc de cercle. L'expérience des marins a dû jouer un rôle important. Il m'est arrivé d'observer un bateau à l'horizon et de ne voir que le haut de sa structure. Si la Terre avait été plate j'aurais vu tout le bateau.

Quel est le rayon de la sphère terrestre ? Pour répondre à cette question demandons nous à quelle distance de nous se trouve la ligne d'horizon que l'on voit d'une hauteur donnée ? Le petit encadré ci-après vous montre comment faire le calcul et donne une application numérique.

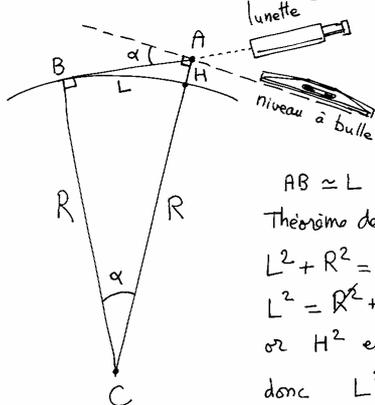
Le rayon de la Terre est d'environ 6400 km. Les premières déterminations remontent à Eratosthène. Allez voir le courrier des lecteurs, il en est question.

### La loi d'inertie de Galilée

La Nature obéit à des lois. Ce n'est que très lentement que l'homme en a pris conscience. Ce n'était pas une tâche facile car Dame Nature semble prendre un malin plaisir à nous faire croire ce qui n'est pas. Ainsi, sur Terre, vous devez produire une force pour déplacer un objet. Par exemple, il faut pousser un chariot pour le faire avancer. Pouvait-on imaginer que cette "loi" soit fausse ? C'était d'une telle évidence que tout homme de bon sens devait être prêt à jurer qu'une force était nécessaire pour entretenir un mouvement. Le physicien, R. Feynman rappelle dans un de ses cours qu'une théorie ancienne disait que les planètes tournaient, parce que "derrière elles il y avait des anges invisibles battant de leurs ailes et poussant les planètes". Nous allons voir que la réalité est un peu différente.

### Encadré 1: Le rayon $R$ de la Terre.

Un calcul simple montre que l'horizon vu depuis une hauteur  $H$  est à une distance  $L$ , telle que:  $L^2 \approx 2RH$



$AB \approx L$   
Théorème de Pythagore dans ABC  
 $L^2 + R^2 = (R+H)^2$   
 $L^2 = R^2 + H^2 + 2RH - R^2$   
or  $H^2$  est très petit devant  $2RH$   
donc  $L^2 \approx 2RH$

L'angle  $\alpha$  est mesurable, avec une lunette et un niveau à bulle. Or on a<sup>1</sup>:  $L = R\alpha$ , d'où le rayon de la Terre:

$$R = \frac{2H}{\alpha^2}$$

Dans ces relations  $\alpha$  est mesuré en radians (rappel:  $180^\circ = \pi$  radians). Une expérience, faite à Brest par les élèves de l'Ecole Navale<sup>2</sup>, donne  $\alpha = 0,27^\circ$  pour  $H = 75$  mètres. L'application numérique conduit à:

$$R = \frac{2 \times 75}{[0,27 \times (3,1416/180)]^2} = 6\,755\,000 \text{ mètres}$$

Revenons à notre chariot. Si je graisse les moyeux du chariot et si j'aplanis la route, l'expérience montre que la force nécessaire est plus faible<sup>3</sup>. Une loi universelle dépend-elle de la lubrification et de la qualité de la chaussée ? Non pas. Si j'imagine un chariot presque parfait il pourra après une brève impulsion garder longtemps son mouvement. Un chariot parfait restera perpétuellement en mouvement. Il fallait faire abstraction des frottements inhérents à tous les déplacements habituels pour découvrir cette loi magnifique, la loi d'inertie, qui dit qu'un corps, en l'absence de toute perturbation extérieure, garde son mouvement rectiligne indéfiniment. C'est Galilée qui eut cette perspicacité. Je crois que c'est cette loi qui manquait pour interpréter les mouvements des astres. Les conséquences de cette loi sont immenses. Nous verrons un peu plus loin qu'une force extérieure peut ralentir, accélérer ou dévier un corps en mouvement mais nous avons déjà compris qu'elle n'est pas nécessaire pour entretenir ce mouvement.

<sup>1</sup> Cette relation est très importante, nous l'utiliserons souvent.

<sup>2</sup> Selon Maillard et Millet, "Cosmographie", 1952, (Hachette).

<sup>3</sup> Cette image est emprunté au petit livre admirable écrit par A. Einstein et L. Infeld: "l'évolution des idées en physique".

Si la Terre se déplace, tous les objets à sa surface suivent ce même mouvement. Ces objets, par rapport à la Terre ne "ressentent" pas le déplacement. Dans son livre "De motu antiquiora", Galilée affirmait que le mouvement est comme rien. Nous ne ressentons pas le mouvement de la Terre. Pourtant sa vitesse est grande. Ne serait-ce que du fait de la rotation de la Terre, nous parcourons à l'équateur un tour (environ 40000 km) en 24 heures, c'est-à-dire que notre vitesse est de 1700 km/h environ, deux fois plus grande que celle des avions de lignes à réaction.

Cette loi d'inertie se manifeste tous les jours de notre vie quotidienne. Prenez par exemple le cas d'un voyageur, circulant dans un train à vitesse constante sur une voie rectiligne. Si le voyageur tient ses clefs à la main, il pourrait affirmer: "c'est ma main qui communique la vitesse aux clefs, ce qui explique qu'elles me suivent et restent dans ma main". Mais Galilée de suggérer: " lâchez vos clefs pour voir ce qui se passe quand votre main cesse d'agir sur les clefs". Effectivement les clefs tombent aux pieds du voyageur. Elles l'ont accompagné dans son déplacement horizontal à grande vitesse. Mais le voyageur réplique que s'il fait la même expérience en se penchant à la fenêtre, les clefs tombent loin en arrière. Ce à quoi Galilée réplique à son tour (après avoir mis en garde notre voyageur: "e pericoloso sporgersi") que c'est le frottement de l'air extérieur qui en est la cause. Pour savoir si Galilée avait raison j'ai fait l'expérience suivante (Figure 1) : à bord d'un ferry j'avais accès à la poupe. Le bateau avançait à grande vitesse mais à l'arrière l'air était entraîné, le bateau jouant le rôle de pare-brise. Il n'y avait plus de frottement. J'ai sacrifié une pièce de monnaie en la lâchant du pont supérieur. La pièce est tombée "aux pieds du bateau" (si j'ose dire), quelques vingt mètres plus bas. Galilée avait raison.

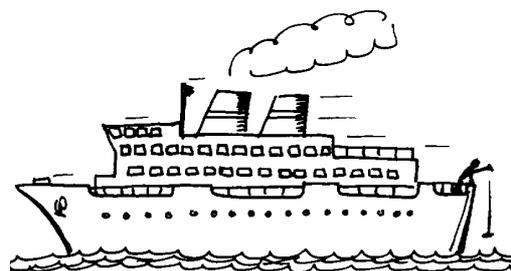


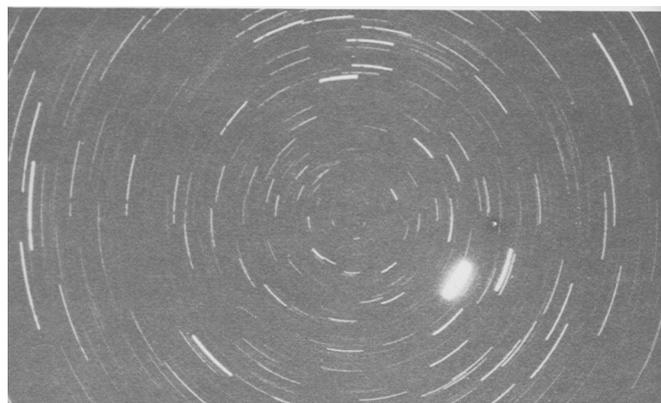
Figure 1. Vérification de la loi d'inertie à bord d'un ferry. La pièce tombe à la verticale du bateau.

Certes la loi d'inertie ne démontre pas que la Terre tourne sur elle-même ou qu'elle tourne autour du Soleil, mais au moins, il n'y a plus d'obstacle à considérer que la Terre puisse se déplacer ou tourner sur elle-même, à notre insu. Nous avons déjà fait un grand pas.

## Rotation de la Terre sur elle-même

Nous ne ressentons pas les mouvements uniformes, ou quasi uniformes, comme celui que pourrait engendrer, à sa surface, une rotation de la Terre sur elle-même. Il n'est donc pas facile de mettre en évidence une telle rotation.

Héraclide avait proposé que le mouvement des étoiles au cours d'une nuit (Figure 2) résulte de la rotation de la Terre sur elle-même. Sans cela il fallait considérer que les étoiles lointaines effectuassent un immense cercle autour de nous. Aujourd'hui, sur la base de nos connaissances en physique nous pourrions rejeter cette dernière idée car les étoiles lointaines devraient se déplacer plus vite que la lumière.



(photo CLEA: école d'été de Grasse 1980)

*Figure 2: La rotation des étoiles autour d'un pôle terrestre (ici le pôle nord en une heure)*

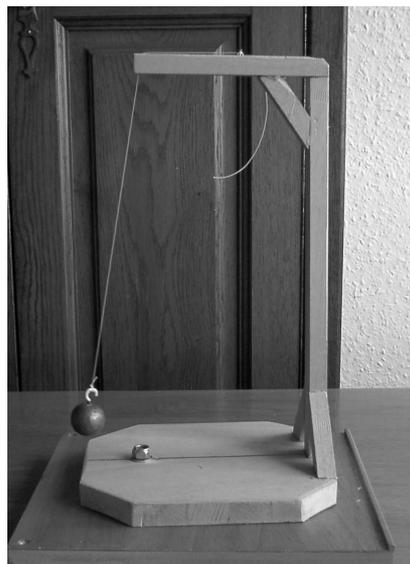
Les observations montrent que la plupart des corps célestes (Soleil, planètes) tournent sur eux-mêmes. La rotation est un phénomène général. Pourquoi la Terre devrait-elle échapper à la règle ?

Plus tard il y eut aussi la mesure de la forme de la Terre. Ces mesures laborieuses, faites par des moyens divers, montrèrent que la Terre n'était pas une sphère parfaite mais qu'elle était aplatie, comme une rotation pouvait le provoquer. Plusieurs indices furent accumulés : tout d'abord Richer, envoyé à Cayenne entre 1671 et 1673 pour participer à la mesure de la distance Terre Mars, constata que la période d'oscillation d'un même pendule y était plus grande qu'à Paris. Cette mesure fut interprétée plus tard comme résultant de la plus faible attraction effective à l'équateur (Cayenne est à  $5^\circ$  au nord de l'équateur), résultant de la plus grande distance au centre et de l'accélération centrifuge. Mais surtout, la mesure

directe d'un même arc, en Equateur<sup>4</sup>, par de La Condamine & Bouguer et, en Laponie, par Maupertuis & Clairaut, montra de manière irréfutable que la Terre est renflée à l'équateur. Ces mesures furent d'une extrême difficulté. Par triangulation géodésique il fallait mesurer une longueur de l'ordre de 330 kilomètres (environ 3 degrés en latitude), avec une précision de l'ordre de quelques mètres. Le rayon de la Terre est de 6378 km à l'équateur et 6357 km aux pôles. La Terre forme en fait un ellipsoïde.

Il y eut enfin la preuve donnée directement par le pendule de Foucault. Nous ne répéterons pas les explications que nous avons données dans un article précédent (2003, CC101, p17). Rappelons simplement que quand le pendule oscille librement, par exemple au pôle Nord, nulle force n'agit sur lui pour faire changer sa direction d'oscillation. Pourtant ce plan tourne lentement (Figure 3), preuve que c'est le support (en l'occurrence la Terre) qui tourne. Il a quand même fallu attendre le 19<sup>ème</sup> siècle pour avoir la preuve manifeste de la rotation de la Terre sur elle-même. Mais pourtant elle tourne !

La conclusion est que le mouvement diurne des astres est un mouvement apparent. C'est la Terre qui tourne sur elle-même.



*Figure 3: Un pendule monté sur une platine tournante permet de comprendre le principe du pendule de Foucault de manière saisissante. Quand la platine tourne, le pendule oscille toujours dans la même direction. Une personne placée sur la platine penserait que c'est le plan d'oscillation qui tourne.*

<sup>4</sup> Citons le livre remarquable de Florence Trystram: le procès des étoiles, paru aux éditions Seghers. Ce livre raconte de manière captivante les aventures incroyables des scientifiques de l'expédition de La Condamine & Bouguer en Equateur de 1735 à 1744.

## Révolution de la Terre autour du Soleil

Posons-nous donc la question importante : Est-ce la Terre qui tourne autour du Soleil ou le Soleil qui tourne autour de la Terre ? Cette question a occupé les hommes pendant plusieurs siècles. Je vais peut-être vous surprendre en donnant de suite la réponse : ce n'est ni l'un, ni l'autre ! Comment est-on arrivé à ce résultat surprenant ? Nous l'expliquerons dans le prochain cours après avoir parlé de la dynamique de Newton. Pour l'instant nous allons nous borner à expliquer comment on est arrivé à montrer que c'est, approximativement, la Terre qui tourne autour du Soleil.<sup>5</sup>

Aristarque de Samos émit l'idée, 280 ans avant J.-C., que la Terre tournait autour du Soleil (cf. l'article de P. Lerich dans ce même Cahier). Aristarque affirma même que le Soleil était plus gros que le Péloponnèse, ce qui lui valut l'exil. Il a fallu attendre Copernic (1530) pour retrouver cette belle idée, sans plus de preuves que la simplification de la représentation. Aristote (300 ans avant J.C.) donnait un argument très scientifique contre l'hypothèse de la révolution de la Terre autour du Soleil : quand un observateur se déplace avec la Terre, il change de point de visée. Les étoiles doivent donc apparaître à des positions différentes : quand vous marchez dans une forêt, les arbres semblent se déplacer les uns par rapport aux autres. On appelle cela un effet de parallaxe. Nous y reviendrons car c'est un effet que l'on mettra à profit pour obtenir la distance des étoiles. Or les étoiles semblaient toujours à la même place. Aristote ignorait que les étoiles sont si distantes, que l'effet n'est pas mesurable à l'œil nu. Pour l'étoile la plus proche du Soleil (Proxima du Centaure) l'effet est inférieur à 1/4000 degré. Même aujourd'hui, la mesure n'est pas facile.

La première preuve vint avec Galilée et l'observation des planètes. A l'époque les deux visions s'affrontaient : Terre ou Soleil immobile au centre de l'Univers. Les planètes tournaient-elles autour du Soleil ou de la Terre ? Quand Galilée pointa sa lunette vers Vénus il constata que la planète apparaissait parfois en croissant, comme la Lune. En revanche Mars était toujours complètement éclairé. De plus, Vénus, dite l'étoile du berger parce qu'elle est visible à l'aube ou au crépuscule, ne s'écartait jamais de plus de 46 degrés du Soleil. Tous ces faits s'accordent mieux avec le modèle

<sup>5</sup> Pour les impatientes, expliquons de suite que la Terre et le Soleil tournent autour du centre de gravité commun, situé très près du centre du Soleil. Nous verrons aussi que la définition d'un mouvement ne peut se faire que par rapport à un "référentiel".

qui place le Soleil au centre et qui suppose que la Terre tourne autour avec les autres planètes.

Même si tous les astronomes étaient déjà convaincus que la Terre tournait autour du Soleil, une preuve plus formelle vint en 1726. Bradley observa que les étoiles se déplaçaient sur de petites ellipses au cours d'une année. Ces ellipses, avaient toutes un demi grand axe de 0,0055 degré. Était-ce le phénomène dont l'absence permettait à Aristote d'affirmer que la Terre était immobile ? Est-ce que cela signifiait alors que toutes les étoiles étaient à la même distance de nous, sur une "sphère des fixes" ? Non, le phénomène n'est pas dû à la parallaxe, bien trop faible. Eh puis ! Quand cela serait, faudrait-il ressusciter la sphère des fixes avec ses étoiles toutes à la même distance ? Impensable ! Quelle que soit l'interprétation, on ne pouvait plus imaginer la Terre immobile. Galilée a prouvé que rien n'interdisait que la Terre se meuve, Bradley a prouvé qu'elle se mouvait.

Le nouveau phénomène est ce qu'on appelle *l'aberration de la lumière*. La lumière nous arrive d'une étoile à 300 000 km/s. Si la Terre se déplace, la combinaison des vitesses produit une inclinaison apparente de la direction des rayons lumineux : quand vous courez sous une pluie verticale vous devez incliner votre parapluie. La faible inclinaison est proportionnelle au rapport des vitesses (voir l'encadré 2).

### Encadré 2: L'aberration de la lumière. La preuve formelle de la révolution de la Terre autour du Soleil.

Quand le déplacement de la Terre est perpendiculaire à la ligne de visée d'une étoile, la composition des vitesses incline la ligne de visée dans le rapport des vitesses. Or, toutes les étoiles connaissent cet effet, preuve que la Terre, dans son déplacement, balaie toutes les directions possibles, c'est-à-dire qu'elle suit une orbite fermée.

Quand la vitesse de la lumière et la distance Terre Soleil seront connues, les astronomes auront la preuve formelle du mouvement orbital de la Terre autour du Soleil, car la vitesse orbitale (30 km/s) déduite sera en accord parfait avec l'angle d'aberration mesuré :

$$\text{angle} = \frac{180}{3,1416} \cdot \frac{30}{300000} = 0,0057 \text{ degré.}$$

Plus tard encore, l'observation des petites ellipses de parallaxes, celles qu'aurait aimé voir Aristote, confirma de manière encore plus formelle que c'était bien la Terre qui tournait autour du Soleil.

## Visualisation de ces mouvements

Quels effets produisent sur l'observation quotidienne les deux mouvements que nous venons de voir : la rotation de la Terre sur elle-même et sa révolution autour du Soleil ? Nous allons donner un moyen simple pour visualiser ce système compliqué.

La Terre tourne d'ouest en est. Donc, un observateur qui considère son propre point de vue, voit le ciel tourner autour du même axe mais en sens contraire (d'est en ouest). Notons que, du fait de l'inertie, cette direction est immuable (du moins en négligeant la précession qui fait décrire un cône à cet axe, en 26 000 ans).

De même, la Terre se déplace autour du Soleil en restant dans un plan qui, par inertie également, demeure immuable dans l'espace. Ce plan est très important. On l'appelle, *l'écliptique*. Donnons un fait d'observation que nous n'avons pas mentionné. L'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique. Il fait un petit angle de  $23,5^\circ$  environ (Fig. 5).

Alors construisons le petit système décrit ci-dessous. Il permettra de comprendre les observations. Prenons un ballon de chimie, rempli à moitié d'eau teintée. Ce ballon matérialisera le ciel, la surface de l'eau sera l'horizon de l'observateur, l'axe du goulot nous donnera l'axe de rotation "du ciel".



Figure 5: Un ballon de chimie pour comprendre le ciel. La surface du ballon représente le ciel. L'horizon de l'observateur est donné par la surface du liquide.

Quand je suis à un pôle, mon horizon est perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre. Pour obtenir cela je dois tenir le ballon verticalement (à l'envers ou à l'endroit). J'en profite pour placer un ruban de papier pour matérialiser l'équateur.

Je place ensuite un ruban (ici un ruban plus clair) pour matérialiser l'écliptique sur lequel le Soleil se déplacera lentement tout au long de l'année. L'angle de ces deux plans est de  $23,5^\circ$ . Remarquons que l'axe

du ballon est fixe par rapport à l'écliptique et à l'équateur, comme nous le disions. Inclignons l'axe du ballon à  $45^\circ$  par rapport au plan de l'horizon. On aura ainsi la position qui correspond à la France. Cet angle s'appelle la latitude du lieu considéré. Repérons mentalement par rapport au socle : le nord, le sud, l'est et l'ouest dans le plan horizontal (surface de l'eau). Nous pourrions par exemple les tracer sur la planchette support.

Il ne nous reste plus qu'à prendre une gomme pour matérialiser la position du Soleil, un jour de l'année. Plaçons le Soleil sur un point quelconque de l'écliptique et faisons tourner le ballon autour de son axe, d'est en ouest. Nous verrons le Soleil se lever à l'horizon, à peu près vers l'est, et, après un demi-tour repasser sous l'horizon, à peu près vers l'ouest. Nous pouvons expérimenter plusieurs positions du Soleil. Quand il est aux intersections des deux bandes, il se lève exactement à l'est et se couche exactement à l'ouest. Il décrit le même arc au-dessus et au-dessous de l'horizon. Ce sont les équinoxes ; nuits et jours ont la même durée.

Plaçons le Soleil sur l'une des positions de l'écliptique, la plus écartée possible de l'équateur : Sur l'une (celle de la Figure 5) nous voyons le Soleil se lever au nord-est, monter très haut sur l'horizon et se coucher au nord-ouest en restant longtemps au-dessus de l'horizon. Les nuits sont courtes. Le Soleil chauffe longtemps et ses rayons sont presque perpendiculaires au sol. Il fait chaud. C'est le Solstice d'été. Sur l'autre, diamétralement opposée à la première, nous voyons le Soleil se lever au sud-est, monter peu dans le ciel et se recoucher très vite au sud-ouest. C'est le solstice d'hiver, avec ses nuits longues et son Soleil rasant.

Vous pouvez expérimenter ce qui se passe au pôle nord par exemple en plaçant le ballon verticalement. Vous verrez que le Soleil reste toujours au-dessus ou au-dessous de l'horizon (confondu avec l'équateur, d'ailleurs). Ce sont les longues nuits ou les journées polaires.

Vous pouvez vous mettre à l'équateur (axe horizontal). Les nuits ont la même durée que les jours, toute l'année. On n'est pas à l'équateur pour rien !

Noter qu'à l'équateur le Soleil se couche en suivant une trajectoire bien perpendiculaire à l'horizon. La nuit y tombe très vite, contrairement à ce qui se passe chez nous. Prenez le temps de jouer au ballon !

### Lectures:

Pour en savoir plus, consultez le livre de P. Causeret et L. Sarrazin: "Les saisons et les mouvements de la Terre", aux éditions Belin - Pour la Science.

Le livre est magnifiquement illustré et les schémas sont d'une grande clarté.

## A propos des heures planétaires: II

Charles-Henri Eyraud, Paul Gagnaire

**Résumé:** Dans le précédent Cahier nous avons présenté l'introduction à l'étude des heures planétaires. Il n'est pas question de prôner l'astrologie, surtout sous son aspect prédictif et mercantile, mais cette division du jour, utilitaire et arbitraire comme toutes les divisions du jour, ne manque pas d'intérêt en ceci qu'elle considère le parcours "naturel" du Soleil le long de l'écliptique, alors que les autres systèmes se réfèrent à l'équateur ou même, simplement, à un arc journalier du Soleil. Pour un astrologue le "domicile" du Soleil est l'écliptique.

**Mots-clefs :** HISTOIRE – PLANETE – CALENDRIER

### Un cadran de "pseudo heures planétaires"

#### Les Régents de l'heure

Il existe des tableaux des Maîtres de l'heure, nommés aussi Régents de l'heure ou Seigneurs de l'heure. En gnomonique on connaît aussi des cadrans solaires où les cases formées par les croisements des lignes horaires et des arcs de déclinaison contiennent les symboles des planètes régentes, pour autant qu'il existe assez de cases compatibles avec la déclinaison du cadran ; l'idéal est que le cadran porte au moins treize lignes horaires. Pour qu'un tel système donne sa pleine mesure, il faut aussi consentir à poser que les jours de la semaine seront représentés par les sept arcs de déclinaison usuels, le 21 de chaque mois, et non par l'espace entre deux arcs. En effet, les sept arcs ne composent que six espaces et les symboles de la première ou de la dernière journée de la semaine ne pourront pas être dessinés autrement qu'en dehors des cases.

Chaque journée de jour clair, du lever au coucher du Soleil, est immuablement subdivisée en douze heures planétaires et l'on devrait pouvoir en dire autant de chaque nuit, du coucher au lever du Soleil. Mais il existe aussi une autre façon de faire, chez certains astrologues pour lesquels la nuit n'est régie que par deux Maîtres de l'heure, l'un n'exerçant son influence que du coucher du Soleil à minuit et l'autre de minuit au lever du Soleil.

### Le cadran de l'Église Sainte Catherine d'Oppenheim, Allemagne (Fig. 4)

Ce cadran doit dater du XV<sup>e</sup> ou XVI<sup>e</sup> siècle, époque de renouveau de l'astrologie en Europe (on peut noter que le style est droit et non polaire). On peut voir sur la photographie de la Figure 4 les 7 arcs de déclinaison habituels avec en plus en haut une huitième ligne permettant d'obtenir 7 rangées, une pour chaque jour de la semaine. On peut lire dans la colonne de gauche, le jour de la semaine représentée par sa planète (de haut en bas) : Soleil, Lune, Mercure, Mars, Jupiter, Vénus, Saturne.

Les heures planétaires sont numérotées en chiffres arabes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Elles sont assimilées aux heures temporaires numérotées au dessous en chiffres romains ..., VIII, IX, X, XI, XII, I, II, III.

Un jour de la semaine donnée, à une heure donnée, on lit le Régent de l'heure dans la rangée correspondant au jour et dans la colonne où se trouve l'ombre du style.

**Exemple:** Supposons que l'on soit dimanche, dans la 10<sup>ème</sup> heure temporaire de jour c'est à dire que l'on se trouve dans la case en haut à droite où l'on trouve le symbole de Mercure. Soit à partir du Soleil, Régent de la 1<sup>ère</sup> heure du dimanche, Vénus régent de la 2<sup>ème</sup> heure, Mercure régent de la 3<sup>ème</sup> heure et de la ... 10<sup>ème</sup> heure.



(Avec l'aimable autorisation des Éditions Oberlin, Strasbourg)

Figure 4: Cadran de l'Église Sainte Catherine d'Oppenheim (Allemagne)

## Les véritables heures planétaires

### Heures temporaires - Heures planétaires

La question intéressante en gnomonique est de savoir comment diviser un jour en douze heures planétaires, selon la bonne doctrine. La plupart des cadrans solaires qui portent les symboles des planètes s'accommodent, comme celui d'Oppenheim, des heures temporaires, ce qui est une facilité regrettable, car il existe une différence considérable entre les deux systèmes.

### Retour aux sources

La conception des véritables heures planétaires se révèle plus subtile. Il semble qu'elle était complètement sortie des esprits des gnomonistes jusqu'à ce que Joseph Drecker ne la remette en mémoire dans son ouvrage de 1925 dont la bibliographie fait référence à des astronomes astrologues du XVI<sup>e</sup> siècle.

Un gnomoniste belge, Léon Thiran, a présenté il y a quelques années un commentaire de Joseph Drecker assez connu des gnomonistes mais qui n'a malheureusement pas été publié.

Enfin, le gnomoniste hollandais, Fer J. de Vries, dans son logiciel ZONWLAK ZW2000, procure les éléments nécessaires au calcul et au tracé des heures planétaires, ainsi que des autres composantes d'un cadran astrologique.

C'est auprès de ces auteurs que nous avons puisé les informations utilisées dans cette étude.

### Les heures planétaires

Les heures planétaires sont des durées, comme les heures temporaires ; elles aussi sont des fractions du jour solaire et elles sont mesurées en temps solaire vrai.

Chaque jour (date), il existe douze heures planétaires de jour et douze heures planétaires de nuit ; sur un cadran solaire ces dernières ne peuvent figurer, mais il est possible de les tracer sur un tympan d'astrolabe où les positions d'étoiles renseignent sur les positions nocturnes du Soleil.

A l'instar des heures temporaires, douze heures planétaires sont limitées par treize lignes frontières, dont la première est confondue avec l'horizon côté Est et la dernière avec l'horizon côté Ouest. Mais ces lignes ne sont pas numérotées de 1 à 13; en effet, tout comme pour les heures temporaires, chaque ligne indique que l'heure qui porte le même numéro vient de s'achever. La première ligne est donc, virtuellement, numérotée zéro; elle pourrait, aussi bien, être numérotée 12 puisque son franchissement marque la fin de la douzième heure de nuit. Quant à la dernière heure, elle porte, logiquement, le chiffre 12, puisque son franchissement marque la fin de la douzième heure planétaire de jour et l'entrée dans la première heure planétaire de nuit.

Cette façon de numéroté 12 la frontière entre le jour et la nuit et de ne pas numéroté la frontière entre la nuit et le jour est traditionnelle : elle évite à la fois le zéro et la répétition du chiffre 12.

Les heures planétaires se réfèrent à l'écliptique et non à l'équateur céleste. Elles sont inégales entre elles, non seulement au fil des jours et des mois, mais encore pour une seule et même journée. Une heure planétaire correspond au temps qui s'écoule entre les levers de deux points de l'écliptique distants l'un de l'autre de 15 degrés. Soit un jour J, quelconque parmi les 365 jours d'une année dont on peut dire de chacun ce qu'on va dire du jour J. Ce jour-là, le Soleil se lève en un instant T. En même temps que le Soleil se lève, se lève aussi un certain degré de l'écliptique qu'on appelle l'ascendant, soit A. Cet instant est le début de l'heure planétaire N°1, exprimé en temps solaire. L'écliptique continue à tourner (mouvement apparent) et arrive un autre instant où se lève un de ses degrés qui vaut:  $A+15^\circ$ . La première heure planétaire est achevée et la deuxième planétaire vient de commencer. Ainsi de suite.

### Méthode de calcul

Tracer les lignes des heures planétaires consiste donc à calculer les angles horaires vrais du Soleil lorsque se lèvent des successions régulières d'arcs de 15 degrés d'écliptique.

Voici la procédure exposée par Fer de Vries pour un jour donné. Calculer successivement:

- DEC : la déclinaison du Soleil, à midi le jour concerné.
- RA : l'ascension droite du Soleil

- $RA = \arcsin(\tan(DEC)/\tan(23,44))$
- LS : la longitude éclipstique du Soleil  
 $LS = \arcsin(\sin(DEC)/\sin(23,44))$
- LE : la longitude des 12 ascendants  
 $LE = LS + (U * 15^\circ)$  avec  $U = 1, 2, 3, \dots$  (heures planétaires)
- DE : la déclinaison des 12 ascendants  
 $DE = \arcsin(\sin(LE) * \sin(23,44))$
- RE : l'ascension droite des 12 ascendants  
 $RE = \arcsin(\tan(LE)/\tan(23,44))$
- T : le semi-arc diurne des 12 ascendants  
 $T = \arcsin(\tan(\phi) * \tan(LE))$  avec  $\phi =$  latitude
- AH : l'angle horaire du Soleil pour les 12 ascendants  
 $AH = -T - RA + RE$

Ensuite, positionner cet ascendant AH sur le cadran ou l'astrolabe par les procédés usuels, après avoir veillé, à chaque étape, à faire sortir les résultats dans les bons quadrants.

### Heures planétaires sur un tympan d'astrolabe et sur un cadran horizontal

A une heure solaire donnée, la position de l'écliptique est différente pour une même déclinaison du soleil, croissante ou décroissante. Pour cette raison une ligne d'heure planétaire comprend deux portions : une en déclinaison du soleil croissante du 21 décembre au 21 juin, l'autre en déclinaison décroissante du 21 juin au 21 décembre.

#### Un tympan d'astrolabe détaillé

Pour une meilleure compréhension nous avons reproduit sur deux tympan différents les lignes d'heures planétaires : l'un pour une date comprise entre le solstice d'été et le solstice d'hiver, l'autre pour une date comprise entre solstice d'hiver et solstice d'été. Sur chaque tympan on peut observer l'allure sinueuse de la portion de ligne d'heure planétaire allant d'un tropique à l'autre. Sur le tympan complet une ligne d'heure planétaire serait la ligne fermée formée des deux portions de courbes.

#### Interprétation physique

##### Aux solstices

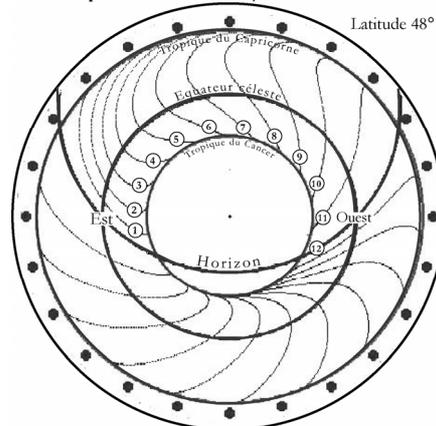
On observe évidemment que les heures planétaires sur le Tropic du Cancer et sur le Tropic du Capricorne (21 juin et 21 décembre) ont des valeurs égales sur les deux tympan.

##### Aux équinoxes

Aux équinoxes les valeurs des heures planétaires sont lues à l'intersection des lignes 1, 2, 3, ...12 et de

l'équateur. Pour le 23 septembre nous les lirons donc sur le tympan « 21 juin-21 décembre », pour le 20 mars sur le tympan « 21 décembre-21 juin ».

Heures planétaires du 21 juin au 21 décembre



Heures planétaires du 21 décembre au 21 juin

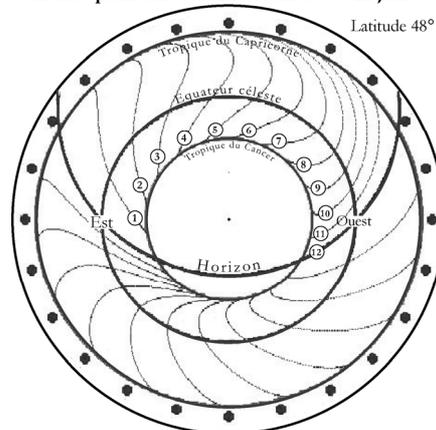


Figure 5: Tympan d'Astrolabe avec les heures planétaires (numérotées pour celles de jour)

Nous nous intéresserons d'abord à l'équinoxe d'automne, le 23 septembre. Nous constatons que les premiers points 1, 2, 3 sont resserrés et les derniers 9, 10, 11, 12 distants, ce qui signifie qu'exprimées en heures solaires vraies les premières heures planétaires de jour (le matin) sont brèves, les dernières (le soir) sont longues. Ce résultat se comprend aisément à l'aide de la Figure 6 qui montre le lever et le coucher de Soleil le 23 septembre. Au lever du Soleil, l'écliptique forme un angle important avec l'horizon et les premières heures planétaires seront brèves, au coucher l'écliptique forme un angle faible avec l'horizon et les dernières heures planétaires seront longues. Pour l'équinoxe de printemps, le 20 mars, les mêmes observations montrent que les premières heures planétaires sont longues, les dernières sont brèves.

## Un cadran solaire horizontal tracé avec Zonwlak de Fer de Vries

Pour inciter les lecteurs à se familiariser avec les heures planétaires et à utiliser le logiciel Zonwlak disponible sur internet nous donnons en Figure 7 un cadran horizontal avec ses heures planétaires

### Bibliographie

- 1 Neugebauer O., Les sciences exactes dans l'antiquité, Actes Sud 1990, pages 113 à 118
- 2 Le Boeuffle A., Le symbole astronomique de la Terre et des autres planètes, Observations et Travaux n°24, 1990/4
- 3 Dictionnaire de la civilisation mésopotamienne, Éditions Robert Laffont, Collection Bouquins, 2001
- 4 Ifrah G., Histoire universelle des chiffres, Seghers, 1981

- 5 Couderc P., Le calendrier, Que sais-je, P.U.F., 1946
- 6 Biéumont E., Rythmes du Temps, de Boeck Éditions, 2000
- 7 Daremberg Ch. et Saglio E., Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines, Hachette 1875
- 8 Rey A., La Science orientale avant les Grecs, Albin Michel, 1942
- 9 Drecker J., Die Theorie der Sonnenuhren, chapitre XIV: Verwendung der Sonnenuhr in der Astrologie
- 10 Rohr R., Les Cadran solaires, page 112, Éditions Oberlin 1986. Voir aussi le cadran de pseudo-planétaires de Görlitz
- 11 Fer de Vries, Logiciel Zonwlak ZW2000, <http://www.de-zonnewijzerkring.nl/eng/index-vlakke-zonw.htm>
- 12 Neugebauer O., Egyptian astronomical texts, 4 volumes, Providence Brown University Press.

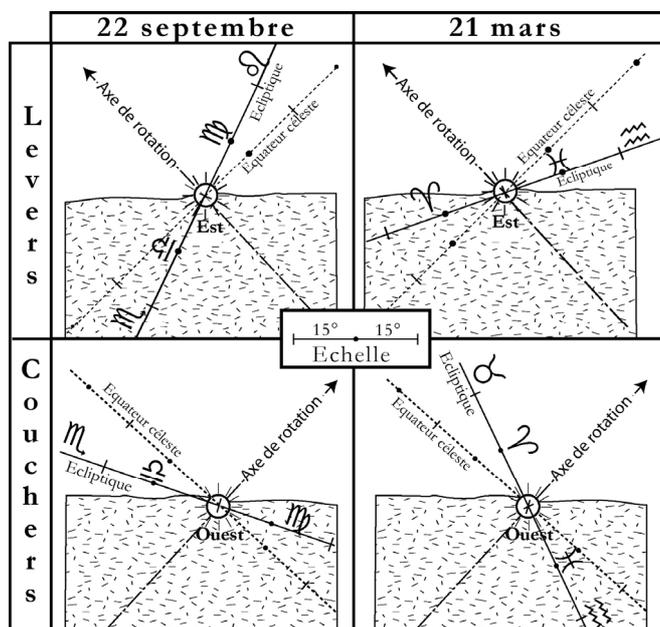


Figure 6: Levers et Couchers de Soleil aux équinoxes

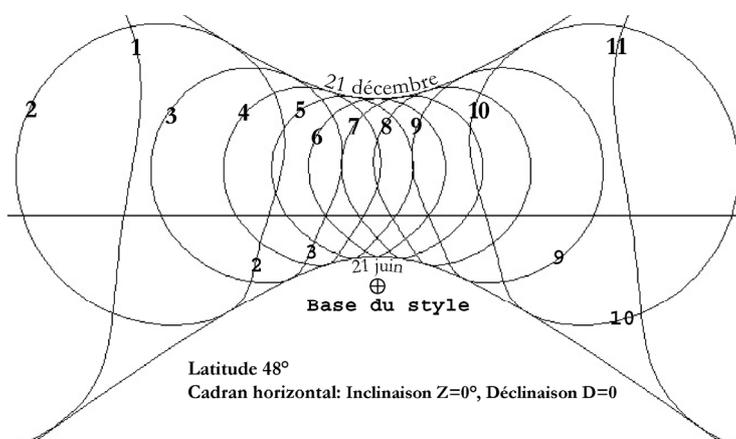


Figure 7: Cadran horizontal tracé avec Zonwlak de Fer de Vries

## Aristarque de Samos

Pierre LERICH

**Résumé :** *L'ouvrage d'Aristarque de Samos intitulé « Hypothèses » et présentant le double mouvement de la Terre sur elle-même et autour du soleil a disparu à tout jamais. Heureusement, nous avons une idée de son contenu grâce au témoignage d'Archimède.*

**Mots-clefs :** HISTOIRE – BIOGRAPHIE - SYSTEME SOLAIRE.

Le beau nom d'Aristarque de Samos est resté attaché à la première hypothèse héliocentrique de l'histoire, bien plus qu'à la mesure des grandeurs et distances de la Lune et du Soleil. Pourtant la mesure nous est parvenue alors que l'hypothèse est perdue, ensevelie dans les brumes du passé lointain. Nous ne la connaissons qu'indirectement, par le témoignage de quelques contemporains et successeurs proches. La mesure était très intelligente, même si son résultat (Soleil vingt fois plus éloigné que la Lune) laissait à désirer. L'hypothèse devait, sans doute, être très intelligente également, mais nous ne saurons jamais sur quels arguments elle s'appuyait, sur quelles observations, sur quels raisonnements. Ce chapitre manquera éternellement dans l'histoire de l'astronomie.

Les recherches d'Archimède n'avaient aucun rapport avec celles d'Aristarque et, c'est par le plus grand des hasards que leurs chemins se sont croisés un instant, offrant à la postérité quelques miettes de l'œuvre perdue. Archimède souhaitait exposer un nouveau système de dénombrement, capable d'exprimer de très grands nombres inaccessibles à l'arithmétique usuelle.

Pour présenter un exemple frappant, Archimède choisit l'objet le plus petit : le grain de sable et l'objet le plus grand : le cosmos. Mais, s'il est facile de se mettre d'accord sur la dimension d'un grain de sable, il n'en va pas de même pour le cosmos. La majorité des astronomes de l'époque appellent « cosmos » la sphère ayant pour centre la Terre et pour rayon la distance Terre-Soleil. La distance des planètes et des étoiles reste dans un certain flou artistique.

Cette dimension du cosmos est insuffisante : le nombre de grains de sable qu'il pourrait contenir est

très grand, mais le système proposé par Archimède peut faire beaucoup mieux. Or, le cosmos d'Aristarque est justement beaucoup plus vaste : Il pourrait contenir, en exprimant le résultat d'Archimède avec la notation moderne,  $10^{63}$  grains de sable (calcul refait très soigneusement par le traducteur du texte grec Paul Ver Eecke, Anvers 1917). C'est pourquoi Archimède choisit Aristarque de préférence à tous les autres astronomes. Il expose ainsi l'hypothèse qui convient le mieux à sa démonstration personnelle :

*"Aristarque suppose que les étoiles fixes et le Soleil demeurent immobiles, que la Terre tourne suivant une circonférence de cercle autour du Soleil, (...) et que la grandeur de la sphère des étoiles fixes est telle que le cercle à la circonférence duquel on suppose que la Terre évolue a le même rapport avec la distance des étoiles fixes que le centre d'une sphère avec sa surface."*

C'est tout notre univers qui apparaît ainsi deux siècles avant notre ère. On peut être surpris par le rapport entre le centre d'une sphère et sa surface et, justement, Archimède a rejeté sans ménagement cette expression, mais comment exprimer l'immensité, peut-être l'infini, sinon par des mots dont le rapprochement inhabituel peut sembler choquant ? Confronté au même problème, Pascal a eu recours à une expression analogue : *"Que l'homme regarde cette éclatante lumière, (...) que la Terre lui paraisse comme un point au prix du vaste tour que cet astre décrit (...)"*.

Ce sont des mots qui viennent à l'esprit naturellement pour exprimer des dimensions qui diffèrent de plusieurs ordres de grandeur. Pour Archimède, l'expression employée par Aristarque n'a pas de sens : *"Il est évident que ceci est impossible, car le centre d'une sphère n'ayant aucune grandeur, on ne*

peut admettre qu'il ait quelque rapport avec la surface de cette sphère." Certes, Archimède a raison ; cependant, on peut aussi penser qu'Aristarque n'avait pas tort, mais que son expression paradoxale rendait impossible le dénombrement des grains de sable.

Archimède propose donc une « interprétation » plus adaptée au calcul numérique et qu'on peut résumer ainsi : Il y a le même rapport entre le rayon de la Terre et le rayon de son orbite autour du Soleil, qu'entre le rayon de cette orbite et celui de la sphère des étoiles fixes. A partir d'une estimation plausible du rayon terrestre, Archimède multiplie par 10 000 pour avoir le rayon de l'orbite terrestre, puis de nouveau par 10 000 pour obtenir le rayon de la sphère des fixes. Il peut alors évaluer le nombre de grains de sable que cet univers pourrait contenir (c'est le nombre 10 puissance 63, cité plus haut).

Il n'est pas certain que cette interprétation soit très conforme aux véritables intentions d'Aristarque. On a peine à croire que celui-ci ait écrit à la légère et sans réfléchir sa phrase sur le centre et la surface de la sphère. On ne peut pas croire non plus qu'il ait ignoré la différence de nature entre un « centre » et une « surface ». Finalement, il y a un certain mystère dans la façon dont Archimède utilise Aristarque. Il n'a d'ailleurs utilisé que la dimension de l'Univers, sans profiter de l'occasion pour dire un seul mot sur la position centrale du Soleil, qui est simplement mentionnée sans commentaire. Cela se comprendrait si Archimède avait été indifférent à l'astronomie en général, mais ce n'est pas le cas puisqu'il a laissé un magnifique planétarium de cuivre qui reproduisait les mouvements du Soleil, de la Lune et des planètes au moyen de dispositifs mécaniques admirés par de nombreux voyageurs antiques, longtemps encore après la mort d'Archimède. Ce planétarium plaçait-il le Soleil au centre, comme le suggère J.P. Luminet dans son roman *Le Bâton d'Euclide* ? Rien n'est moins sûr : cela s'accorderait mal avec le refus de tout engagement personnel dans *l'Arénaire* (c'est le titre de l'ouvrage sur les grains de sable).

La question la plus centrale est : Quels étaient les arguments d'Aristarque ? Étaient-ils déjà ceux de Copernic dix-huit siècles plus tard ? Ce n'est pas impossible car les variations d'éclat de Mars et les rétrogradations toutes différentes des planètes étaient parfaitement connues des anciens. Pour les interpréter, il suffisait, comme disait Copernic, de regarder le ciel « avec ses deux yeux », et nous savons qu'Aristarque en était capable.

Mais alors comment expliquer que ces arguments n'aient pas convaincu Archimède et ne se soient pas imposés ? On peut penser qu'Archimède, auteur de nombreuses démonstrations géométriques parfaitement rigoureuses, (volume de la sphère, surface

sous la parabole, etc...) a pu considérer les hypothèses d'Aristarque comme insuffisamment démontrées, trop douteuses pour mériter une approbation même prudente. On peut aussi remarquer que Copernic ne s'est imposé que très lentement malgré le nombre et la qualité des universités de la Renaissance. Les savants de l'Antiquité ne bénéficiaient pas d'un tel environnement intellectuel et encore moins de l'imprimerie qui permet à une idée nouvelle d'attendre le moment favorable et de voyager d'un pays à l'autre.

Cependant, la conception du monde d'Aristarque n'a pas été non plus ignorée, puisqu'elle a été reprise un siècle plus tard par un certain Séleucus (ouvrage également disparu). Encore deux siècles après, Plutarque mentionne à la fois Aristarque et Séleucus. Encore un siècle après, Sextus Empiricus parle des successeurs d'Aristarque, qui croient que la Terre tourne et non le Ciel. Et le géomètre Pappus cite le diamètre du Soleil selon Aristarque. Curieuse destinée : avoir raison, avoir des successeurs, être utilisé par le plus grand génie de l'Antiquité mais sans aucune approbation et d'une façon désinvolte et, finalement devenir une espèce de fantôme de l'astronomie errant comme une âme en peine, ni vraiment connu ni vraiment oublié.

*Le Bâton d'Euclide* se termine par l'ordre d'incendier la bibliothèque d'Alexandrie (642 après J.C.). Cet ordre du Calife Omar, successeur direct de Mahomet, est resté dans l'histoire comme symbole de l'Islam ultra-guerrier des origines, hostile à toute culture. J.P. Luminet imagine que la belle Hypatie, après avoir fait tout son possible pour sauver la bibliothèque, au moment de l'abandonner aux flammes, découvre que le bâton d'Euclide est creux et permet de cacher un ou deux rouleaux manuscrits pour les sauver du désastre. On apprendra plus tard, après sa mort par lapidation, qu'elle avait choisi pour les transmettre aux générations futures, les meilleurs passages de *Distances et grandeurs de la Lune et du Soleil* et des *Hypothèses* d'Aristarque. Hélas, cette belle fable nous ramène à notre frustration. Dans la réalité historique, il ne s'est trouvé aucune Hypatie, aucun bâton creux pour cacher l'œuvre précieuse, dont tous les astronomes du monde portent le deuil.

Il n'est pas certain que le Calife Omar soit responsable de cette perte irréparable. Dans le précis d'histoire de l'astronomie par lequel se termine *l'Exposition du système du monde*, Laplace explique que deux siècles avant le fameux incendie de 642, le géomètre Alexandrin Pappus évaluait d'après Aristarque le diamètre apparent du Soleil à 2°. Or, Aristarque, qui avait d'abord proposé cette valeur beaucoup trop grande, l'avait ensuite corrigée dans les *Hypothèses*, la ramenant à un demi-degré, valeur correcte citée par Archimède. On ne peut pas croire

que Pappus ait pu utiliser *grandeurs et distances* et pas les *Hypothèses*, si ce dernier ouvrage avait encore été disponible au IV<sup>ème</sup> siècle. On peut donc supposer qu'il avait déjà disparu bien avant le grand incendie de 642. Laplace pense qu'il a pu disparaître (avec des milliers d'autres) lors du siège d'Alexandrie par César (47 avant J.C.). C'était alors un incendie accidentel, conséquence de la guerre et pas du tout comme en 642, une volonté d'éliminer toute culture non-islamique, comme l'ont affirmé à travers les siècles les historiens chrétiens.

Finalement, l'œuvre d'Aristarque qui aurait mérité le plus d'être immortelle, nous échappe tellement que même sa disparition reste entourée de mystère.

L'idée d'Aristarque a connu la plus longue hibernation de toute l'histoire des sciences. Elle n'a cependant jamais disparu complètement : On la retrouve de-ci, de-là au moyen âge, mentionnée par des philosophes de diverses origines et appartenances. A. Koyré en cite quelques-uns dans son introduction aux *Révolutions des orbés célestes* de Copernic. Il manquait à cette idée, pour avoir une chance de s'imposer, une application pratique au calcul des positions planétaires, d'une précision au moins égale à celle de Ptolémée et de ses successeurs.

En l'absence de cette application pratique, l'héliocentrisme restait une simple théorie qui pouvait sembler arbitraire, peu crédible et, de toute façon, choquante pour des raisons religieuses. C'est le mérite de Copernic d'avoir proposé des tables astronomiques

fondées sur la théorie héliocentrique dont les résultats n'étaient pas très supérieurs à ceux de Ptolémée, mais au moins comparables. C'était la preuve que l'héliocentrisme était compatible avec des calculs corrects (selon les critères de l'époque). Il ne restait plus qu'à se débarrasser des cercles et des épicycles : ce sera le travail de Kepler.

Aristarque est certainement l'astronome le plus malchanceux de l'histoire, mais sa destinée aurait pu être bien pire si Archimède n'avait pas eu l'idée saugrenue de compter les grains de sable dans tout l'Univers.

## Lectures

P.S. Laplace : *Exposition du système du monde*, Fayard 1984 (Corpus des œuvres de philosophie en langue française).

Cet ouvrage va beaucoup plus loin que la vulgarisation astronomique habituelle et, il est écrit dans un style admirable de précision et de clarté.

J.P. Luminet : *Le Bâton d'Euclide*, édition J.C. Lattès, 2002.

Sous la forme d'un roman, c'est l'histoire de la bibliothèque d'Alexandrie et, par la même occasion, une revue de la science grecque depuis les origines. Grâce à l'imagination de l'auteur, Aristarque et Archimède apparaissent en chair et en os, comme dans un film un peu hollywoodien. ■

### Au fil des perles des Enseignants et des Astronomes.

Les anecdotes qui suivent nous viennent de Gilbert Walusinski; toutes deux reflètent bien son humour.

Un professeur corrigeait une copie. Il arrive à un endroit où l'élève avait si violemment gommé un calcul faux, que le papier s'était percé. A l'époque, la présentation comptait plus que de nos jours. Le professeur nota en rouge : "Un trou !". Puis continuant la correction, il tourna la page et nota furieux: "Encore un trou !".

Lors d'une école d'été je rapportais une phrase de Tycho Brahé sur sa découverte d'une supernova. Tycho Brahé écrivait que cette découverte fut faite "un jour ordinaire, le 11 novembre 1572"(sic). Gilbert m'interrompit pour me dire : "Un 11 novembre, ce n'est pas un jour ordinaire, c'est un jour férié !".

# OBSERVATIONS

## Et pourtant ils tournent Ou les satellites artificiels

**Pierre Le Fur**  
MPSI – ISEM Toulon,  
plefur@isem.tvt.fr

**Résumé :** *Observer les satellites comme la station spatiale internationale est un vrai jeu d'enfant, amusant, étonnant. Ses heures de passage sont parfaitement accessibles avec « Heavens Above », ne vous en privez pas. Deviner quelles villes elle survole, mesurer son altitude*

*Alors levez les yeux vers le ciel. Regardez les tourner.*

**Mots-clefs :** OBSERVATION - SATELLITE - PHOTOGRAPHIE

### Introduction

La perte dramatique de la navette spatiale Columbia et la mort de ses astronautes, et dans une moindre mesure l'échec de la version V de la fusée Ariane ont replacé la conquête spatiale sur le devant de la scène. La génération montante qui n'a pas connu la période héroïque des Spoutniks, des Geminis, et des Hommes comme Gagarine et autres Armstrong trouve naturelle l'existence de ces satellites si « artificiels » pour la génération précédente. Du téléphone portable à l'antenne parabolique de télévision, des quotidiennes images météo aux remarquables sondages d'univers captés par le télescope spatial « Hubble », nos élèves ne voient rien d'exceptionnel dans ces satellites qui tournent au-dessus de nos têtes. Et pourtant ils tournent, mais combien d'élèves ont réellement observé l'éclatant passage de la station spatiale internationale ISS ou le surprenant flash du n<sup>ème</sup> satellite de la "constellation IRIDIUM" ? Combien ont saisi les lois qui régissent leur mouvement ou leur visibilité ? Alors étonnons les avec la redécouverte d'un monde qu'ils croient connaître, celui de ces

milliers d'objets qui croisent au-delà des 200 km d'altitude, même si cela n'est pas vraiment de l'astronomie...

### La réalité spatiale appréhendée à travers la virtualité de deux sites internet

Décollons avec la "NASA" et choisissons les multiples possibilités du site du Marschall Space Center qui, en particulier, met en ligne un système 3D interactif de la Terre et ses satellites artificiels. On recommande le « Jtrack3D-realttime » (voir CC104). C'est parti !

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

Quelle extraordinaire vue en trois dimensions du ballet satellitaire, réactualisé en ligne. En pointant avec la souris, repérez les géostationnaires (Météosat...), cherchez les « GPS », admirez le « rase-mottes » rapide de la station ISS. Matérialisez une trajectoire

elliptique, survolez la Terre en maintenant le clic gauche de la souris...

Mais toute cette magnifique virtualité est-elle observable? Repartons avec le site allemand "HEAVENS ABOVE" plutôt dédié aux observateurs. Cette fois-ci l'entrée peut se faire simplement en recherchant le nom de la ville d'où l'on observe. Puis on peut sélectionner le satellite désiré; prenons par exemple ici l'"International Space Station".

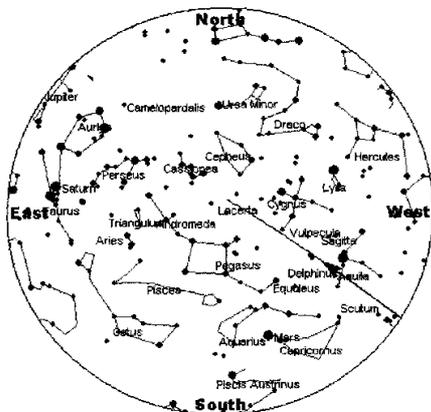
- La page suivante indique les dates, heures, directions et magnitude de passages observables depuis le site sélectionné.

- En cliquant la date correspondant à un passage à magnitude négative (donc très visible) vous obtenez une carte du ciel avec la trajectoire apparente de l'ISS ce soir ou ce matin là. De multiples autres détails sont révélés.

- A l'aide d'"ORBIT" on obtient la trace de l'orbite en projection verticale sur le globe terrestre ...

- De retour à la page d'accueil on recommande de sélectionner "IRIDIUM"...et de repérer un passage avec une magnitude de  $-8$ ! (Vénus n'atteint pas mieux que  $-4,4$ )...

C'est parti! <http://www.heavens-above.com/>



Pass Details

Date:

Thursday, 06 December, 2001

Ces pages web ne peuvent que nous inciter à lever les yeux vers le ciel où ces objets sont parfaitement visibles même en ville. A travers deux exemples, initiions-nous à ce type d'observation.

## L'observation "visuelle" des satellites artificiels

Ou comment, depuis le sol, l'on observa « Spacelab », le laboratoire européen placé à bord de la navette spatiale Columbia en novembre 1983.

Cette opération patronnée par A. Ducrocq et A. Souchier, centralisée au Prytanée militaire de la Flèche (72) avait pour objectif principal le balisage du méridien de Greenwich  $0^\circ$  entre Moncontour et Houlgate à l'aide de phares de voitures orientés vers le ciel pour une observation depuis le laboratoire spatial SPACELAB.

L'astronaute Ulf Merbold devait photographier la ligne lumineuse ainsi constituée matérialisant ce méridien terrestre origine. Lors du passage du 30 novembre vers 18h35, les astronautes ont pu observer ce « méridien » mais pas le photographier, la navette se présentant sous une orientation défavorable au moment du survol, à 250 km d'altitude.



JP. Lee (Club d'Astronomie de l'Université du Maine -72-) en poste sur le méridien le 30/11/83, à côté des trois projecteurs pointés vers le ciel reliés à une batterie d'accumulateurs.

L'objectif secondaire de cette opération a été la récolte de nombreuses observations photographiques du passage de la navette contenant le laboratoire spatial. Celles-ci ont été centralisées puis dépouillées.

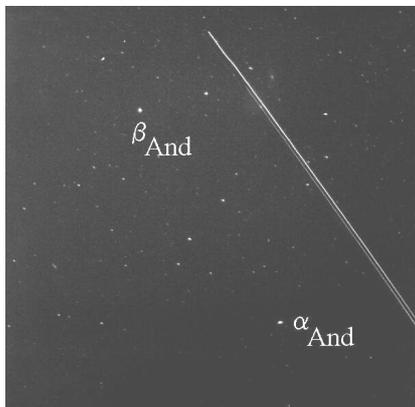
Exerçons-nous à reconnaître Spacelab, dont on sait que le mouvement se fait globalement de l'ouest vers l'est, c'est à dire dans le sens de rotation de la Terre.

Lorsqu'on dispose de l'heure de passage et de la direction générale du mouvement, on peut faire le choix entre plusieurs observations.

Notons qu'avec le site « Heavens Above », l'identification est sûre, puisqu'on dispose d'une carte céleste avec la trace de l'orbite, et de l'heure exacte. La précision temporelle et spatiale de ces éphémérides surprend l'utilisateur: minute d'arc et seconde de temps, pour une prévision à deux ou trois jours! Merveilles de la mécanique céleste...

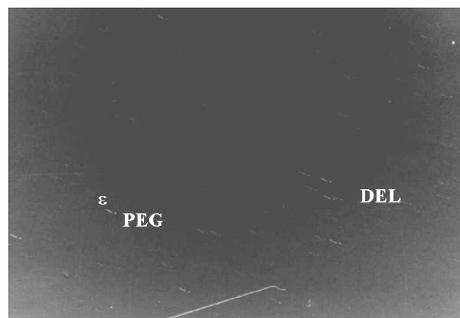
En 1983, rien de tel n'était facilement accessible au grand public. Trions donc parmi les clichés exploitables recueillis par le groupe de travail :

Le premier correspond à un mouvement nord-est/sud-ouest et une trace double sur l'original alors que les étoiles sont ponctuelles (cliché "n°1" du 1/12/83 -Elève du Prytanée).



*Quel bel avion !*

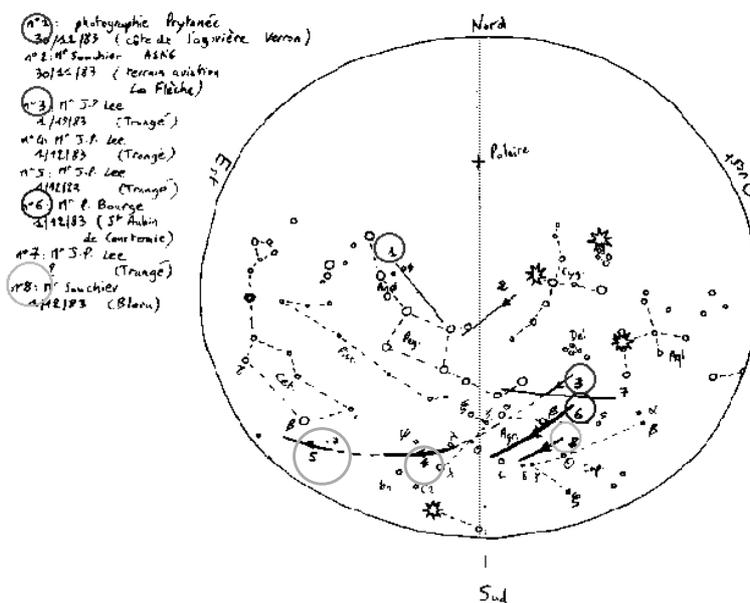
Le second montre un mouvement ouest/est (cliché "n°3" du 1/12/83 -JP Lee)



Peut-être un cliché de Spacelab avec un léger bougé de l'appareil photo en début de pose (étoiles dédoublées, trace de satellite déformée) ? Remarquons que J.P. Lee est parvenu à déplacer l'axe de la prise de vue trois fois de suite pour réussir à fixer sur la pellicule 3 parties d'un passage unique de la navette de durée totale 3 min ! Voir carte ci dessous traces 3, 4, 5.

**Localisation des traces par rapport aux étoiles:** Voici les traces photographiques supposées de la navette Spacelab reportées sur une carte générale du ciel – extraite d'un carnet d'observations.

Fig. 1 Aspect moyen du ciel (Sud et Zénith) entre le 25/12 et le 2/1/83 vers 17h30m



A l'évidence les objets 1 et 3 dont les clichés sont présentés au-dessus, sont sans rapport entre eux. Par contre les traces 2 à 6 et 8 correspondent au passage du même objet vu par divers observateurs les 30/11 (n°2) et 1/12/83 (n°3, 4, 5, 6, 8). L'heure de passage correspond à celui, attendu, de la navette. Le sens global de parcours concorde également.

**Influence de la position des observateurs le 1/12/83 (clichés "n° 3-6-8):**

Un même passage a été photographié par plusieurs observateurs: comparons les relevés n°3/6/8 de ce passage de 17h26 min TU avec les positions

respectives des observateurs (Trangé -72, Saint Aubin de Courteraie-61, Blaru-27) sur la carte Michelin:

Voici les coordonnées géographiques de ces points:

**Trangé-72** : long: 0°6'20" Est, lat : 48° 1' 34"

**St Aubin-61** : long 0°26' 3" Est, lat : 48° 35' 14"

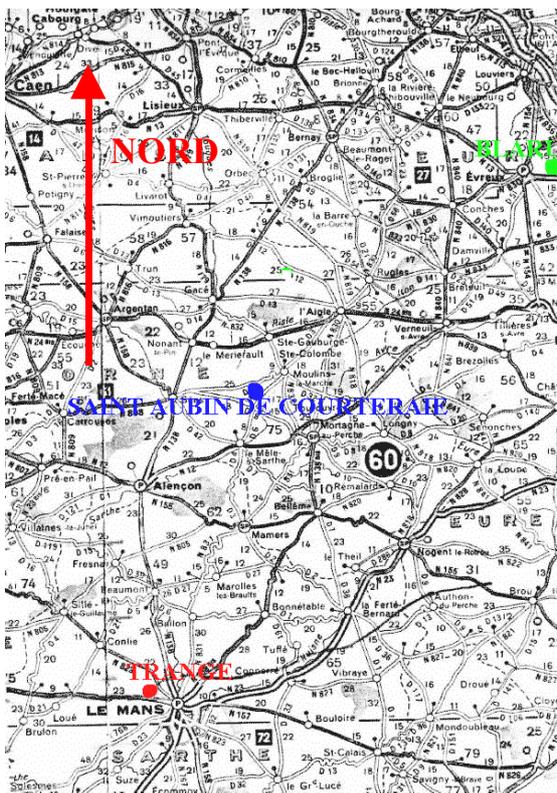
**Blaru-27** : long: 1°29'8" Est, lat : 49° 2' 29"

Le satellite est-il passé au sud ou au nord des observateurs ?

C'est bien sûr un passage au sud des observateurs puisque la trace apparaît d'autant plus bas sur l'horizon que l'observateur est au nord. En réalité, Columbia et son laboratoire survolaient le Sud Ouest de la France.

### Identification d'une trace, estimation de la distance de passage:

Retrouver le numéro de cette trace sur la carte du ciel proposée plus haut.

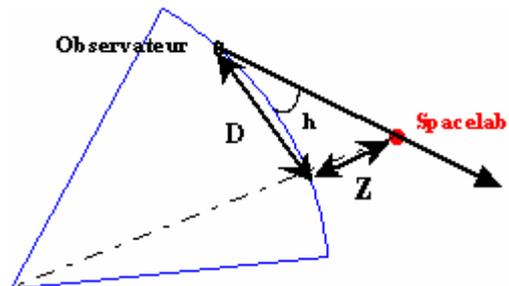


Carte Michelin. Le méridien 0° étant la ligne passant à l'ouest du Mans. Echelle: 111 km/° soit Trangé-St Aubin = 66.1 km



Vous l'avez reconnue, c'est la n°8 !

Remarquons qu'il est facile d'estimer la distance de passage D de la projection horizontale du couple spatial à l'aide de la hauteur angulaire h au-dessus de l'horizon et de l'altitude z supposée connue, 250 km. En effet :  $D \approx z/\tan(h)$

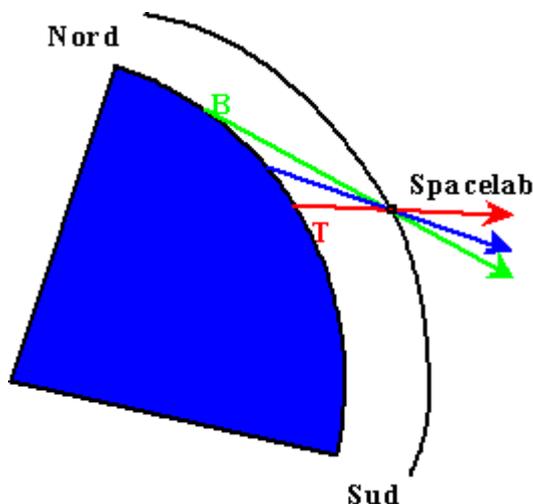


On retient en particulier que pour un passage à 45 ° (soit à mi-chemin entre l'horizon et le zénith), alors l'objet est aussi loin que haut :  $D = z$ .

Pour cette trace n° 8, on estime h à partir de la latitude  $\lambda = 49^\circ$ , et de l'intersection de la trajectoire avec le méridien, aux alentours de la déclinaison  $\delta = -15^\circ$ , repérée sur la carte du ciel. Cette hauteur h vaut environ  $90^\circ - \lambda + \delta = 26^\circ$ .

$$D(\text{km}) \approx 250/\tan(26^\circ)$$

Soit  $D \approx 510$  km, ce qui correspond au sud de Cahors, sur le méridien de l'observateur situé à Blaru (près d'Evreux).



## A quelle altitude circule-t-il ?

En juin 1979, la station Skylab est sur le point de rentrer dans l'atmosphère... Son altitude est évidemment un paramètre clé pour suivre son approche du sol. Voici d'abord un article paru dans un journal local (Maine Libre-72) fin mai 1979 :

# La chute de Skylab

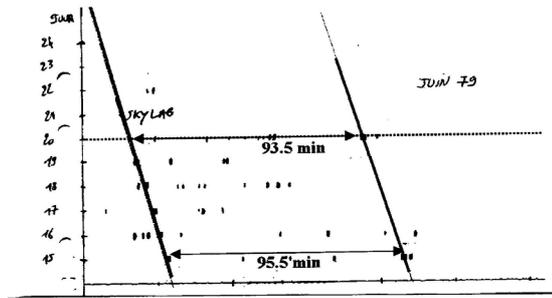
La N.A.S.A. envisagea l'envoi d'un satellite muni d'un explosif pour détruire Skylab, mais dut y renoncer car l'éparpillement des fragments sur une surface considérable aurait créé plus de dangers que la chute en bloc du satellite. Ne pouvant plus rien faire, la N.A.S.A. attend alors la chute qu'elle prévoit se produire en 1980. Mais en perdant de l'altitude, Skylab augmente sa vitesse orbitale, ce qui le freine davantage d'autant plus que la densité de l'air augmente de plus en plus. Vers 250-200 kilomètres d'altitude, la vitesse n'étant que de 8 kilomètres par seconde environ, soit 28.800 kilomètres à l'heure, vitesse au-dessous de laquelle la satellisation n'est pas possible. Skylab décrochera de son orbite et tombera sur la Terre en décrivant une courbe qui le mènera verticalement au sol. En fait, Skylab retombera plus tôt qu'il n'était prévu, probablement vers le 20 juin prochain, des irrégularités de vitesse du vent solaire le freinant plus qu'on ne le pensait.

Dans sa retombée, Skylab suivra le processus habituel de la chute des météorites et des quelque 6.000 satellites artificiels qui sont déjà retombés. A 120 kilomètres d'altitude, la densité de l'air, bien que faible, est suffisante pour créer une onde de choc très puissante qui ionise les molécules de l'air et les rend lumineuses.

sous un angle de 50 degrés avec l'équateur et son orbite se situent sur un plan fixe passant par le centre de la Terre et coupant les latitudes 50 degrés nord et 50 degrés sud. Sa durée de rotation étant de 91 minutes il passait de la latitude plus 50 degrés à latitude moins 50 degrés en 45 minutes, mais pendant qu'il effectuait un tour, la Terre tournait sous lui et par conséquent sa pro-

**Exploitation de l'article.** Relevons les valeurs données de la période nominale  $T_n$  de Skylab et celle de l'ordre de grandeur de l'altitude  $h_d$  à partir de laquelle il décroche de son orbite. En utilisant la 3<sup>ème</sup> loi de Képler et les données des constantes :  $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  et  $M_t = 5.98 \cdot 10^{24}$  kg,  $R_t = 6378$  km, calculons l'altitude  $h_n$  de l'orbite nominale.

Voici l'extrait d'un carnet d'observations. Durant les quelques jours de juin où le ciel a été favorable, on a relevé les heures de passages au méridien des satellites visibles en début de soirée.



En abscisse l'heure (T.U.) de passage au méridien. En ordonnée, le jour d'observation. On a relevé les périodes apparentes de Skylab les 15 et 20 juin. Chaque point correspond à un passage de satellite proche du méridien local.

L'observateur a-t-il fait une erreur en mesurant la période ? Quelle serait l'altitude au 15 juin ? Skylab va-t-il bientôt chuter ?



(Cliché NASA) La station chuta le 17 juillet 1979 du côté de l'Australie...

Mais on a oublié la rotation de la Terre ! En effet les périodes relevées sur le carnet ont été déterminées dans le référentiel terrestre et non géocentrique. Aussi faut-il donner la relation entre la période apparente dans le référentiel terrestre  $T_{\text{sat/terre}}$  et celle dans le référentiel géocentrique  $T_{\text{sat/étoiles}}$ , valable pour un satellite à orbite circulaire de courte période : soit en notant  $i$  l'inclinaison apparente pour l'observateur ( $40^\circ$  en moyenne) du plan de l'orbite du satellite par rapport au plan de l'équateur, et  $\lambda$  la latitude de l'observateur ( $48^\circ$ ),  $1/T_{\text{sat/étoiles}} \approx 1/T_{\text{sat/terre}} + \cos(\lambda)/(T_{\text{terre/étoiles}} \cos(i))$

On rappelle que la période de la Terre par rapport aux étoiles est de 86164 s.

**Conclusion :** La période nominale géocentrique de  $T_n = 91$  min correspond à l'altitude  $h_n = 325$  km. Le 15 juin la période apparente de 95.5 min correspond à

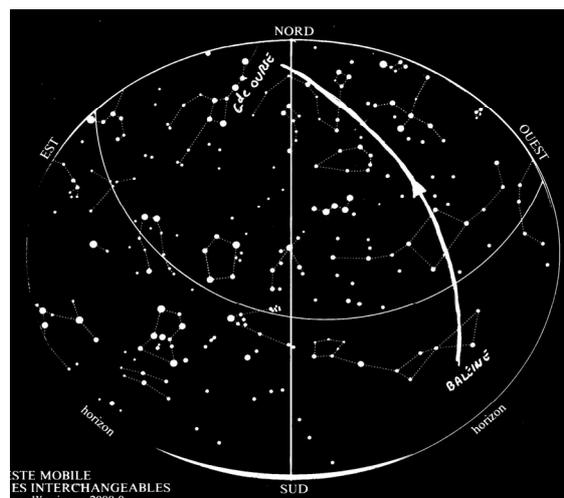
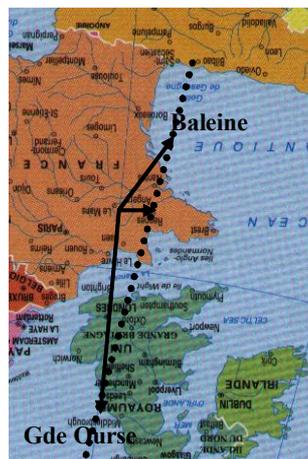
90.3 min de période géocentrique, soit une altitude de 294 km.

Enfin le 20 juin, celle-ci s'est réduite à 203 km correspondant à 88.5 min de période géocentrique et 93.5 min de période mesurée. Skylab se rapproche de la Terre jour après jour. Il faut bien entendu tenir compte d'une incertitude de 30 s sur les périodes soit près de 20 km d'altitude d'incertitude...

Fin juin, les panneaux solaires se sont détachés et ils étaient visibles depuis le sol, sous la forme de petites « étoiles » accompagnant l'objet principal.

### Observation d'une rentrée dans l'atmosphère : l'OVNI de Noël 1980

Observer, en France, la rentrée dans l'atmosphère d'un satellite artificiel est un phénomène assez rare mais possible comme l'attestent les témoignages relatant un phénomène observé le 25/12/1980 dans l'Ouest de la France. Commençons par un extrait du journal « Ouest France » du 26/12/80:



Et pour terminer, voici le relevé de la trajectoire de l'objet du 25/12/80 montrant son passage de la baleine (22H 08 H.L.) à la grande ourse (22H 10 H.L.). Sa magnitude de -2 à -3 dépassait celle de Sirius.

La trajectoire sud-ouest nord-est semble caractéristique de satellites polaires, type soviétique. Au moment de l'observation, le zénith est placé près de  $\alpha$  Persée. L'objet est passé à l'ouest de l'observateur à une hauteur au-dessus de l'horizon proche de  $40^\circ$  : il était plus loin que haut ( $D > Z$ ). Se désintégrant dans l'atmosphère, son altitude  $Z$  valait près de 120 km. Sa distance à l'observateur était donc d'environ 150 km. Sa trajectoire passait à la verticale de Rennes, l'observation ayant lieu au Mans. Au début de son passage dans la Baleine, il était au-dessus du golfe de Gascogne au large de l'embouchure de la Gironde ; à la fin près de la Grande Ourse, il était presque à la verticale de Manchester (GB)...soit 2 min de parcours à près de 28000 km/h ! Cela concorde avec les témoignages rapportés dans le premier article présenté plus haut.

### L'O.V.N.I. DE NOËL

#### Des centaines de témoins dans l'Ouest

**« Une boule blanche qui éclate en de nombreux fragments scintillants »... « Deux points lumineux laissant une traînée blanche »... « Sept objets avec une traînée blanche »... « Toute une dizaine d'objets »... « Comme un feu d'artifice »...**

De tout l'Ouest, depuis jeudi 22 h, les témoignages affluent. Combien furent-ils, les spectateurs de cet extraordinaire phénomène ? Des centaines, des milliers peut-être... De Nantes à Caen, de Gennes-le-Gandelin (Sarthe) à Riec-sur-Bélon (Finistère), de la Gironde (dont deux pilotes d'Air-France) au sud de l'Angierie, un même phénomène ne dans le ciel de cette nuit du 25 décembre 1980. « Il » ont vu quelque chose qui n'était ni une pluie d'étoiles filantes, ni une formation d'avions, mais autre chose... Quel ? Là, les descriptions diffèrent, d'un point d'observation à l'autre : à une vitesse folle ? Se déplaçant brutalement ? Une seule couleur ? De multiples couleurs ? A très haute altitude ? Bas sur l'horizon ? Vingt-cinq secondes ? Trois minutes ? Impossible de faire un résumé unique de ces descriptions. Alors, quoi ? Un vol d'extra-terrestres, une fusée de retour dans l'atmosphère et qui explose, un météorite qui se désintègre ? Pour l'heure, aucune explication sûre, d'autant que les observatoires astronomiques avaient, en ce soir de Noël, mis le ciel sous le paillason. On sait seulement que, quelques heures plus tôt, l'U.R.S.S. avait lancé une sonde spatiale... Mais il y en a eu d'autres... Parmi les multiples témoignages, celui d'un ancien pilote de l'armée de l'Air... Et l'hypothèse avancée par un astronome amateur.

**« Le plus beau feu d'artifice de ma vie »**

**L'objet mystérieux dans le ciel sarthois ?**  
**« Un satellite rentrant dans l'atmosphère »**  
**pense le Club d'Astronomie de l'Université du Maine**

Toutes les radios ont parlé, hier, d'un phénomène lumineux observé jeudi soir par de nombreux témoins et notamment par des pilotes d'Air-France. D'aucuns ont pu même le qualifier d'O.V.N.I. - ces objets dont la réalité est certaine mais dont les origines le sont moins.

Ces observations, de nombreux Sarthois les ont faites également. M. Jean-Pierre Guyard, employé au Crédit agricole de Sablé, domicilié à Mon Plaisir à Auvers-le-Hamon, a vu une grosse boule jaunâtre entourée de plusieurs petites qui se déplaçaient à la même vitesse, selon une direction générale sud-nord. Le phénomène a été visible pendant près de deux minutes - il était 22 heures.

Ingénieur à l'usine Alstom de Précigné, M. Proux a fait les mêmes observations.

De même dans la région de Mans.

Au Mans, des policiers de service de nuit ont, eux aussi, observé ces « objets volants non identifiés ».

**Une observation scientifique**

Toutefois l'observation la plus intéressante a été faite au Mans ainsi que l'explique une note du Club d'Astronomie de l'Université du Maine.

Le phénomène est en effet ap-

Poursuivons par un croquis plus « scientifique » montrant l'objet dans la constellation de la Baleine, au début de son mouvement dans le ciel sarthois :

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

Gilles Theureau

Astronome Adjoint à l'Observatoire de Paris  
et au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement à Orléans

Compte rendu de la conférence de l'assemblée générale du CLEA  
en novembre 2002

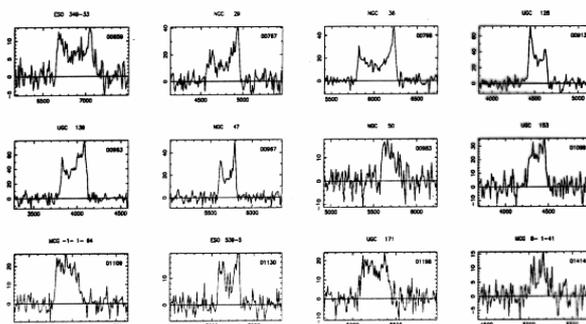
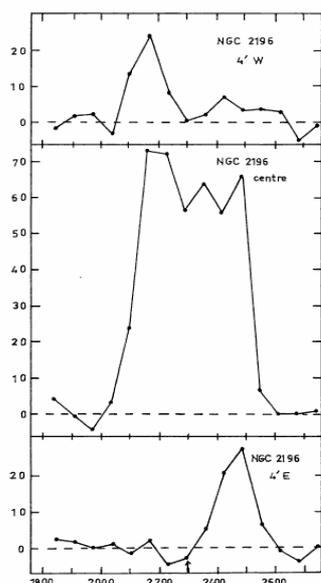
### Trente années de recherche

*La conduite d'un programme de recherche, a fortiori sur une longue période, voire d'une carrière, dépend autant, si ce n'est plus, d'événement fortuits, de rencontres inattendues, d'effets de mode ou de choix politiques que d'une réelle construction et projection a priori. C'est là toute l'ambiguïté du mot « programme » en recherche fondamentale, où l'on projette sur plusieurs années des séries d'actions dont on ne sait pas où chacune va nous mener, à la fois d'un point de vue scientifique, où l'on peut tomber dans une impasse ou être conduit dans une direction tout à fait inattendue, et d'un point de vue pratique ou infrastructurel, parce que la disponibilité d'un instrument peu manquer, qu'un satellite n'a pu être lancé, qu'un projet n'a finalement pas été financé, ou qu'une équipe s'est désagrégée... Souvent, on ne mesure réellement la cohérence ou l'incohérence du programme qu'a posteriori. C'est ce type de synthèse que j'essaierai de faire ici. On verra ainsi que les travaux de Lucienne, Lucette, puis de Georges (rencontré en 1979), peuvent aisément être regroupés sous l'intitulé : « étude cinématique de l'univers local »*

### Les observations radio

Le démarrage de ce programme correspond au début des années 70 avec l'avènement de la radioastronomie à antenne unique et l'exploitation du tout nouveau grand radiotélescope de Nançay. Lucienne et Lucette commencent à cette époque les premiers grands relevés extragalactiques à 21-cm en mesurant la raie d'émission de l'hydrogène neutre du milieu interstellaire dans les galaxies extérieures. La largeur de la raie dépend de la vitesse de rotation dans le disque ou de l'amplitude de la turbulence du gaz, son aire ou le flux HI correspond à la masse d'hydrogène qui a émis ce rayonnement, la position en longueur d'onde de la raie donne la vitesse globale de la galaxie

par rapport à l'observateur, projetée sur la ligne de visée. Elles étudient alors la distribution et la quantité de gaz dans les galaxies en fonction de leur morphologie (spiraux/elliptiques/irrégulières) ou de leur environnement (groupe, amas, isolées). Elles s'impliquent aussi dans la recherche de galaxies cachées derrière le plan de la Voie Lactée (le rayonnement radio, à la différence du rayonnement optique, n'est pas absorbé ni diffusé par le gaz ou les poussières du milieu interstellaire, et notre galaxie est donc « transparente » aux ondes radio), ce qui permet réellement une reconstitution des grandes structures sur l'ensemble du ciel.



## Les mesures 21-cm au radiotélescope de Nançay

*à gauche, l'émission 21-cm dans trois zones d'une galaxie spirale*

*ci-dessus, un extrait du catalogue KLUN contenant plus de 4000 profils 21-cm de galaxies*

Enfin, elles découvrent une relation entre la largeur de la raie 21-cm et la taille des galaxies, une loi empirique pouvant servir d'indicateur de distance. Cette relation deviendra en 1977 la relation de Tully-Fisher, du nom des deux astronomes anglais qui l'ont formalisée comme une relation linéaire entre le logarithme de la vitesse de rotation maximale dans le disque d'une galaxie spirale, mesurée à partir de la largeur de la raie 21-cm, et sa magnitude absolue, mesurée en optique. Cette relation est aujourd'hui un des indicateurs de distance les plus utilisés (voir plus haut, section « Les observations »).

La collecte de données radio à Nançay (en particulier le programme « KLUN », pour kinematics of the local universe) continue encore aujourd'hui après la dernière rénovation du grand radiotélescope (projet FORT), où près de la moitié du temps de télescope lui est consacrée. Plus de 4000 spectres HI de galaxies y ont été mesurés en 30 ans par cette seule équipe. La compilation de toutes les données mondiales (extraites de 611 publications !) a produit par ailleurs un catalogue 21-cm de 16600 galaxies (Paturel & co 2003, voir plus loin à propos des bases de données).

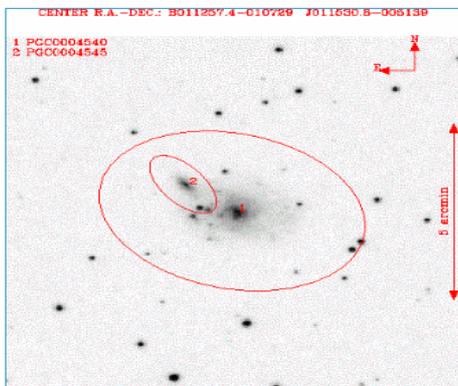
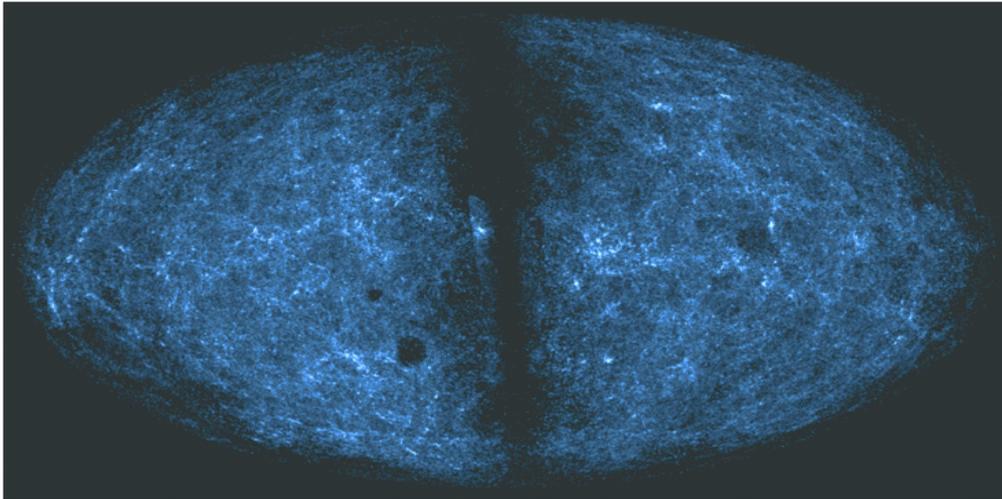
## L'estimation des distances

Ces travaux sur la raie 21-cm de l'hydrogène et la rencontre avec le grand astronome franco-américain Gérard de Vaucouleurs ont été à l'origine d'une série d'études des indicateurs de distances extragalactiques et de la mesure de la constante de Hubble : en premier lieu bien sûr l'étude de la fameuse relation de Tully-Fisher, avec la publication d'une première grande

compilation de 1207 galaxies en 1982, mais aussi l'utilisation de la Classe de Luminosité, de la relation Diamètre-Luminosité et du principe des galaxies sosies. Pour ces recherches, est apparue la nécessité de rassembler de grands catalogues homogènes contenant les caractéristiques globales des galaxies en termes de taille apparente, de magnitude, de type morphologique, de redshift ou toute autre mesure permettant une estimation de la distance. De Vaucouleurs était familier de ces grandes compilations et des techniques d'homogénéisation, mais c'est la construction de la base de données LEDA par Georges en 1983 avec l'essor de l'informatique, qui a donné à ces catalogues leur dimension moderne. Le "Third Reference Catalogue" (RC3) de Vaucouleurs, que l'on trouve dans toutes les bonnes bibliothèques d'observatoire, sera lui-même créé à partir de cette base.

## La base de données LEDA

Le catalogue LEDA compte aujourd'hui 2,7 millions de galaxies avec pour chacune jusqu'à 70 paramètres astrophysiques disponibles et un mode d'interrogation « scientifique » à partir d'une sélection sur les valeurs de ces paramètres. Il contient la plupart des données publiées à ce jour sur les galaxies de l'univers local et donne accès à des cartes et des images sur l'ensemble du ciel. Les corrections d'extinction interstellaire et d'opacité interne des galaxies y sont intégrées de manière homogène. En effet, ces corrections dépendent fortement de l'inclinaison et de la morphologie de chaque galaxie, en particulier du contenu en gaz et en poussière.



## La base de données LEDA:

2,7 millions de galaxies

70 paramètres par galaxie

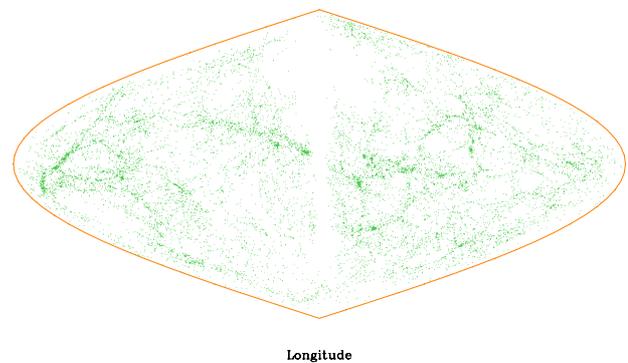
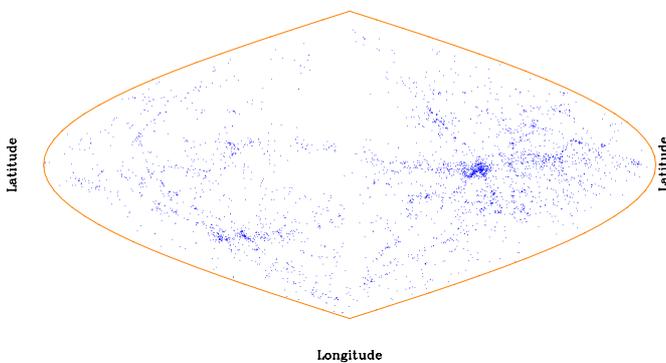
un index général: le N° pgc

des cartes et des images

## Encadré : Les projections de Flamsteed

distances < 100 Mal

100 Mal < distances < 300 Mal



Les projections sont utilisées pour représenter toute la surface d'une sphère sur un plan. On les utilise par exemple en cartographie pour représenter tous les continents sur une même figure plane. Une utilisation courante en astronomie est celle qui donne une cartographie du ciel. Il existe plusieurs types de projections. Les plus utilisées sont celles qui conservent les aires. Le nombre d'objets par unité de surface sera donc conservé, et les structures seront identiques à celles du ciel réel.

Nous donnons les équations de la projection de "Flamsteed".

Soient (X,Y) les coordonnées sur la feuille de papier et (L,B) la longitude et la latitude des objets sur la sphère céleste. Notons que L et B sont prises dans un système de coordonnées quelconque : équatoriales, galactiques, super-galactiques...

L varie de 0 à 360° et B de -90° à +90°. La transformation est la suivante :  $X=(L-L_0)\cos B$  et  $Y=B$ , où  $L_0$  est une constante qui fixe la position de l'origine des longitudes sur le graphique.

Nous présentons deux projections de Flamsteed donnant la distribution des galaxies proches (distances inférieures à 100 millions d'années-lumière) et plus lointaines (entre 100 et 300 millions d'années-lumière). Dans la première figure (en bleu) on voit une structure horizontale découverte par G. de Vaucouleurs dans les années 1950 : le Super Amas Local, centré sur l'amas de galaxies Virgo. Sur la figure de droite (en vert) une autre structure apparaît sous la forme d'un arc gigantesque reliant plusieurs Superamas de galaxies.

La projection générale montrant toutes les galaxies de LEDA est une projection de Hammer.

GP

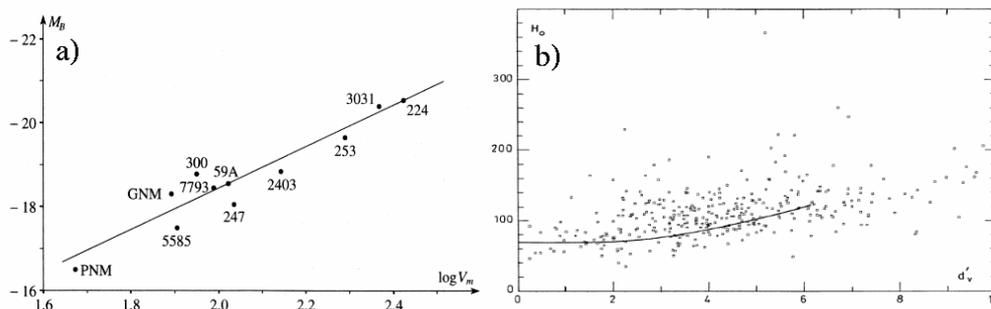
Ce lourd travail de compilation et de regroupement des données a entraîné une réflexion à la fois sur les corrections à apporter aux observations collectées et sur la statistique des galaxies de l'univers local.

## Le biais de Malmquist et la constante de Hubble $H_0$

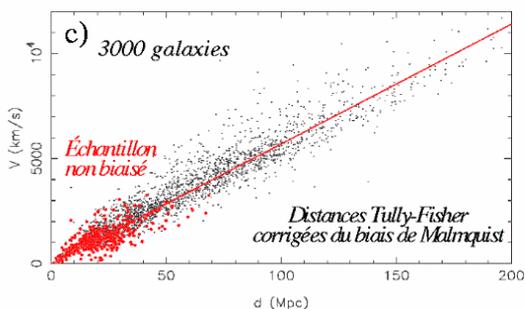
La rencontre au début des années 80 avec Pekka Teerikorpi, astronome finlandais de l'Observatoire de Turku, marquera un réel tournant et sera le début d'une longue collaboration et d'une grande amitié. Pekka alerte l'équipe de l'influence des effets de sélection d'un échantillon sur la mesure de la constante de Hubble par la relation de Tully-Fisher : cet effet statistique, plus connu chez les astronomes stellaires sous le nom de biais de Malmquist, du nom de son découvreur en 1920, conduit à une sous-estimation des distances et à une surévaluation de la constante de Hubble. Leur première grande publication commune en 1986 montrera que si l'on prend correctement en compte l'effet du biais, on trouve des valeurs de  $H_0$  entre 56 et 72 km/s/Mpc et non proche de 100 km/s/Mpc comme le soutenait De Vaucouleurs dans le long débat qui l'opposait depuis une quinzaine d'années à un autre

grand astronome, l'américain Alan Sandage. Rejoignant Sandage, cette nouvelle valeur de  $H_0$  donne en particulier un âge de l'Univers plus grand et compatible avec l'âge des plus vieilles étoiles de la Voie Lactée.

Les études et observations qui suivirent ont mené en 1997 à une valeur finale de la constante de Hubble de  $55 \pm 5$  km/s/Mpc, grâce à un catalogue dix fois plus important, à une analyse statistique plus robuste, et aux données complémentaires apportées par le Hubble Space Telescope et le satellite européen Hipparcos (distances de 40 galaxies proches par la méthode des étoiles céphéides, calibration géométrique de l'échelle des distances extragalactiques grâce à de nouvelles mesures de parallaxes). Parmi cette série de travaux, étalée sur plus de dix ans, on trouve en particulier une étude approfondie du champ des vitesses des galaxies au voisinage et au sein de l'amas de la Vierge, connu comme le centre de notre propre superamas et étant une importante source de perturbation pour la mesure de  $H_0$ . Cela aboutira en outre à une mesure de notre propre chute en direction de l'amas, évaluée à environ 200 km/s.



L'estimation de la constante de Hubble



- a) La relation Tully-Fisher à partir de 11 galaxies de distances connues
- b) L'effet du biais de Malmquist sur la valeur de la constante de Hubble
- c) Diagramme vitesse-distance et matérialisation de la loi de Hubble

## Les développements récents

A partir de ce moment, considérant comme réglée la question du biais de Malmquist et de la constante de Hubble, le groupe se tourne vers divers aspects en amont et en aval de cette question: en amont, on trouvera la calibration primaire de l'échelle des

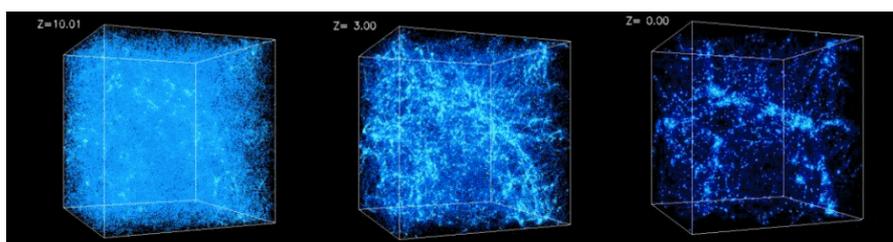
distances, permettant à la fois des mesures absolues de distances, reliées aux parallaxes, et la réduction de l'incertitude résiduelle sur la constante de Hubble, on trouvera aussi la construction de nouveaux catalogues photométriques à partir des grands relevés photographiques et CCD, le problème de l'homogénéité des mesures de magnitude et la question de la classification morphologique des galaxies à partir des

images digitalisées ; en aval il y aura l'étude des grandes structures de l'Univers Local, de la distribution de la matière noire et du champ des vitesses, à partir de distances corrigées du biais de Malmquist. La recherche d'une calibration absolue de l'échelle des distances en comparant directement les céphéides galactiques aux céphéides extragalactiques mesurées par le Télescope Spatial Hubble a permis de mieux comprendre la relation période-luminosité-couleur des céphéides et ses liens avec la métallicité et la morphologie des galaxies, de relier enfin l'échelle des distances extragalactiques à des « vraies » distances géométriques et d'évaluer précisément l'incertitude sur la mesure de la constante de Hubble.

L'exploitation automatique des grands relevés tels que les plaques digitalisées du Mont Palomar (DSS-MIGAL) et le sondage CCD en proche infrarouge DENIS a permis d'extraire et d'intégrer dans LEDA des catalogues de plusieurs centaines de milliers à quelques millions de galaxies de notre univers proche, pour lesquels on a pu mesurer de manière homogène les

coordonnées, magnitudes, diamètres, inclinaisons et angles de position. Nous avons pu ainsi disposer d'un catalogue de référence et d'un index général de galaxies suffisamment profond et complet pour pouvoir y rapporter la plupart des mesures publiées dans la littérature, notamment les autres grands sondages tels que 2-MASS ou le SLOAN. La disponibilité des pixels des images elles-mêmes permet d'autre part des études de type morphologique, soit au sens classique (à l'oeil: développement des bras spiraux, bulbe, disque, ellipticité...), soit physique (ajustement de modèles de galaxies et profils de brillance), soit mathématique (degré de symétrie, décomposition de l'image sur une base orthogonale à n dimensions ...). Ces travaux sont en cours et sont l'occasion d'un atelier de prospective mené par Georges au sein du PNG (Programme National Galaxies du CNRS).

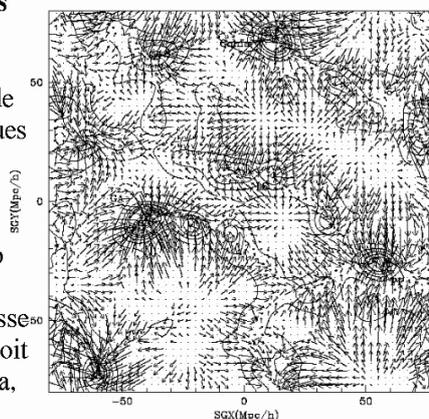
Enfin, le dernier chapitre encore ouvert sur la problématique de l'Univers Local concerne l'étude du champ des vitesses particulières des galaxies et de la distribution de densité de la masse totale.



### La formation des grandes structures de l'univers.

Ci-dessus une simulation numérique de la distribution de matière à trois époques de l'univers primordial jusqu'à aujourd'hui

Ci-contre, une vue en coupe du champ des vitesses particulières des galaxies (flèches) et de la distribution de la masse dans l'univers local (contours). On y voit les principales structures: Virgo, Coma, la zone de Persée-Poissons (P-P) ...



Il s'agit là d'évaluer le contenu en masse noire de l'univers aux différentes échelles, des galaxies jusqu'aux plus grandes structures connues que sont les superamas, filaments et bulles qui s'étendent sur plusieurs dizaines de mégaparsecs, et de mesurer le paramètre de densité de matière de l'univers,  $\Omega_m$ , qui entre au même titre que  $H_0$  dans la définition des modèles cosmologiques. Après plusieurs études

« locales » du champ des vitesses au voisinage du Groupe Local (2002), du superamas Virgo (1992, 1999, 2000), du superamas de Persée-Poissons (1998, 2001) ou dans la zone du supposé Grand Attracteur (1994, 1998), qui ont permis notamment d'évaluer le rapport masse-lumineuse/masse-noire à l'échelle de ces structures, nous avons travaillé au cours de l'année 2003 sur la reconstruction globale du champ des vitesses des galaxies et sa cartographie en trois

dimensions. Ce travail a été possible en intégrant dans une même étude l'ensemble des données disponibles à ce jour : des mesures de magnitudes dans cinq bandes photométriques B, I, J, H et K et des mesures cinématiques de vitesses de rotation et de dispersion centrale de vitesses pour près de 20 000 galaxies, permettant une représentation détaillée jusqu'à une résolution d'un Mpc.

Ces données sont uniques et l'exploitation complète des cartes reste encore à faire.

Plusieurs thèses de doctorat ont accompagné cette longue période, portant sur les mesures radio elles-mêmes (P.Fouqué, 1982, J.-M.Martin, 1989), sur les grandes structures de l'univers local (H. Di Nella, 1995), sur la relation Tully-Fisher et la mesure de  $H_0$  (G. Theureau, 1997), sur le critère de distance des céphéides (P. Lanoix, 1999, I. Musella, 2000), et sur la cinématique de Virgo et du Groupe local (J.N. Terry, 2002). Cinq de ces ex-étudiants ont aujourd'hui un poste de chercheur dans un observatoire, à Paris, Lyon, Santiago (ESO, Chili) ou Naples (Italie)... Plus d'une centaine de publications dans des revues scientifiques et des comptes rendus de colloques s'y réfèrent.

## Le futur

Que reste-t-il à faire aujourd'hui dans ce domaine et quels sont les nouveaux développements à apporter ? On a vu que l'étude du champ de vitesses particulières des galaxies et de la distribution de la masse noire est encore un chantier ouvert, de même que la question de la morphologie des galaxies. Nous bénéficions en particulier de nouveaux flots de données dans l'Univers Local avec les images de DENIS et 2MASS et les redshifts du SDSS, 2dF ou 6dF...

Ces deux aspects sont reliés à deux fortes thématiques actuelles qui sont celle de la formation des grandes structures à partir des fluctuations de densité dans l'univers primordial et celle de la formation et de l'évolution des galaxies. Ces thématiques émergent grâce aux nouveaux moyens de calculs offerts par les superordinateurs et autres calculateurs parallèles et grâce aux grands télescopes optiques de la génération du VLT (Very Large Telescope : 4 télescopes de 8 m de diamètre, installés sur un site de l'observatoire européen austral, l'ESO) qui ont permis de sonder

l'univers lointain, d'y obtenir le même type de mesures que dans l'univers proche, et d'étudier les populations stellaires et leur histoire jusqu'à  $z \approx 1$ , quand l'univers n'avait qu'un tiers de son âge. Grâce aux progrès de l'informatique, nous avons aujourd'hui les moyens de construire des simulations lourdes à partir de modèles cosmologiques et d'une distribution des fluctuations de densité de l'univers primordial, et de comparer les résultats aux observations de  $z \approx 1$  jusqu'à  $z \approx 0$ , c'est à dire notre univers contemporain. Il est ainsi devenu nécessaire de rassembler les observations à différents  $z$  et différents âges au sein d'un même système de base de données pour pouvoir les comparer et les manipuler avec les mêmes outils. C'est ainsi que la base de données LEDA évolue vers un concept d'observatoire virtuel, permettant non seulement de manipuler des catalogues de manière homogène et d'extraire des échantillons de galaxies suivant des critères physiques, mais aussi d'accéder aux observations elles-mêmes directement sous forme de spectres et d'images. Ce nouveau concept s'appuie sur le réseau Internet qui permet la gestion à distance des flots de données et l'accès à des archives sur différents sites de manière simultanée. Ainsi l'attention pourrait plutôt se reporter sur la nature physique et l'évolution des relations d'échelle dans les galaxies, comme les relations de Tully-Fisher (spirales) et du Plan Fondamental (elliptiques), ou sur les échanges entre les galaxies et leur environnement au cours de leur évolution.

Pour un nouveau bond en avant, il faudra ensuite sans doute attendre la nouvelle génération d'instruments au delà de 2010 avec les projets GAIA, ALMA, SKA et OWL. GAIA apportera une connaissance globale de notre Galaxie et de sa dynamique, ALMA nous permettra entre autres de sonder les zones de formation stellaire au plus profond des galaxies, SKA nous permettra d'accéder à la distribution de l'hydrogène neutre, principal constituant baryonique de notre univers jusqu'à  $z \approx 1$ , et OWL, avec son miroir de 100 mètres de diamètre, nous donnera des images des objets les plus lointains et les moins lumineux de notre univers.

■

# DOSSIER: TRANSIT DE VENUS

## Introduction

Quand vous lirez ces lignes, Vénus sera passée devant le Soleil. Mais au moment où nous écrivons, nous ne savons pas encore si les observations se seront bien déroulées. On peut espérer qu'il y aura eu quelques régions de ciel dégagé. En revanche, nous ne savons pas si le Soleil aura eu des taches. Si oui, la superposition de clichés pris au même moment depuis des sites distants sera relativement facile, les taches fournissant l'orientation du Soleil. Mais si le Soleil est immaculé, comment faire?

Nous publions ci-dessous une méthode due à Béatrice Sandré, méthode qui devrait permettre de faire cette superposition si le protocole CLEA a été suivi et

si, de ce fait, plusieurs clichés, pris à 30 minutes d'intervalle, sont disponibles.

Une autre difficulté peut apparaître. Si l'une des photos est prise au lever ou au coucher du Soleil, la réfraction peut intervenir. Les rayons lumineux s'incurvent en entrant dans l'atmosphère. L'effet est du second ordre car nous nous référons au bord du Soleil. Mais il faut penser que l'effet n'est pas seulement un déplacement global de l'image, il y a une déformation de l'image qui peut être préjudiciable à la mesure précise. Nous donnons une évaluation de cet effet dans un petit encadré ci-dessous.

Souhaitons la réussite à ceux qui essaieront d'évaluer la distance de l'astre solaire.

## Comment superposer les photos en l'absence de taches solaires ?

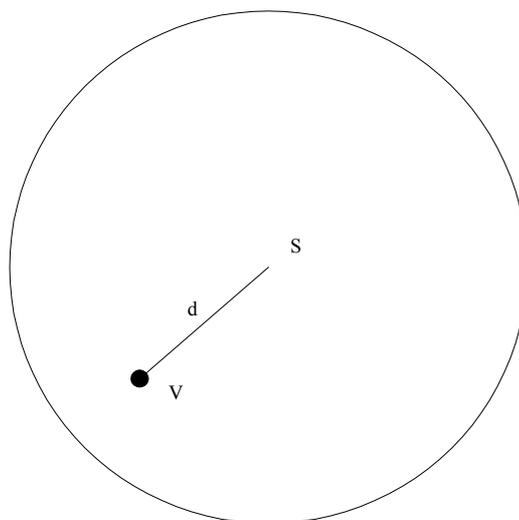
Béatrice Sandré

En l'absence de taches solaires, il est possible de superposer les photos à condition d'en avoir pris plusieurs à intervalles de temps réguliers.

Supposons par exemple qu'on prenne des photos du passage de Vénus depuis Bures sur Yvette (Essonne) et Saint Paul de la Réunion à 6 h, 7 h, 8 h, 9 h et 10 h T.U. le 8 Juin prochain (il faut au moins trois photos).

Sur chacune des photos, on aura le Soleil dont il est facile de déterminer le centre S (en traçant par exemple les médiatrices de deux cordes) et Vénus dont le centre sera noté V.

On mesure avec un maximum de précision et sur chaque photo la distance  $d$  entre S et V. Les valeurs de  $d$  exprimées en secondes d'arc sont données dans le tableau ci-dessous (simulation faite avec les éphémérides du bureau des longitudes) :



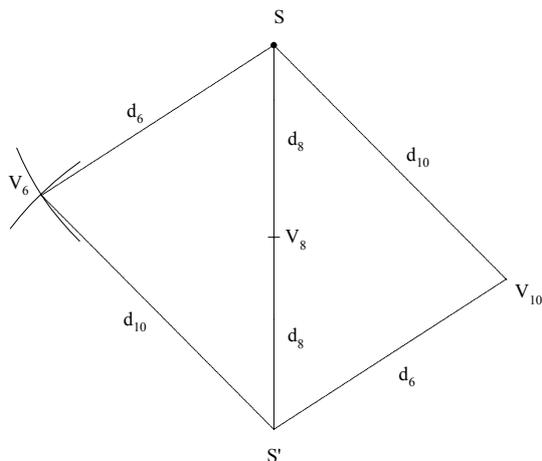
	Bures sur Yvette	Saint Paul
6 h	139,2	136,6
7 h	114,5	110,7
8 h	99,4	95,0
9 h	98,5	94,6
10 h	112,4	109,8

### Superposition des photos vues de Bures sur Yvette :

Sur une feuille de papier, on place vers le centre le point  $V_8$  représentant le centre de Vénus à 8 h T.U. On dessine ensuite un segment  $SS'$  de longueur  $2 d_8$  dont  $V_8$  est le milieu. Une des extrémités est le centre  $S$  du Soleil.

La figure formée par  $S, V_6, S', V_{10}$  est un parallélogramme de côtés  $d_6$  et  $d_{10}$  et de diagonale  $2 d_8$  dont  $V_8$  est le milieu.

Pour placer  $V$  à la date 6 h T.U., il suffit donc de tracer deux arcs de cercle, l'un de centre  $S$  et de rayon  $d_6$ , l'autre de centre  $S'$  et de rayon  $d_{10}$ .  $V_6$  est à leur intersection. On peut de même placer  $V_{10}$ .



### La réfraction atmosphérique

Nous voulons mettre en garde les utilisateurs contre un risque d'erreur, sournois, mais bien réel : la réfraction atmosphérique. Notons  $\zeta$  la distance zénithale (distance angulaire entre le zénith et la ligne de visée réelle) d'une étoile et  $\zeta_0$  la distance zénithale apparente. On peut montrer qu'en première approximation on a :

$\zeta - \zeta_0 = 60,3 \tan \zeta_0$ , le résultat étant en secondes d'angle. Cette relation n'est valable que pour  $\zeta_0 \leq 75^\circ$ . On voit qu'à 45 degrés, sur un objet de la taille du Soleil ( $0,5^\circ$  de diamètre), l'aplatissement angulaire est de 1 seconde d'angle (1/20 de l'angle que l'on veut mesurer). Mais à  $75^\circ$  du zénith ( $15^\circ$  au-dessus de l'horizon), l'écart atteint 8 secondes d'angle (1/3 de l'angle à mesurer). Pour la comparaison des paires de photographies du transit vénusien, il faudra prendre celles de plus faible distance zénithale possible. GP

Puis, de la même façon  $V_7$  et  $V_9$ . Les points  $V_6, V_7, V_8, V_9$ , et  $V_{10}$  doivent être alignés et représentent la corde décrite par Vénus sur le Soleil, vue depuis Bures sur Yvette.

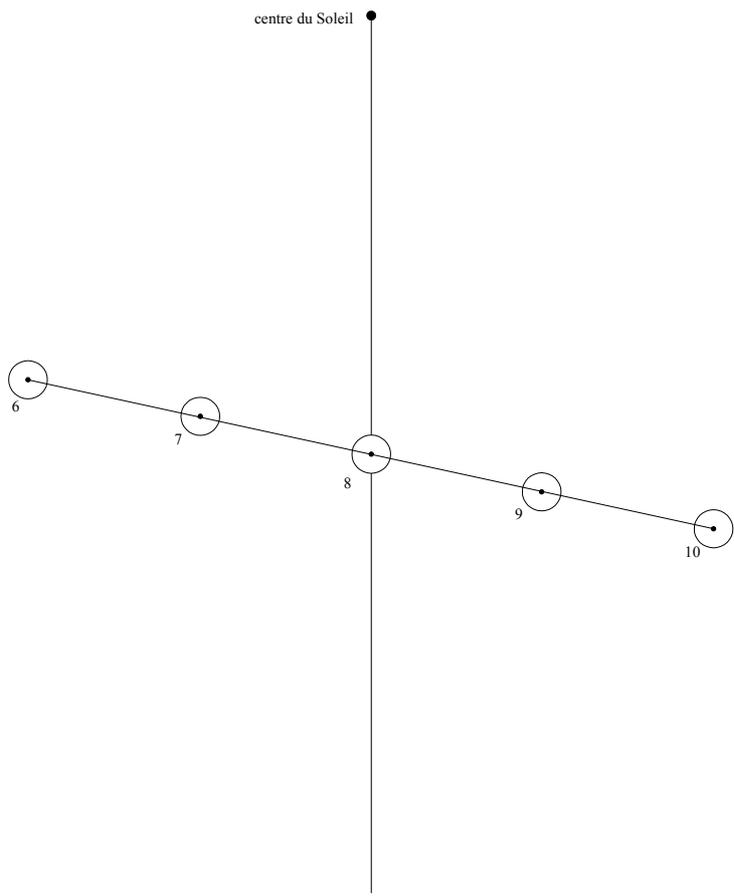
### Superposition des photos vues de Saint Paul de la Réunion :

On reprend le même travail avec les photos vues depuis Saint Paul de la Réunion mais sur une feuille de papier calque. Les points  $V_6, V_7, V_8, V_9$ , et  $V_{10}$  doivent être alignés et représentent la corde décrite par Vénus sur le Soleil, vue depuis Saint Paul.

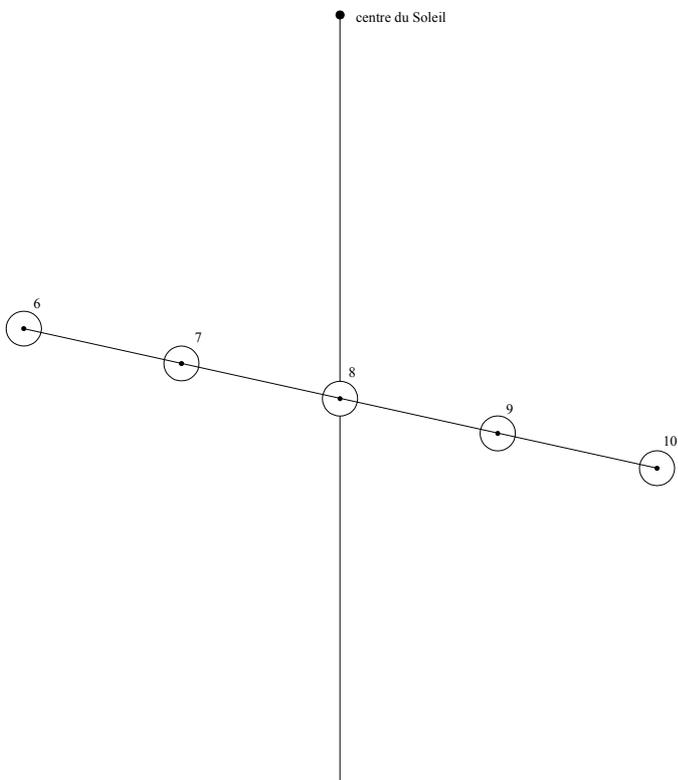
### Superposition des photos vues depuis Bures sur Yvette et Saint Paul de la Réunion :

Les deux cordes décrites par Vénus vue depuis Bures sur Yvette et Saint Paul étant parallèles, il faut placer la feuille de calque (Saint Paul) sur la feuille de dessin (Bures) en faisant coïncider les deux points  $S$  (avec une épingle par exemple), et faire tourner la feuille de calque autour de l'épingle jusqu'à ce que les deux cordes soient parallèles. On peut alors définitivement fixer les deux figures l'une par rapport à l'autre.

On constate que l'écart angulaire entre les centres de Vénus à une même heure (quelle qu'elle soit) est égal au rayon apparent de Vénus soit environ  $30''$ .

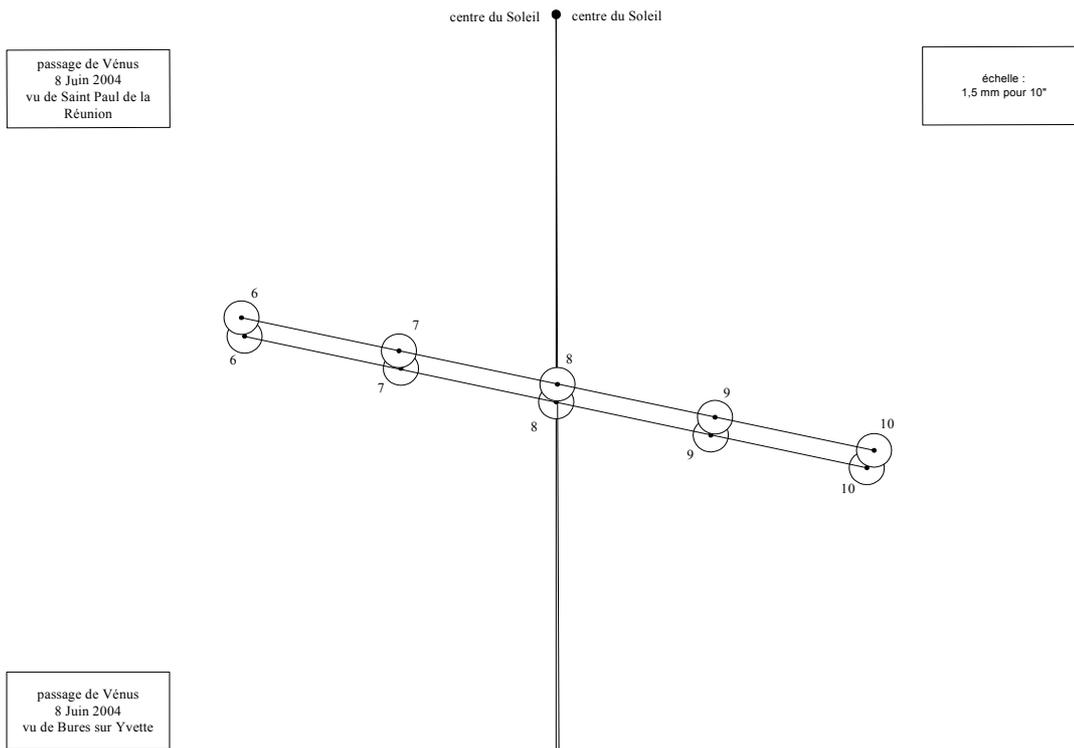


passage de Vénus  
8 Juin 2004  
vu de Bures sur Yvette



passage de Vénus  
8 Juin 2004  
vu de Saint Paul de la  
Réunion

échelle :  
1,5 mm pour 10"



## Les documents anciens:

### Astronomie des Dames G. Paturel, Observatoire de Lyon

En furetant dans une brocante je suis tombé tout à fait par hasard sur un livre de Camille Flammarion. Ce livre, intitulé "Astronomie des Dames - Précis d'Astronomie descriptive", fut publié pour la première fois en novembre 1903 et republié en 1933 chez l'éditeur Ernest Flammarion. Cet ouvrage, a été dédié à Madame C.-R. Cavaré, membre fondateur de la Société Astronomique de France (SAF) et première femme membre de cette "vaste Association".

Pourquoi une "Astronomie des Dames"<sup>6</sup>?

Camille Flammarion explique dans l'introduction qu'il refusa tout d'abord d'écrire un tel livre en posant la question : "Est-ce que le cerveau des dames et des demoiselles n'est pas fait comme le nôtre ?"

Il se laissa convaincre finalement sur l'argument que "non seulement elles [les dames et les demoiselles]

comprendront tout, mais encore s'y intéresseront". Et il conclut : "Oui, certes, l'Astronomie est faite pour la femme".

Les pages que j'ai choisies expliquent quelques méthodes de détermination de la distance Terre Soleil, dont, bien entendu, la méthode mettant à profit le transit de Vénus devant le Soleil. Mais attention, la formulation dans la dernière phrase de la page 332 prête à confusion ; il faudrait lire : "La mesure de cet angle permet de calculer la parallaxe du Soleil", car l'angle en question n'est pas la parallaxe du Soleil (voir CC n° 105).

<sup>6</sup> Camille Flammarion eut un prédécesseur célèbre en la personne de Jérôme de Lalande qui écrivit au dix-huitième siècle une Astronomie des Dames à l'instigation de sa nièce, M<sup>me</sup> Le Français de Lalande.

moins 8 ans, 8 ans 113 ans 1/2 plus 8 ans.

Ainsi, il y a eu un passage en juin 1761, puis un autre 8 ans après, en juin 1769. Le suivant à eu lieu 113 ans 1/2 moins 8 ans ou 105 ans 1/2 après le précédent, soit en décembre 1874, et le suivant en décembre 1882. Les prochains auront lieu en juin 2004 et juin 2012. Eh bien! à ces époques attendues avec impatience, les astronomes observent le passage de Vénus devant le Soleil, en deux stations de la Terre (*A* et *B*) aussi éloignées que possible l'une de l'autre, et marquent les deux points (*V*<sup>1</sup> et *V*<sup>2</sup>) où la planète, vue

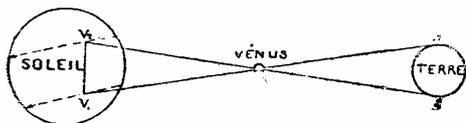


Fig. 85. — Mesure de la distance du Soleil.

de chacune de leurs stations, paraît se projeter au même moment sur le disque solaire. Cette mesure donne l'écartement d'un angle formé par deux lignes qui, partant de deux points différents de la Terre, se croisent sur Vénus et vont aboutir au Soleil. Vénus se trouve être ainsi le sommet de deux angles égaux, et la base de chacun d'eux repose l'une sur la Terre, l'autre sur le Soleil. La mesure de cet angle donne ce que l'on nomme la parallaxe du Soleil, c'est-à-dire la dimension sous

par d'autres moyens dont les résultats concordent parfaitement avec le précédent. Les deux principaux sont basés sur la vitesse de la lumière. La propagation de la lumière n'est pas instantanée, et malgré l'extrême rapidité de son mouvement, il lui faut un certain temps pour se transmettre d'un point à un autre. On a mesuré, sur la Terre même, que cette vitesse est de 300 000 kilomètres par seconde. Pour venir de Jupiter à la Terre, elle emploie de 30 à 40 minutes, selon la distance de la planète. Or, en examinant les éclipses des satellites de Jupiter, on a constaté qu'il y a 16 minutes 34 secondes de différence entre le moment où elles arrivent lorsque Jupiter se trouve d'un côté ou de l'autre du Soleil relativement à la Terre, au minimum et au maximum de distance. Si la lumière emploie 16 minutes 34 secondes pour traverser l'orbite terrestre, il lui faut moitié moins de temps ou 8 minutes 17 secondes pour nous venir du Soleil situé au centre. Connaissant la vitesse de la lumière, on trouve facilement la distance du Soleil en multipliant 300 000 par 8 minutes 17 secondes ou 497 secondes, ce qui donne 149 millions de kilomètres environ.

Une autre méthode, basée également sur la vitesse de la lumière, fournit un résultat confirmatif. Un exemple familier nous le fera comprendre : supposons-nous placés sous une pluie verticale ;

laquelle on verrait la Terre à la distance du Soleil. La loi de Kepler exposée plus loin établit que la distance AB est les  $\frac{57}{100}$  de la ligne  $V_1 V_2$ .

La petite planète Eros a été également employée avec succès dans le même but.

Ainsi, on a trouvé que le demi-diamètre de la Terre vu du Soleil mesure 8"80. Or, nous savons qu'un objet présentant un angle d'un degré est éloigné à 57 fois sa longueur.

Le même objet, s'il sous-tend un angle d'une minute ou la 60<sup>e</sup> partie d'un degré, indique par la mesure de son angle qu'il est 60 fois plus éloigné, soit à 3 438 fois.

Enfin, un objet qui mesure une seconde, ou la 60<sup>e</sup> partie d'une minute, est éloigné à 206 265 fois sa longueur.

Nous trouvons par cela même que la Terre est éloignée du Soleil à  $\frac{206.265}{8.821}$ , soit à 23 439 fois son demi-diamètre, c'est-à-dire à 149 millions de kilomètre en nombre rond. Cette mesure est aussi précise que celle de la distance de la Lune.

J'espère que mes lectrices ont aisément compris cette méthode fort simple des triangulations, qui nous ont fait connaître avec une certitude absolue la distance de deux grands flambeaux célestes auxquels nous devons la radieuse lumière du jour et la douce illumination de nos nuits.

D'ailleurs, la distance du Soleil a été confirmée

le degré d'inclinaison de notre parapluie dépendra du rapport de notre marche avec celle des gouttes de pluie. Plus nous courrons vite, plus nous devons incliner notre parapluie pour ne pas recevoir les gouttes d'eau. Eh bien, le même fait se produit pour la lumière. Disséminées dans l'espace, les étoiles versent dans les cieux des flots de lumière. Si la Terre était immobile, les rayons lumineux nous arriveraient directement. Mais notre planète court, vole avec une grande vitesse, et dans nos observations astronomiques, nous sommes obligés de suivre son mouvement et d'incliner nos télescopes dans la direction de sa marche. Ce phénomène, connu sous le nom d'*aberration* de la lumière, est le résultat des effets combinés de la vitesse de la lumière et du mouvement de la Terre. Il montre que la vitesse de notre globe égale 1/10 000 de celle de la lumière, c'est-à-dire qu'elle est en nombre rond de 30 kilomètres par seconde. Notre planète accomplit donc sa révolution autour du Soleil le long d'une orbite qu'elle parcourt en raison de 30 kilomètres par seconde, ou 1786 kilomètres par minute, ou 107 000 kilomètres à l'heure, ou 2 572 000 kilomètres en un jour, ou 939 millions de kilomètres en un an. Telle est la longueur de la route elliptique décrite par la Terre dans sa translation annuelle.

La longueur de l'orbite étant ainsi trouvée, on

# Un peu d'histoire: I - Les premières observations du transit de Vénus

Jean-Noël Terry

**Résumé :** *Cette série d'articles sur les transits de Vénus est sans prétention : son seul but est de vous faire partager le plaisir que j'ai eu à « écouter » les passionnés d'astronomie des siècles précédents. Ils ont tenté l'observation, ont souvent échoué... et ont recommencé ! Allons à leur rencontre.*

**Mots-clefs :** HISTOIRE - SYSTEME SOLAIRE - ECLIPSE

Vénus est plus grosse et plus proche de nous que Mercure et son transit peut être observé à l'œil nu. Une première observation par **un astronome arabe** daterait de 639, à moins qu'il ne s'agisse d'une tache solaire.

**Kepler** avait annoncé un transit de Vénus pour le 6 décembre 1631 (de notre calendrier). **Gassendi** avait observé le transit de Mercure de cette année, il voulut faire de même et, prudent, observa du 5 décembre au 7 décembre, entre les nuages... en vain. Il ne savait pas que le transit avait eu lieu dans la nuit du 6 au 7 décembre (Soleil sous l'horizon en France) ! Kepler n'avait pas prévu de transit avant 1761, ignorant qu'ils allaient par paires séparées de 8 ans.

Heureusement, **Jeremiah Horrocks** (1619-1641), mathématicien, né près de Liverpool en 1619, repéra la possibilité, en étudiant les calculs de Kepler, en octobre 1639, d'un transit le dimanche 4 décembre 1639 à 15h.

Fils de fermier, Horrocks entre à 13 ans dans un collège de Cambridge, il y apprend seul l'astronomie. Il serait devenu clergyman (ce point est discuté). Toujours est-il qu'en 1635 il retourne à Toxteth, sa ville natale. Il utilise les lois de Kepler pour prouver que l'orbite de la Lune autour de la Terre est une ellipse.

Il observa le transit par projection avec une lunette galiléenne, comme Gassendi, obtenant une image de 15 cm de diamètre du Soleil. Il nota que Vénus était beaucoup plus noire que les taches solaires. Il commença à observer la veille.

Puis de 9h à midi sans interruption, puis par alternance jusqu'à 13h. Mais il rata le début du phénomène car il s'était absenté « pour aller à des obligations de la plus haute importance » (religieuses ?). Il fit 3 repérages avant le coucher du Soleil. Il semble ignorer le problème de la réfraction atmosphérique. Il fit l'erreur

de considérer que toutes les planètes sous-tendent le même angle depuis le centre du Soleil. Il rédigea ses observations dans « Venus in Sole Visa » publié par Hevelius en 1662. D'autres parties de son travail sur Vénus seront éditées par John Wallis en 1672.

Horrocks calcula la position du nœud de l'orbite de Vénus, estima le diamètre apparent à moins d'une minute d'arc, une parallaxe solaire à 14'', soit une distance Terre-Soleil d'environ 14 700 rayons terrestres.

Mais il meurt le 2 janvier 1641, à 22 ans. Horrocks est représenté sur deux vitraux de l'église St-Michel à Hoole.

En 1677, **Edmond Halley** (1656-1742) va orienter les observations à venir. Le 7 novembre de cette année-là, il était à l'île de Ste-Hélène pour dresser un catalogue d'étoiles. Il nota, pour calculer la parallaxe du Soleil, l'entrée de Mercure dans le limbe, mais remarqua que la petite taille de Mercure empêchait d'atteindre une précision suffisante. Vénus était plus adaptée. Mais le transit de Vénus à venir était en 1761 : Halley aurait eu 108 ans. Il se limita à décrire la procédure à suivre dans un article publié dans les Philosophical transactions of the Royal Society en 1691, 1694 et 1716.

La méthode consistait à comparer les temps de passage de Vénus, entre le premier et le dernier contact intérieurs, mesurés depuis plusieurs lieux situés à des latitudes différentes, ce qui donne accès à la parallaxe de Vénus, puis du Soleil. Il exclut Mercure pour cause de parallaxe trop faible.

Halley espérait une parallaxe solaire à 1/500 près à condition d'observer les contacts à 2 secondes près. Mais il fallait se rendre sur des lieux d'observation éloignés, et déterminer avant, avec précision, leur latitude et leur longitude.

Il est intéressant de donner ce passage du papier de Halley, où il souhaite « bonne chance » aux générations futures d'astronomes, en 1716 :

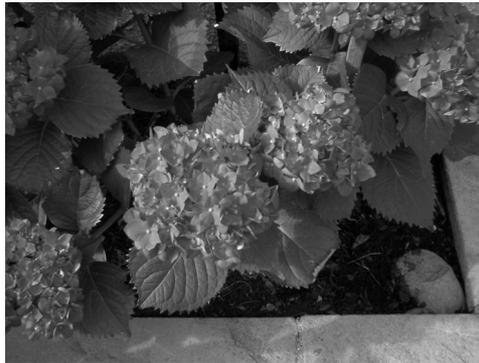
« We therefore recommend again and again, to the curious investigators of the stars to whom, when our lives are over, these observations are entrusted, that they, mindful of our advice, apply themselves to the undertaking of these observations vigorously. And for them we desire and pray for all good luck, especially that they be not deprived of this coveted spectacle by the unfortunate obscuration of cloudy heavens, and that the immensities of the celestial spheres, compelled to more precise boundaries, may at last yield to their glory and eternal fame. »

*(Nous recommandons encore et encore aux explorateurs curieux des étoiles à qui, quand nos vies seront terminées, ces observations sont destinées, de s'appliquer eux-mêmes à entreprendre ces observations avec détermination, en étant attentifs à nos conseils. Nous prions pour eux et nous leur souhaitons bonne chance afin que l'infortune d'un ciel nuageux ne les prive pas de ce spectacle convoité, et pour que les immensités des sphères célestes, circonscrites dans des limites plus précises, puissent en fin de compte leur procurer de la gloire et une renommée éternelle.)*

Curieusement la méthode de Halley eut du mal à s'imposer. En particulier, **William Whiston** donna la liste des transits de Mercure et Vénus pour deux siècles, en estimant que Mercure était plus adaptée car on connaissait mieux son orbite. Il fut écouté par les astronomes français qui tentèrent des mesures en 1723 et 1753, pour conclure... qu'il avait tort !

■

## Le mystère de l'hortensia peu à peu révélé.



Si vous vous rappelez, lors du dernier courrier des lecteurs nous avons reçu une lettre qui mettait en doute l'origine du nom de fleur "Hortensia". Selon nous, ce nom avait été donné par Le Gentil en l'honneur de "Hortense Lepaute". Notre collègue, J. Fort, nous disait que Mme Lepaute ne s'était jamais prénommée Hortense.

Mme Lepaute était une calculatrice brillante, au service de grands astronomes, comme Clairaut et de Lalande. Elle était la femme d'un horloger célèbre et se prénommait Nicole-Reine. Camille Flammarion, dans son "Astronomie des Dames" parlait, sans doute à tort, de Hortense Lepaute.

Il semble que ce soit Commerson, botaniste membre de l'expédition de Bougainville, qui appela "Pautia" la plante ramenée par Le Gentil, en l'honneur de Nicole-Reine Lepaute. Mais de Jussieu, le célèbre botaniste changea le nom de la plante en "Hortensia", peut-être pour plaire au prince Nassau dont la fille se prénommait Hortense. Si c'est vrai, s'est une déconvenue supplémentaire pour Guillaume Joseph Hyacinthe Jean Baptiste Le Gentil de la Galaisière.

Nos investigations se poursuivent...mais notez au passage la prudence qu'il faut quand on se pique de parler d'événements historiques. C'est ce que montre aussi le texte qui va suivre.

Information prise dans "textes & conférences mathématiques" No. 3, 2004, Ed. Kangourou. (extrait de "Les femmes dans la science", de A. Rebière, 1897) et complétée par une lettre de J. Gentic de Loctudy.

## Quelques réflexions sur l'histoire de l'astronomie

Nancy Maury-Lascoux

**Résumé :** Le travail de l'historien des sciences doit passer par une relecture critique de l'historiographie scientifique. Les enjeux ne sont pas seulement d'ordre historique : à travers l'histoire de l'astronomie et des sciences en général, c'est une certaine vision de l'humanité qui se dessine, qui n'échappe ni aux préjugés, ni aux idéologies. En somme, derrière l'histoire du ciel, il y a toujours l'histoire des hommes...

**Mots-clefs :** HISTOIRE - REFLEXION - SOCIOLOGIE

Dans un ancien numéro des Cahiers Clairaut<sup>7</sup>, J. Vialle, à la suite de K. Mizar, insistait sur la nécessité d'enseigner l'histoire et rendait compte de l'expérience intéressante réalisée à La Rochelle. Mais comme J. Vialle le soulignait, si cet enseignement est effectivement nécessaire, il pose un certain nombre de problèmes. Je voudrais à mon tour revenir sur ce sujet, non pas tant d'ailleurs sur l'enseignement de l'histoire des sciences que sur cette histoire elle-même, me limitant ici à celle de l'astronomie. Non que cette dernière soit négligée : nombreux sont les ouvrages récents ou les revues qui l'abordent. Mais, parce qu'il s'agit souvent de traiter d'astronomie plus que d'histoire, les problématiques épistémologiques spécifiques à cette dernière sont souvent négligées. Ainsi, on considère souvent qu'il suffit de rappeler les événements marquants, les grandes découvertes, les personnages clés au fil des siècles pour rendre compte de l'histoire de l'astronomie, histoire alors certes résumée mais qui serait fidèle à la réalité. C'est oublier un peu vite qu'on fait aussi de l'histoire et que celle-ci n'est jamais qu'une *écriture* du passé qu'elle réorganise sans cesse. Sans entrer ici dans les problèmes de l'historiographie<sup>8</sup>, je voudrais rappeler quelques aspects essentiels du travail de l'historien auxquels une histoire de l'astronomie ne saurait échapper. J'examinerai ensuite le cas plus précis de l'astronomie de langue grecque, qui tient une place

centrale dans tous les ouvrages traitant de l'histoire de l'astronomie.

Le premier problème est celui de l'objectif qu'on se donne : doit-on retracer les étapes qui ont abouti à l'astronomie telle que nous la concevons aujourd'hui ? Le risque est grand alors de se livrer à des jugements hâtifs, condamnant les uns pour ce que l'on considèrera comme des errances, louant les autres pour leur intuition géniale<sup>9</sup>. On risque alors de croire ou de faire croire en un déterminisme historique qui n'existe pas, et d'oublier que le savoir présent est toujours provisoire. Enfin, faire par exemple de Galilée un martyr laïque, en lutte contre l'obscurantisme religieux de son temps ne relève plus de l'histoire, mais d'une « mytho-histoire », dont le but est surtout de glorifier une certaine conception du savoir. Il semble alors bien plus intéressant de replacer les théories scientifiques dans leur époque. En effet, l'astronomie n'est pas un savoir autonome ; comme les autres domaines de la pensée, elle est toujours le produit de la société dans laquelle elle s'élabore. Elle entretient en outre des liens étroits avec les autres domaines de la pensée, philosophique, métaphysique, religieuse. Ce n'est pas faire injure aux astronomes que de penser, d'une part qu'ils sont eux aussi tributaires de leur milieu social, culturel et intellectuel, d'autre part que leur système cosmologique n'est pas motivé uniquement par des exigences scientifiques *stricto sensu*<sup>10</sup>. L'histoire des

7 N°85, printemps 99.

8 D'autres l'ont fait mieux que moi : je renvoie les lecteurs par exemple à Jacques Le Goff, Pierre Nora (Dir.), *Faire de l'histoire*, Paris, 1974.

9 C'est ce que fait notamment Arthur Koestler dans *Les Somnambules*, Paris, 1960 (pour la traduction française).

10 Pour une telle approche, voir notamment les travaux d'Alexandre Koyré.

mentalités, l'anthropologie culturelle peuvent ici apporter un précieux concours à une meilleure compréhension de la façon dont une théorie s'élabore et dont une société la reçoit et la fait sienne.

Par ailleurs, l'histoire n'est jamais qu'« une connaissance mutilée », pour reprendre l'expression de Paul Veyne<sup>11</sup> : « il est illusoire de vouloir produire une reconstitution intégrale du passé. Tout au plus, l'historien peut-il rendre compte de ce qu'il est encore possible d'en savoir. » Cela est particulièrement vrai pour le passé lointain pour lequel l'historien ne dispose parfois que de textes fragmentaires, de documents mutilés ou à l'authenticité douteuse. Ainsi, que savons-nous de Thalès ? Pas grand-chose et en tout cas rien qui permette raisonnablement de lui attribuer les nombreuses découvertes qu'on lui attribue souvent<sup>12</sup>.

Enfin, le récit historique lui-même est le produit de son époque. L'histoire qui s'écrit aujourd'hui n'est pas celle qu'on écrivait au dix-neuvième siècle. Bien plus, l'apparente objectivité du savoir, on le sait, est toujours faussée par de multiples facteurs : l'imaginaire collectif, l'idéologie dominante, des contraintes politiques ou économiques. Cela est particulièrement vrai et plus facilement perceptible pour des domaines de l'histoire contemporaine. Mais on aurait tort, je crois, de penser que l'histoire des sciences puisse échapper à ces influences. En réalité, elle me semble d'autant plus conditionnée par des discours idéologiques ou des présupposés culturels qu'on la croit *naturellement* neutre, tant elle semble éloignée et déconnectée de l'actualité. Cette illusion est particulièrement frappante en ce qui concerne l'astronomie, à plus forte raison l'astronomie grecque, vieille de plus de deux mille ans. Pourtant, à y regarder de plus près, il existe un *discours* sur l'astronomie grecque, et c'est sur ce discours que je voudrais maintenant m'arrêter.

Débuter une histoire de l'astronomie par la Grèce antique semble une évidence. La plupart des ouvrages grand public débutent avec elle. Non qu'ils taisent tout ce qui a été fait avant. Ils mentionnent les Babyloniens, auxquels ils reconnaissent un savoir certain, fruit de longues observations et de relevés patients. Ils mentionnent l'Égypte, dont les connaissances, à vrai dire incertaines, suscitent bien des controverses<sup>13</sup>... Mais le savoir de ces deux

civilisations n'est souvent présenté que pour mieux préparer l'apparition de la *vraie* astronomie, et d'une façon générale, la naissance de la pensée rationnelle. Certes, les jugements sont aujourd'hui plus nuancés que celui que formulait, dans son édition de 1932, le célèbre manuel Malet-Isaac : « De tous les peuples qui comptent dans l'Histoire, le peuple grec est celui qui a montré les aptitudes intellectuelles les plus variées, le plus de facilité à comprendre toutes choses, la curiosité d'esprit la plus vive, jointe au génie le plus inventif et le plus créateur : en un mot, il a été *le plus intelligent de tous les peuples*.<sup>14</sup> » Mais il reste encore des traces de la certitude que, ce qui s'est passé en Grèce au sixième siècle avant J.C. tient du miracle. L'expression « miracle grec » pourrait paraître anecdotique, voire fondée – après tout, il y a bien eu, semble-t-il, un phénomène nouveau<sup>15</sup> – si elle ne contenait, en filigrane, une certaine conception de l'histoire et de la culture qui ne relève plus de la science mais de l'idéologie. Par ailleurs, une relecture attentive des textes grecs et l'accès au corpus des Babyloniens amènent à reconsidérer les liens entre le savoir grec et le savoir babylonien.

Revenons d'abord sur le « miracle grec ». Pourquoi cette expression me semble-t-elle aussi gênante ? Parce qu'elle est à mon avis indissociable de tout le contexte dans lequel elle a été créée. On la doit en effet à Ernest Renan, qui l'utilise pour la première fois en 1876, dans la Revue des Deux Mondes<sup>16</sup>. Mais comme le dit Pierre Vidal-Naquet, « elle est préparée par toute l'œuvre antérieure de Renan. »<sup>17</sup> Si la Grèce antique est pour Ernest Renan objet d'admiration, c'est parce qu'il y trouve « quelque chose qui n'a eu lieu qu'une fois, qui ne s'était jamais vue, qui ne se reverra plus, mais dont l'effet durera éternellement. » Il continue ainsi : « Je veux dire un type de beauté éternelle, sans nulle tache locale ou nationale. Je savais bien, avant mon voyage, que la Grèce avait créé la science, l'art, la philosophie, la civilisation ; mais l'échelle me manquait. Quand je vis l'Acropole, j'eus la révélation du divin, comme je l'avais eue la première fois que je sentis vivre l'Évangile, en apercevant la vallée du Jourdain des hauteurs de Casyoum. Le monde

---

voir le dossier réalisé par Leïla Haddad, *Comment les Égyptiens ont (dé)chiffré le ciel*, dans *Ciel et Espace*, n° 398, juillet 2003.

14 A. Malet et J. Isaac, *L'Orient et la Grèce. Classe de sixième*, Librairie Hachette, édition de 1932, p.150.

15 Sur les problématiques nouvelles qui sont apparues chez les auteurs grecs entre le sixième et le quatrième siècle avant J.C., voir par exemple les travaux de G. Lloyd.

16 Préambule à *la prière sur l'Acropole*.

17 Pierre Vidal-Naquet, *La démocratie grecque vue d'ailleurs*, Paris, 1989.

---

11 Paul Veyne, *Comment on écrit l'histoire*, Paris, 1971.

12 En réalité, c'est Proclus qui, au cinquième siècle après J.C. attribue à Thalès de nombreuses découvertes qui ne sont pas de lui.

13 Ainsi, pour certains, l'Égypte détenait un savoir immense alors que pour d'autres, elle n'a jamais développé une astronomie très élaborée. Mieux vaut dire que les connaissances égyptiennes nous échappent du fait de notre propre ignorance sur elles. Pour un aperçu de la question,

entier me parut barbare. »<sup>18</sup> On pourrait ne voir dans cette déclaration que l'expression d'une émotion esthétique après tout légitime si l'admiration que Renan voue au « génie grec » n'était indissociable, dans tous ses écrits, d'une vision hiérarchisée des différentes civilisations. En particulier, Renan, - mais en l'occurrence il est représentatif de son époque - ne pense la Grèce antique qu'en opposition à l'Orient en général et aux Hébreux en particulier. Je n'approfondirai pas ici les relations particulières que Renan entretient avec ce qu'il appelle « le miracle juif »<sup>19</sup> (inférieur selon lui au miracle grec), mais, pour aller vite, disons qu'il appartient à tout un courant intellectuel qui, en France, en Angleterre et en Allemagne, va opposer une Grèce patrie de la Raison, de la Beauté, de la Liberté, à un Orient despotique, barbare et fermé à la philosophie<sup>20</sup>. Ce rapport dialectique entre une Grèce que l'Europe va s'approprier comme étant son origine identitaire et un Orient étranger et inférieur va trouver sa légitimation scientifique avec certains travaux de la philologie comparée et des théories sur l'origine des langues. Le dix-neuvième siècle voit en effet se développer les recherches sur l'indo-européen (appelé aussi, à l'époque, indo-aryen), recherches qui vont énormément compter pour Renan et beaucoup d'autres. Née avec William Jones à la fin du dix-huitième siècle, la thèse indo-européenne va être utilisée par certains pour légitimer la théorie des races, justification à la fois du racisme, de l'antisémitisme et de l'impérialisme européen. Ainsi, voici ce qu'écrit E. Renan : « La nature a fait une race d'ouvriers, c'est la race chinoise, d'une dextérité de main merveilleuse sans presque aucun sentiment d'honneur ; (...) - une race de travailleurs de la terre, c'est le nègre ; (...) - une race de maîtres et de soldats, c'est la race européenne. »<sup>21</sup> Or les idées de Renan ne sont malheureusement pas marginales : Auguste Comte considère que l'humanité est constituée par les peuples de l'Europe occidentale ; Hegel et Marx, s'ils sont plus nuancés, pensent aussi

l'évolution de l'humanité comme un mouvement de l'Est vers l'Ouest<sup>22</sup>.

Pourquoi cette digression sur les théories racistes d'un autre siècle ? Si on connaît les aboutissements effroyables de l'antisémitisme pseudo-scientifique qui s'est élaboré au dix-neuvième siècle, quel est le rapport avec l'histoire de l'astronomie ? C'est qu'il me semble qu'un grand nombre de travaux du vingtième siècle sur l'astronomie antique sont imprégnés, même inconsciemment, par cette représentation imaginaire qui veut que la Grèce, considérée comme radicalement occidentale, rompe avec ses voisins orientaux, en posant les fondements de la science. Ce phénomène est favorisé par la difficulté d'accès aux textes : très souvent, les auteurs d'ouvrages destinés au grand public se contenteront de compiler ce qu'ont écrit leurs prédécesseurs sans vraiment se soucier de la fiabilité des sources. A cela s'ajoute le fait que les Grecs eux-mêmes ont brouillé les pistes : par exemple, tout ce que nous savons de Thalès vient, non de ses écrits, que nous ne possédons plus, mais de ce qu'en ont dit des auteurs parfois postérieurs de plusieurs siècles : Hérodote, Aristote ou Proclus, qui se contredisent parfois ou qui prêtent au Ionien des idées de leur époque. Ainsi, lorsqu'Aristote rapporte les interrogations des physiciens ioniens sur « la cause matérielle » des choses, il le fait avec des outils intellectuels de son époque<sup>23</sup>. Ces problèmes favorisent l'élaboration de récits plus ou moins légendaires, qui vont donner une cohérence aux événements et permettre de construire une histoire linéaire, rythmée par le « progrès » des connaissances. Vision rassurante peut-être d'un passé préparant le présent, mais éloignée de la réalité.

Quant aux Babyloniens, une meilleure connaissance de leur histoire, le déchiffrement des tablettes cunéiformes, la lecture des textes, ont permis de révéler un savoir bien plus élaboré que ce qu'on croyait. Beaucoup de « découvertes » astronomiques attribuées aux Grecs sont à la même époque déjà connues des Babyloniens : le cycle de Méton, la division de l'écliptique en six puis douze constellations, l'utilisation, à l'époque séleucide (322 av. J. C. - 75 ap. J.C.), du degré d'arc et du degré d'angle... Je ne cherche pas ici à minimiser la richesse de la pensée grecque, ni à déplacer vers l'Est le lieu d'une hypothétique origine de l'astronomie. Ce qui me semble en revanche important d'avoir à l'esprit, c'est que notre regard sur la

18 Ernest Renan, *Prière sur l'Acropole*, dans *Le Voyage en Orient*, Robert Laffont, 1985, p. 239.

19 Je renvoie les lecteurs à l'article de Pierre Vidal-Naquet déjà cité.

20 Pour une étude approfondie de la fabrication par l'Occident d'un Orient imaginaire (et colonisable à souhait), voir le livre d'Edward Saïd, *l'Orientalisme, l'Orient créé par l'Occident*, Seuil, 1980 (pour la traduction française).

21 Ernest Renan, *Oeuvres complètes*, Tome 1, Calmann-Lévy, 1947-1961, p. 390. Pour les liens entre les recherches sur l'Indo-européen et les théories antisémites, voir l'excellent de Maurice Olender, *Les langues du paradis*, Points, 1989, et Léon Poliakov, *Le mythe aryen, essai sur les sources du racisme et des nationalismes*, Paris, 1971.

22 Léon Poliakov, op. cit.

23 Le livre de G. S. Kirk, J. E. Raven et M. Schofield, *Les philosophes présocratiques*, Fribourg, 1995 (pour la traduction française) reste un ouvrage de référence pour l'établissement des textes des auteurs appelés « présocratiques ».

Grèce se fait toujours à travers le filtre de discours qui nous sont antérieurs et que nous avons intériorisés au point souvent de ne plus en avoir conscience. Les propos les plus innocents et les mieux intentionnés, en idéalisant des Grecs « nés géomètres et philosophes », reposent en réalité sur des présupposés d'autant plus problématiques qu'ils paraissent anodins et sans conséquence. Peut-être vaudrait-il mieux d'ailleurs parler d'astronomie « de langue grecque » plutôt que d'astronomie « grecque » : celle-ci en effet s'étend sur une période qui va du sixième siècle av. J. C. au deuxième siècle après (si on s'arrête à Ptolémée). Quant à l'aire géographique, elle dépasse largement les frontières de la Grèce actuelle, puisqu'elle englobe l'Asie mineure (la Turquie actuelle), l'Égypte ou encore la Sicile. Cette expression contribuerait peut-être à montrer que l'élaboration du savoir astronomique n'est pas le fait d'un peuple particulièrement génial (et qui serait en l'occurrence aux origines de l'Occident) mais résulte de la rencontre de savoirs et de problématiques multiples.

Je viens d'aborder rapidement les rapports de la Grèce classique avec ce qui est en amont ou qui lui est contemporain. Je voudrais rapidement rappeler ce qui est en quelque sorte en aval, à savoir la réappropriation du savoir en langue grecque dans les siècles suivants. L'Europe s'est faite l'héritière exclusive de la Grèce classique et les histoires de l'astronomie reprennent souvent cette idée. L'histoire de la transmission des textes -histoire passionnante- reste souvent mal connue. De nombreux ouvrages destinés au grand public, quand ils relatent l'histoire de l'astronomie, présentent souvent les choses ainsi : « Ptolémée (II<sup>e</sup> siècle ap. J. C.) présente l'idée d'un univers centré autour de la Terre. Pendant près de mille cinq cents ans, ses idées ne seront pas remises en cause. Les Arabes les ont transmises à l'Occident dans un ouvrage intitulé l'Almageste. »<sup>24</sup> A lire ce type d'ouvrages, le lecteur a l'impression que l'astronomie de langue arabe a été, dans le meilleur des cas, une bonne élève qui s'est faite, pendant quelques siècles, la gardienne du savoir grec avant de le *restituer* à ses héritiers véritables, les Européens<sup>25</sup>. Si depuis quelques années, plusieurs livres prennent mieux en compte l'importance d'astronomes comme Al Battani, Al Sufi ou Al

---

24 Heather Cooper et Nigel Henbest, *L'Encyclopédie du ciel et de l'espace*, Gallimard Jeunesse, Paris, 2003.

25 Voir notamment Arthur Koestler, op. cit. p. 112 : « Il est curieux de constater qu'aux mains des Arabes et des Juifs qui le conservèrent deux ou trois siècles, ce vaste ensemble de connaissances demeura stérile ; alors qu'à peine réincorporé à la civilisation latine, il porta immédiatement des fruits en abondance. L'héritage de la Grèce n'était apparemment d'aucun profit à qui n'était pas précisément doué pour le recevoir. »

Khaytam (pour ne citer que les plus célèbres), l'idée que le corpus astronomique de langue arabe est une sorte de parenthèse étrangère reste profondément ancrée. Tout se passe comme si le savoir grec était *parti* en Orient entre le huitième et le quatorzième siècle pour *revenir* ensuite dans sa véritable patrie, l'Occident. En réalité, l'histoire de l'astronomie (mais pas seulement elle) pourrait précisément montrer combien ces entités (Orient/Occident) relèvent plus de l'imaginaire que de la réalité historique. En effet, le savoir grec n'est *parti* nulle part ; il est resté là où il avait toujours été, dans le bassin méditerranéen, où la culture dominante d'alors se l'est approprié. Les savants arabes ne se sont pas contentés d'ailleurs de le recueillir : ils l'ont traduit, commenté, mis en question, dépassé<sup>26</sup>. Les apports de toute cette période (en astronomie, mathématique, optique...) ne sont pas des « produits importés » ; ils appartiennent de fait à l'histoire des sciences et il est urgent, me semble-t-il, de les considérer comme tels. Là encore, le récit que l'on fait de l'histoire des sciences est souvent imprégné d'un ensemble de représentations et de discours qui doivent moins à la recherche historique qu'à une vision « européo-centrique », reconnaissant tout au plus des emprunts à d'autres civilisations.

Il me semble que le travail de l'historien des sciences doit passer par cette relecture critique de l'historiographie scientifique. Or si beaucoup de travaux spécialisés posent et discutent les questions que j'ai rapidement abordées ici, de trop nombreux ouvrages destinés au grand public et/ou à l'enseignement les ignorent encore. Pourtant les enjeux, comme j'ai essayé de le montrer, ne sont pas seulement d'ordre historique : à travers l'histoire de l'astronomie et des sciences en général, c'est une certaine vision de l'humanité qui se dessine, qui n'échappe ni aux préjugés, ni aux idéologies. En somme, derrière l'histoire du ciel, il y a toujours l'histoire des hommes... ■

---

26 Voir Roshdi Rashed, *Histoire des sciences arabes*, (3 volumes) Le Seuil, Paris, 1997.

# REMUE MENINGES

## A propos de la couverture

**Question :** pourquoi la lunette qui projette l'image du Soleil et de Vénus montre-t-elle une image orientée dans le même sens que la réalité céleste, alors que les ordinateurs du premier plan obtiennent une image inversée ?

### Réponse :

1 – La lunette fournit une image primaire dans le plan focal de l'objectif. L'optique géométrique démontre que cette image tourne de  $180^\circ$  dans son plan par rapport à l'objet (Soleil + Vénus). L'oculaire de la lunette reprend cette image (qui devient "objet") et la projette sur le papier calque installé à l'arrière, en lui faisant subir une deuxième inversion.

Comme le montre le garçonnet (coiffé à la mode « spicules solaires avec gel ») l'image est dans le même sens que le modèle céleste puisque, vues de l'arrière, les images ont subi deux rotations successives de  $180^\circ$ , sans retournement "droite-gauche".

2 – Les images des deux écrans d'ordinateurs sont inversées puisque les CCD récupèrent une image primaire inversée donnée par chacun des instruments où elles sont installées.

Cependant, les écrans pourraient montrer une image orientée dans n'importe quel sens ; il suffirait de faire pivoter les CCD à l'arrière des télescopes ou même, aussi, d'utiliser la fonction de retournement d'un logiciel approprié.

Daniel Bardin

## La muraille de Chine

Un entretien, très intéressant, donné par Neil Armstrong, le premier homme ayant marché sur la Lune, est paru récemment dans un numéro Hors Série de Ciel&Espace intitulé "L'homme dans l'espace". A la question classique : Voit-on la grande Muraille de Chine depuis la Lune ? Neil Armstrong répond qu'il

n'a pas pu discerner un seul ouvrage fabriqué par l'homme, et qu'il n'a, d'ailleurs, pas eu de réponse plus positive de la part des passagers de navettes en vol, y compris au-dessus de la Chine.

La muraille de Chine a une largeur à la base de 7 mètres, une hauteur de 7 à 10 mètres, une longueur de 5 000 km. On considère une distance moyenne Terre-Lune de 380 000 km et une épingle de bureau de 28 mm de long pour un diamètre de 0,8 mm.

**Question :** Voir la Grande Muraille de Chine depuis la Lune revient à voir l'épingle à quelle distance ?

### Réponse :

Les longueurs sont inutiles : ce n'est pas la longueur de la Muraille qui compte, mais son épaisseur.

En radians, l'angle  $A$  sous lequel on "voit" la Muraille est tel que :

$A \cdot 380000000 = 7$  et  $A \cdot d = 0,0008$  où les longueurs sont en mètres.

D'où  $d = 43000$  m environ, soit 43 km : même "Eagle" n'y pouvait rien. Comme quoi, il y a des idées reçues qui ont la vie dure !!

Jean-Noël Terry

## Solution au problème du n°105 (page 35)

En supposant les orbites circulaires, Mercure était à 0,61 UA de la Terre le 7 mai 2003 (1 - 0,39) alors que Vénus sera à 0,28 UA (1 - 0,72) de nous le 8 juin prochain, soit environ deux fois plus proche. Comme elle est aussi 2,5 fois plus grosse en diamètre, le disque noir de Vénus devant le Soleil sera finalement CINQ fois plus grand !

(Pour être exact, il faut préciser que l'orbite de Mercure est elliptique et le 7 mai 2003, elle était à 0,56 UA de la Terre).

■

# LECTURE POUR LA MARQUISE

Les "cadrans solaires" de Denis Savoie  
Paris 2004, Edition Pour la Science-Belin,  
ISSN 0224-5159.

Les cadrans solaires sont à la mode : ouvrages de photos, cartes postales, thème à succès pour les IDD...

Alors pourquoi recommander un livre de plus sur le sujet ? C'est que la présentation faite par Denis

Savoie est particulièrement précise, claire et riche, en seulement 127 pages.

Il faut accepter d'assimiler les concepts exposés dans le premier chapitre, c'est la clef qui ouvre la suite. Mais les schémas sont clairs et de taille suffisante.

Six principaux types de cadrans sont alors présentés dans leur principe et leur réalisation pratique. Le livre s'achève par quelques pages d'exercices et un glossaire bienvenus.

Les encadrés sont pertinents, apportant mise au point historique ou mathématique. Même si votre

bibliothèque comporte un fond consacré à la gnomonique, vous ne regretterez pas d'y ajouter un ouvrage que vous consulterez pour préciser quelque point perdu de vue.

La présentation d'ensemble est très agréable, fidèle à la série dans laquelle nous nous permettons de vous conseiller aussi, sur un thème voisin, « Les saisons et les mouvements de la Terre » de Pierre Causeret et Liliane Sarrazin.

Jean-Noël Terry

### "Activités astronomiques pour le collège et le lycée", Dijon : CRDP, 2003

Notre collègue Pierre Causeret est l'auteur de ce petit livre, édité par le C.R.D.P. de Bourgogne.

La rigueur qui caractérise cet ouvrage n'est en rien synonyme d'austérité, les activités proposées sont riches et peuvent largement déborder le cadre de la classe.

Ces activités reposent toutes, au départ, sur l'exploitation d'observations ou d'expérimentations, les développements sont ensuite progressifs, d'abord qualitatifs puis plus mathématiques ; si on le souhaite, on peut ainsi adapter l'étude au public, au cadre ou au temps dont on dispose.

Un grand nombre de chapitres sont basés sur une observation de jour ce qui est souvent plus facile à réaliser en classe, mais bien évidemment des observations du ciel la nuit sont aussi proposées.

Très variés les thèmes vont du tracé d'une méridienne à la réalisation d'un pendule de Foucault, de l'observation de la Lune à celle des taches solaires, etc., il y en a pour tous les goûts et tous les publics.

D'utiles compléments théoriques sont donnés en annexe pour ceux qui veulent aller plus loin.

Chaque activité a été minutieusement expérimentée avec des groupes d'élèves et le matériel, les petits montages sont décrits avec précision, ce qui évite à l'utilisateur des tâtonnements parfois décourageants.

Ce petit livre est une mine, l'auteur l'a écrit avec son enthousiasme et son sérieux bien connus !

Annie Laval

### Quelques livres intéressants

Le forum de discussion du CLEA (C-L-E-A@yahoogroupes.fr) est très animé. Il a été question, entre autres choses, de méridiennes. Voici quelques noms d'ouvrages cités sur ces sujets:

"Longitude", de Dava Sobel, chez J.C. Lattès, 1995

"La mesure de toutes les choses", K.Alder, chez Flammarion

"La méridienne" de Denis Guedj chez Robert Laffont.

Si vous avez lu ces livres, n'hésitez pas à nous en faire un petit commentaire succinct.

■

## LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

### La sonde Gravity Probe-B en orbite pour vérifier la théorie d'Einstein

La sonde américaine Gravity Probe-B, destinée à vérifier la théorie de la Relativité Générale a été placée en orbite, à 640 km d'altitude, le 20 avril 2004, depuis la base aérienne militaire de Vandenberg en Californie. Cette sonde va tester un nouvel effet prédit par la théorie.

Quel est l'objectif de cette sonde? Pour décrire un corps en rotation en relativité générale on utilise la métrique

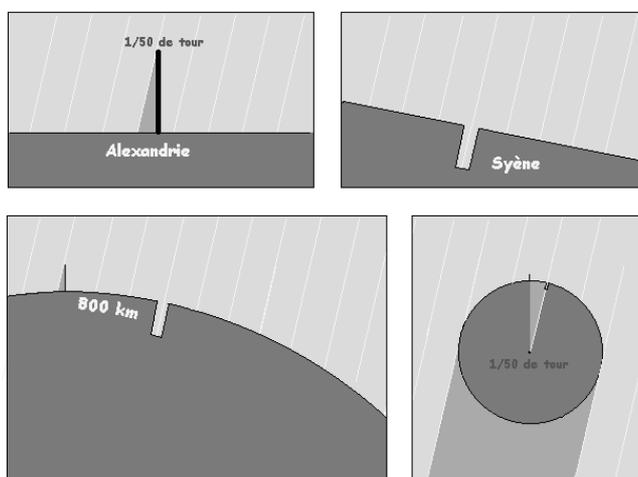
établie par Lense et Thirring en 1918. En utilisant cette métrique Schiff a montré en 1960 qu'un gyroscope ne devait pas garder exactement la même orientation. Il devrait avoir un mouvement de précession de vitesse angulaire  $\Omega$ . L'expression de  $\Omega$  montre qu'il y a deux termes: un dépendant de la vitesse du gyroscope dans le champ de gravitation et le second terme, dit précession de Lense-Thirring qui ne dépend que de la position du gyroscope et qui résulte directement de la rotation de la Terre. Ce sont ces mouvements de

précession qui seront étudiés avec des gyroscopes très précis. Le premier terme est de l'ordre de quelques secondes d'arc par an, le second est de moins d'une seconde d'arc par an. La théorie de la Relativité Générale sortira-t-elle victorieuse de ce test ? GP



## COURRIER DES LECTEURS

### Eratosthène et la mesure du rayon de la Terre



Nous reproduisons cette figure, due à notre ami Francis Berthomieu. Elle explique le principe de la mesure du rayon terrestre par Eratosthène, 250 ans av. J.C., à partir de deux visées du Soleil. Notons que Aristarque de Samos ne connaissait pas encore le rayon de la Terre quand il détermina la distance Terre Lune.

### La mesure des méridiennes

Sur le forum de discussion, Danielle Rey pose quelques questions sur la mesure des longueurs d'arc de méridien:

"En lisant l'ouvrage de Jules VERNE "Aventures de trois russes et de trois anglais dans l'Afrique australe", je me suis posé les questions suivantes au sujet de la mesure d'un arc de méridien :

1°) à l'époque de la révolution française, de quels moyens techniques disposaient les scientifiques pour déterminer une longitude avec précision ?

2°) au cours de la progression des triangulations, comment s'assuraient ils de ne pas dériver et de suivre toujours le même méridien ?

3°) et, au fait, comment a été fait le tracé de la méridienne de Paris en 2000 (où lire cette information) ?

Merci à ceux qui pourront m'apporter des éléments de réponses. Cordialement

Danielle Rey

Des éléments de réponse sont apportés par G. Kolber:

1) Je viens, enfin, de lire le roman "La méridienne" de Denis Guedj (Robert Laffont) [...]. L'auteur rend bien la formidable aventure de Delambre et Méchain, qui a duré 7 ans (1792-1799) et où Méchain finira par y perdre la vie [...].

Delambre et Méchain ont utilisé un cercle répétiteur que Borda venait d'inventer. Il n'y a pas dans le livre d'explications techniques mais sur un dessin on voit un cercle sur lequel sont fixées deux lunettes qui sont dirigées vers les deux stations dont on veut mesurer l'angle. En répétant les mesures un grand nombre de fois on abaissait l'incertitude de la mesure et en utilisant des parties différentes du support circulaire, à chaque mesure, on moyennait aussi l'erreur propre de l'instrument.

Pour la longitude c'est de l'astrométrie classique : je ne suis pas spécialiste mais je pense que c'est en observant certaines étoiles passant au méridien du lieu de mesure ou en observant les satellites galiléens. Ils n'ont pas fait des mesures de longitude qu'aux extrémités mais plusieurs en chemin. Surprise : la terre n'était déjà plus une sphère parfaite depuis les expéditions du Pérou et de Laponie mais là elle n'était plus un sphéroïde "parfait" aplati aux pôles. Ils se sont aperçus que la terre était un sphéroïde irrégulier.

2) Il fallait obtenir une précision inférieure à 3" d'arc, je crois, pour faire mieux que Cassini III, 50 ans plus tôt : donc il n'y avait pas de risque de trop s'éloigner même en mettant côte à côte les triangles sur une distance de 1000 km entre Dunkerque et Barcelone.

[...] plus tard allant de Nice à Toulouse, au niveau de Carcassonne, il y a un panneau sur l'autoroute indiquant la Méridienne.

Voici enfin un témoignage vécu de Ch.-H. Vigouroux au sujet de cette méridienne Dunkerque Barcelone:

"A Rodez !" C'est en se donnant rendez-vous à Rodez que se quittent Delambre et Méchain le 24 juin 1792 au début de leur longue épopée, dans l'excellent roman de Denis Guedj "La Méridienne".

Delambre devait mesurer l'arc de méridien de Dunkerque à Rodez, et Méchain l'arc du même méridien de Barcelone à Rodez.

Le clocher de la cathédrale de Rodez (87 m de haut) devait constituer une excellente station de mesure : "ô clocher de Rodez, qu'on voit de trente lieues..." (premier vers d'une poésie apprise à l'école primaire, de François Fabié, poète rouergat de la ruralité, fin 19ème-début 20ème).

Il existe une stèle commémorative à Rodez : elle se trouve sur le "plateau de Camonil", près du lycée Monteil. La vue est très dégagée au nord : on voit souvent la chaîne des Puys du Cantal\*. C'est un socle en pierre, dont les dimensions sont de l'ordre du mètre, un peu ouvragé à la manière des socles de croix qu'on trouve le long des chemins. Mais il n'y a que le socle. Et les inscriptions :

"Méridienne de France - 1864" et : "IGN 1955"

Il y avait autrefois une petite plaque carrée en laiton, sur la table horizontale (elle a disparu depuis).

Sur la plaque étaient gravés - si j'en crois mes souvenirs - un trait, et l'inscription "Méridien EST 0°14'..." (je ne sais combien de secondes).

Vers la fin des années cinquante, à l'âge du collège, j'habitais le quartier (j'ai ensuite quitté la région). Le plateau de Camonil était un lieu populaire. Il y avait des jeux de quilles [...] Je passais de longs moments assis sur le

socle de pierre, à regarder les copains s'entraîner à faire des carreaux après plusieurs pas d'élan. Je crois que j'étais bien le seul à faire attention à cette petite plaque de laiton. Et je me demandais : "Pourquoi signaler ainsi un méridien qui n'est même pas un nombre rond ?" Je me disais : "Juste à côté, il y a un autre méridien, et un peu plus loin un autre encore. En tout endroit de Rodez ou de France il y a un méridien. Alors, pourquoi avoir gravé celui-ci ?" Je n'ai eu la réponse qu'à l'approche du bicentenaire de 89 !! Eh oui ! Le catalogue de l'expo de l'Observatoire de Paris (Une mesure révolutionnaire : le mètre) et le livre de Denis Guedj "La Méridienne" m'ont enfin révélé la raison de ce méridien là !

Pas très loin de Rodez (20 ou 25 km), un autre sommet de la triangulation de la méridienne : le Lagast. On y allait en vélo. On laissait les "bécanes" au pied de cette petite montagne conique et on grimpeait jusqu'au "repère géodésique", pyramide en bois, construit exactement au sommet.

Bon, je referme la boîte aux souvenirs émus. Vive la méridienne et les physiciens ! [...]

Charles-Henri Vigouroux

Prof de physique appliquée - Roanne (42)

En retraite, vous l'avez deviné!

\* Probablement les Puys d'Auvergne et le massif du Cantal

## Un grand succès aux Olympiades de Physique

Depuis plus de dix ans, la Société Française de Physique et l'Union des physiciens organisent un concours, les Olympiades de Physiques, destiné aux lycéennes et lycéens de première et terminale, dont l'objectif affiché est de les "sensibiliser aux activités scientifiques en les rendant eux-mêmes acteurs". Cette année un groupe de trois jeunes filles<sup>1</sup> : Maïté, Manon et Christelle, sous la conduite de notre ami F. Berthomieu et de G. Bernard, a obtenu le deuxième prix, le prix spécial du Palais de la Découverte. L'intitulé personnalisé de ce deuxième prix était: "Le prix de la Clarté". Un grand bravo !

<sup>1</sup> Voir le CC105, page 23

## Ecole d'Eté d'Astronomie du CLEA

RAPPEL: L'école d'été d'astronomie du CLEA aura lieu à Gap, du 20 au 27 août 2004, au col Bayard, près de Gap. L'information sur le site du CLEA et inscriptions auprès de F. Delmas, Institut d'Astrophysique de Paris, 98 bis Bd Arago, 75014 Paris. **Il reste encore des places.**

## Articles à venir

Cours élémentaire d'astronomie et d'astrophysique III ; Les ondes gravitationnelles ; Jean-Paul Grandjean de Fouchy ; Pendule de Foucault en carton ; La détermination de la distance de la galaxie M31 ; La muraille de Chine vue depuis la Lune ; Lever de Terre depuis la Lune. Les flashes d'Iridium ; Référentiels et Satellites ; Position du terminateur de la Lune ; Les étoiles variables.

Remerciements: Nous remercions Michel Bobin, Pierre Causeret pour la relecture de ce Cahier et Chantal Petit pour son aide.

### Les fiches pédagogiques du CLEA

<b>HS1</b> L'astronomie à l'école élémentaire	10 €
<b>HS2</b> La Lune, niveau "collège"	10 €
<b>HS3</b> Le temps, les constellations, niveau "lycée"	10 €
<b>HS4</b> Astronomie en quatrième	10 €
<b>HS5</b> Gravitation et lumière, niveau "terminale"	12 €
<b>HS6</b> L'âge de la Nébuleuse du Crabe, niveau "lycée" 4 diapositives et 12 jeux de 2 photographies	16 €
<b>HS7</b> Etude du spectre du Soleil	8 €
<b>HS8</b> Etoiles variables	12 €
<b>HS9</b> Mathématiques et Astronomie	12 €

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

### Documents édités par le CLEA

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

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

### Cours polycopiés d'astrophysique

Maîtrise de l'université Paris XI Orsay

<b>P1</b> Astrophysique générale	10 €
<b>P2</b> Processus de rayonnement	5 €
<b>P3</b> Structure interne et évolution des étoiles	5 €
<b>P4</b> Astrophysique solaire	5 €

### Diapositives

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

<b>D1</b> Les phénomènes lumineux	
<b>D2</b> Les phases de la Lune	
<b>D3</b> Les astres se lèvent aussi	
<b>D4</b> Initiation aux constellations	
<b>D5</b> Rétrogradation de Mars	
<b>D6</b> Une expérience pour illustrer les saisons (série de 8 vues)	5 €
<b>D7</b> Taches solaires et rotation du Soleil	
<b>D8</b> 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](mailto:clea.astro@astro.u-psud.fr)  
Adresse du site du CLEA [www.ac-nice.fr/clea](http://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](mailto: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 €