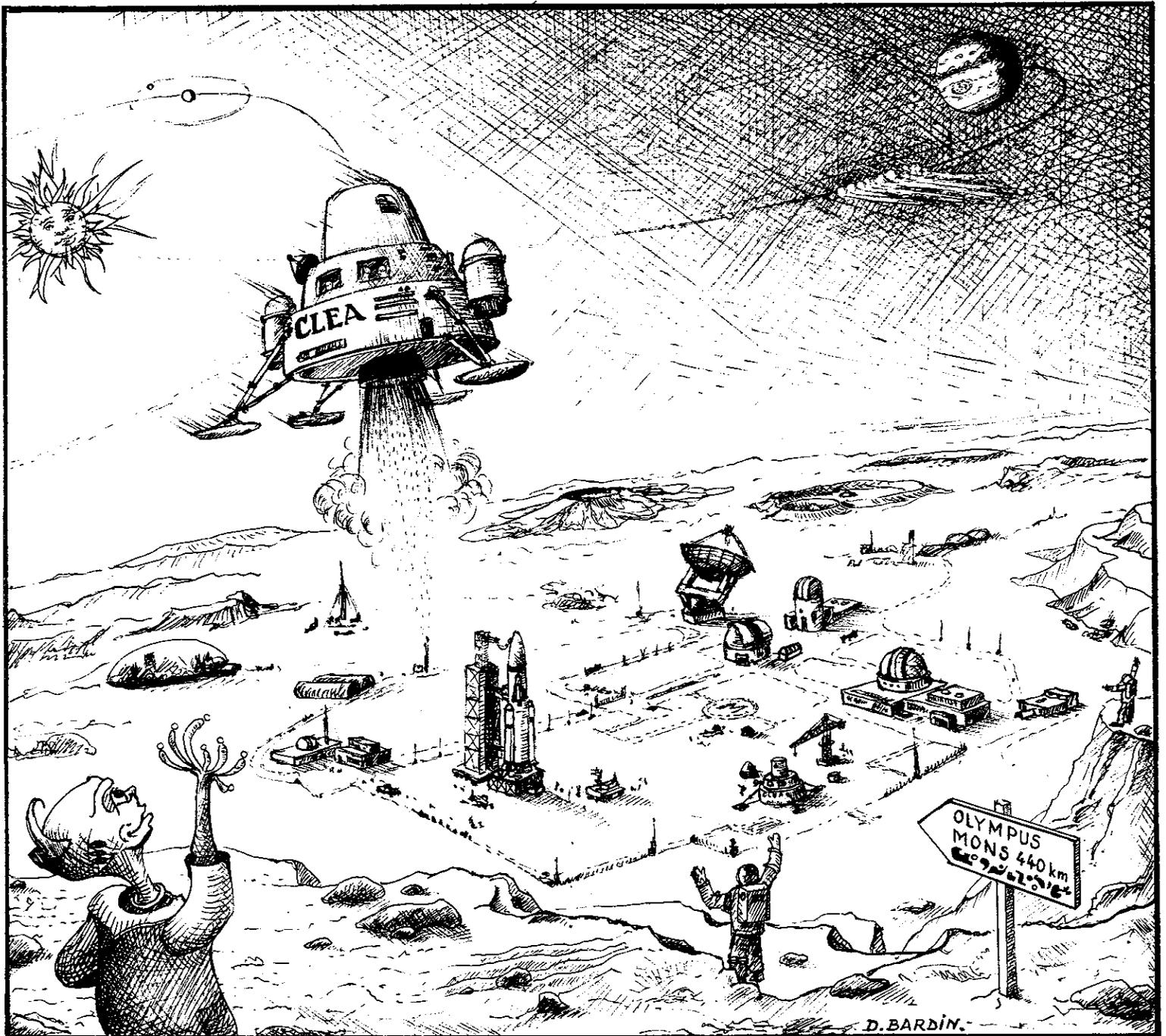


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N° 67 - AUTOMNE 1994

ISSN 0758-234 X

# Le CLEA- Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Le C.L.E.A. , Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée (loi de 1901). Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement public et dans les organismes de culture populaire. **En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.**

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux dans le cadre des MAFPEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

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

**La liste des publications du CLEA**  
**figure en pages 3 et 4 de la couverture**

## Bureau du CLEA pour 1994

*Présidents d'honneur :* Jean-Claude PECKER  
Evry SCHATZMAN  
*Présidente :* Lucienne GOUGUENHEIM  
*Vice-Présidents :* Agnès ACKER  
Marie-France DUVAL  
Hubert GIE  
Jean RIPERT  
Jacques VIALLE  
Catherine VIGNON  
*Secrétaire-trésorier :* Gilbert WALUSINSKI

Comité de rédaction des Cahiers Clairaut : Daniel Bardin, Lucette Bottinelli, Jacques Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Jean-Paul Parisot, Georges Paturel, Jean Ripert, Daniel Toussaint, Victor Tryoën, Jacques Vialle, Gilbert Walusinski.

## LES CAHIERS CLAIRAUT

Automne 1994

	page
Juillet 1994 au col Bayard .....	2
La découverte de la vitesse finie de la lumière par Roemer - Aspects historiques .....	3
Infolabo : Lumière et Rayonnement .....	14
Le projet Arès ... Les Rochelais débarquent sur Mars .....	15
Infolabo : Observateurs et mouvements .....	18
Où l'on découvre qu'il ne suffit pas d'une horloge pour mesurer la distance Soleil-Vénus .....	19
En attendant 1996 .....	23
Petite mécanique céleste .....	26
Lectures pour la Marquise et pour ses Amis .....	27
Le cercle répéteur de Borda .....	32
Astronomie en quatrième .....	33
Comment nourrissait-on les chevaux à Magdebourg ? .....	34
Un circuit Olympique .....	35
Courrier des lecteurs .....	39

### EDITORIAL

L'été a été très studieux pour le GRP-CLEA. Un premier article vous informe de son travail au col Bayard. Puis, ici et là, des petits encadrés publicitaires et enfin un encart coloré attirent votre attention sur un certain nombre d'outils pédagogiques diffusés par le CLEA ...

Nous sommes heureux d'ouvrir ce numéro avec un bel article de Martine BOBIN qui a "digéré" pour nous les travaux historiques sur la façon dont Roemer a établi que la lumière a une vitesse finie. Le hors série des Cahiers en cours de réalisation, "Gravitation et Lumière", reviendra sur ce thème en proposant une fiche d'activités.

L'Astrolabe, à La Rochelle, développe toujours des activités originales ; Jacques Vialle nous décrit le projet Arès, belle expérience qui mêle planétologie et informatique.

Frédéric Dahringer nous livre ensuite les résultats d'un travail de l'été autour de la phrase lue dans beaucoup de (très bons) manuels : "Vénus se couche au maximum 3 heures après le Soleil".

Gilbert a demandé à K. Mizar d'inventer un anniversaire lié au travail de Kepler et d'en profiter pour démarrer un nouveau feuilleton ... Pierre Lerich se sert toujours de sa calculette, mais pas uniquement pour démythifier l'astrologie ; Suzanne Débarbat répond à une question de lecteur à propos du cercle répéteur de Borda et Paul Perbost répond aux questions posées par la couverture des Cahiers ...

Enfin, des lectures, et Gilbert remercie Jacques Vialle d'être venu à son aide.

Bonne rentrée pour tous.

**Et surtout n'oubliez pas l'Assemblée Générale du CLEA. Cette année, elle aura lieu à Orsay, le dimanche 20 novembre. Retenez la date !**

La Rédaction

## JUILLET 1994 AU COL BAYARD : LE GROUPE DE RECHERCHE PEDAGOGIQUE DU CLEA AU TRAVAIL...

Notre équipe avait déposé en novembre 1993 un dossier de demande d'Université d'Eté, retenu le centre de Gap-Bayard pour la période du 9 au 18 juillet 1994 et publié l'annonce de l'Université, en particulier dans les Cahiers Clairaut. Hélas, ouvrant le BOEN du 3 mars 1994, il fallut bien constater l'évidence : notre demande n'avait pas été retenue. Une lettre officielle, expliquant que nous coûtions trop cher et qu'il y a déjà eu beaucoup d'astronomie dans les Universités d'été passées devait suivre, deux mois plus tard.

Après une phase de découragement assez profond, nous avons décidé de transformer le projet en une réunion de travail du Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA. Elle s'est déroulée avec très peu de moyens financiers (merci au Comité National Français d'Astronomie pour son allocation de 8 000 francs ; merci aux membres du CLEA qui "investissent" généreusement dans le CLEA leurs droits d'auteurs ...). Les participants étaient bénévoles, comme ils le sont presque toujours ... et commençaient leurs vacances fort studieusement.

Ce fut un temps fort de la vie de notre association : nous avons pris le temps de réfléchir aux objectifs du CLEA, de faire des projets d'avenir, d'étudier des voies nouvelles ...

Premier thème : les logiciels "intelligents", ceux qui apportent une aide dans la résolution d'un problème. Nous en avons utilisé essentiellement deux : "Voyager II", dont il a déjà été question dans les Cahiers, et dont les ressources sont apparues quasi-inépuisables. Il ne fonctionne (pour le moment) que sur Macintosh. "Expert Astronome", moins puissant mais déjà très riche peut lui être substitué sur IBM-PC. Les trois logiciels INFOLABO : IL1 "Ondes et son" ; IL2 "Observateurs et Mouvements" ; IL3 "Lumière et Rayonnement" nous ont enthousiasmés. Si vous voulez en savoir plus, écrivez à Francis Berthomieu, Place de l'Eglise 83111 AMPUS : il vous enverra un descriptif détaillé et une disquette de démonstration, utilisable sur IBM-PC ou Compatible (carte VGA couleur et souris indispensables).

Second thème : la méthode expérimentale en physique, en particulier dans l'option de 1ère S et dans l'enseignement de spécialité de TS. Ceux qui ont déjà travaillé sur les fiches CLEA-Belin ont exposé comment ils les ont utilisées avec leurs élèves, dans une méthode de découverte ; ils nous ont entraînés dans l'élaboration d'une nouvelle série "Gravitation et Lumière" que nous espérons pouvoir diffuser à la rentrée sous la forme du hors série n°5 des Cahiers Clairaut (pour en savoir plus, reportez-vous à l'encart publicitaire coloré au milieu du Cahier : il comporte une feuille "physiciens" et une feuille "naturalistes". N'hésitez pas à les détacher et à les faire circuler !).

Gros débat sur l'expérience : est-elle limitée aux manipulations classiques ? Un travail sur document n'est-il pas tout aussi expérimental ? Nous le pensons. Pourtant beaucoup de collègues seraient heureux de pouvoir présenter à leurs élèves de "vraies" manip. Nous nous sommes attachés sur la mesure de la constante solaire : tous ceux qui l'ont effectuée en suivant la fiche CLEA-Belin en étaient satisfaits et nous avons décidé de diffuser en kit un matériel simple permettant de faire travailler 12 (ou 6) groupes. Il sera vendu à prix coûtant aux adhérents du CLEA : il intéresse à la fois les physiciens et les naturalistes (ici encore, se reporter à l'encart publicitaire de couleur).

Nous avons aussi construit le "lunoscope" de Béatrice Sandré, (et transformé sa construction en une fiche du hors-série n°5) ainsi qu'un "astrolabe" imaginé par les collègues de Lyon, autour de Claude Pigué, et mesuré avec lui les coordonnées horizontales, horaires et équatoriales du Soleil. Un article suivra sous peu : c'est un instrument simple à construire et riche d'utilisation.

Troisième thème : l'option "Soleil" en Sciences de la Terre. Une enquête publiée dans le bulletin de l'APBG montre qu'elle est choisie dans 3% des cas (et vient en 5ème position). A la demande des collègues, nous avons préparé une plaquette sur la nébuleuse du Crabe et une autre sur le spectre du Soleil (toujours l'encart publicitaire ...).

Chacun des participants est reparti avec du travail . Les premières rédactions ont déjà circulé et vont continuer de le faire tout l'été : les fiches s'affinent et nous espérons qu'elles vous seront utiles !

Pour le GRP-CLEA : Lucienne Gouguenheim

# La découverte de la vitesse finie de la lumière par Roemer – Aspects historiques

**Martine Bobin** (Les Ulis, 1994)

Le but de ce petit travail de compilation est de restituer dans son contexte historique l'expérience fondamentale de Roemer (1676), d'essayer de montrer l'importance des présupposés théoriques du scientifique dans son interprétation d'une série d'observations et de mesures, d'explicitier le conflit qui a opposé J-D.Cassini à Roemer et d'indiquer les conséquences de cette découverte jusqu'à sa confirmation par Bradley en 1729.

## **1. La vitesse de la lumière avant 1676**

11. Avant le XVII ème siècle
12. Au XVII ème siècle

## **2. La découverte de Roemer : le contexte**

21. L'Observatoire de Paris à l'époque de Roemer
22. La détermination des longitudes à l'aide des satellites de Jupiter
23. Les mesures de Cassini et de Roemer

## **3. La polémique Cassini-Roemer**

31. L'argumentation de Roemer
32. Les objections de Cassini
33. Deux contributions différentes

## **4. Les conséquences de la découverte de Roemer**

41. Huygens
42. En Angleterre

## **REMARQUE BIBLIOGRAPHIQUE**

1. **Roemer et la vitesse de la lumière**, table ronde du CNRS, Paris 16 et 17 juin 1976 ; édition Vrin, 1978. [Cet ouvrage rassemble les communications présentées à ce colloque organisé à l'occasion du tricentenaire de la mise en évidence de la vitesse finie de la lumière par Roemer. Il s'agit d'un travail très approfondi de recherche en histoire des sciences qui est une référence incontournable pour qui veut étudier ce sujet.]

2. **La lumière** par Bernard Maitte, collection Points Sciences, édition Seuil 1981.

## **1. LA VITESSE DE LA LUMIERE AVANT 1676**

Jusqu'au XVII ème siècle (invention de la lunette astronomique et de l'horloge à pendule), on doit se contenter de l'oeil nu pour observer le ciel et on ne dispose pas

d'instrument capable de mesurer convenablement des durées inférieures à la seconde.

## 11. Avant le XVII<sup>ème</sup> siècle

111. Dans l'Antiquité – S'efforçant surtout de résoudre les problèmes liés à la vision ("pourquoi et comment voit-on ?") les Anciens n'ont pas centré leur réflexion sur la lumière (sa nature, son mode de propagation, sa vitesse). Développant une argumentation tirée à la fois de l'observation courante et de la réflexion philosophique, l'immense majorité des auteurs anciens pense que la lumière se manifeste instantanément. Etablie solidement à partir du IV<sup>ème</sup> siècle avant J-C, la conception instantanéiste de la lumière ne fut jamais remise en cause jusqu'à la fin de l'Antiquité. Cependant des divergences profondes existent encore concernant la signification de cette instantanéité, conséquences d'un désaccord sur la nature de l'agent produisant la vision (mouvement local de quelque chose se déplaçant à une vitesse infinie ou modification instantanée du milieu).

112. Dans le monde arabe – La contribution des Arabes en optique est fondamentale, grâce surtout à Al-Kindi (mort en 873) et à Ibn-al-Haytam (965-1039) plus connu sous le nom d'Alhazen. Celui-ci est le premier à systématiser la preuve expérimentale ; il propose, à l'aide de nombreuses observations et expériences menées dans un ordre progressif, un modèle mécanique simple : la lumière est matérielle, elle existe indépendamment de et extérieurement à la vision ("que l'oeil soit absent ou présent"). Elle se propage en ligne droite dans un milieu transparent et dans toutes les directions. Ces droites virtuelles que forme la lumière sont les "rayons lumineux". Assuré de la matérialité de l'agent lumineux, Ibn-al-Haytam suppose qu'il se meut à une très grande vitesse mais finie. "(Ce qui va) de l'ouverture au corps qui lui fait face n'existe que dans un temps même si cela est dissimulé au sens". Le mouvement rectiligne dans un milieu transparent est réfléchi ou dévié selon certaines règles si le milieu change de transparence et la vitesse de propagation change avec le changement de milieu.

113. Dans le moyen-âge chrétien – L'aube du moyen âge est fortement imprégnée des traditions de la pensée grecque, mais du XI<sup>ème</sup> au XIII<sup>ème</sup> siècle, les expéditions orientales font connaître les oeuvres arabes et induisent le développement de la science expérimentale et des techniques. L'optique expérimentale est développée par Robert Grossetête (1168-1253), Roger Bacon (1214-1294), Thierry de Freiberg (mort en 1311) et Witelo (1230-1300) : ils étudient la réflexion, la réfraction (explication de l'arc-en-ciel) et les lentilles de verre. Mais en ce qui concerne la nature et la propagation de la lumière, il n'y a pas de progrès notable. Grossetête explique que la propagation rectiligne est due à une série de vagues mettant en vibration la forme corporelle première qu'est la lumière. Bacon ajoute que le son résulte aussi d'ondes allant beaucoup moins vite que celles de la lumière puisque la vision de l'éclair précède le bruit du tonnerre.

Aux XIV<sup>ème</sup> et XV<sup>ème</sup> siècles, la vie intellectuelle stagne et la culture régresse. Le

XVI ème siècle est une époque d'imitation de l'Antiquité, loin des connaissances acquises au cours du moyen-âge.

## 12. Au XVII ème siècle

Au XVII ème siècle, l'hypothèse de l'instantanéité de la manifestation de la lumière a de nombreux défenseurs mais on commence à se référer à l'expérience pour essayer de trancher le débat.

121. Kepler (1571-1630), dans ses "Paralipomènes à Vitellion", ne dissocie pas le problème de la propagation de la lumière de celui de sa nature (1604) ; la lumière est une "espèce" immatérielle qui émane d'une source sous forme de flux. Elle se diffuse sphériquement par rayons rectilignes et se propage jusqu'à l'infini en un instant. Elle varie d'intensité en proportion inverse du carré de la distance.

122. Galilée (1564-1642) propose dans les "Discorsi..." l'expérience de la lanterne (Cf annexe 1), expérience fort grossière qui prouve qu'il évalue mal l'ordre de grandeur de la vitesse de la lumière mais le problème est posé.

123. Descartes (1596-1650) conçoit une meilleure approche en considérant des distances astronomiques à propos des éclipses de Lune (Cf annexe 2). En 1638, il écrit à Mersenne : *"l'expérience de Galilée pour savoir si la lumière se transmet en un instant est inutile car les éclipses de Lune se rapportant assez exactement au calcul qu'on en fait le prouvent incomparablement mieux que tout ce qu'on saurait éprouver sur Terre."*

124. Fermat (1601-1665) pose que la lumière obéit à un "principe de moindre temps" choisissant toujours la trajectoire la plus courte en temps. Le milieu autorisant la plus grande vitesse est le vide. Il écrit dans une lettre du 1er janvier 1662 : *"Si vous persistez toujours à n'accorder pas un mouvement successif à la lumière et à soutenir qu'il se fait en un instant..."*

125. Grimaldi (1618-1663) pense que la lumière est un fluide matériel, cohérent, subtil, animé d'une très grande vitesse ; ses ondulations stimulent la sensation de couleur. Elle peut se réfléchir en rebondissant sur une surface, se réfracter en heurtant des obstacles de dimensions équivalentes à celles du pinceau lumineux.

126. Huygens (1629-1695) se prononce dès 1672 en faveur d'une vitesse finie de la lumière. Dans le premier projet de sa "Dioptrique", il note, en 1673, : *"La lumière s'étend circulairement et non dans l'instant, au moins dans les corps ici-bas, car pour la lumière des*

*astres, il n'est pas sans difficulté qu'elle ne serait pas instantanée."*

Juste avant la découverte de Roemer, il existe donc des savants persuadés que la vitesse de la lumière est finie ; ils accueilleront donc favorablement toute mesure expérimentale allant dans ce sens.

## 2 . LA DECOUVERTE DE ROEMER : LE CONTEXTE

### **21. L'Observatoire de Paris à l'époque de Roemer**

La création de l'Observatoire de Paris (1667) destiné à accueillir les astronomes de la toute nouvelle Académie Royale des Sciences a lieu à un moment où l'astronomie est dans une conjoncture particulièrement favorable :

- L'invention de l'horloge à pendule (Huygens 1657) et la mise au point d'un premier type d'horloge marine permettent d'envisager une amélioration sensible de la précision des mesures de temps.

- La réalisation des premiers micromètres à fil (Auzout 1666), le perfectionnement des grandes lunettes, l'adaptation des lunettes aux instruments de mesure angulaire permettent d'espérer des progrès spectaculaires dans les déterminations angulaires en même temps qu'un affinement important dans la précision des relevés de surface planétaire.

Avant 1670, les astronomes parisiens réussissent à mettre au point et à utiliser couramment un ensemble d'instruments et de techniques qui vont révolutionner l'astronomie d'observation. Au cours de la période 1667-1676, les astronomes de l'Observatoire de Paris dont l'activité est déterminante sont :

Jean Picard (1620-1682)

Adrien Auzout (1622-1691) jusqu'en 1668

Jean Dominique Cassini (1625-1712) après 1669

Jean Richer (1630-1696)

Olaüs Roemer (1644-1710) après 1672

Christiaan Huygens (1629-1695) (apport théorique)

### **22. La détermination des longitudes à l'aide des satellites de Jupiter**

A la fin du XVI<sup>ème</sup> siècle, faute d'un "garde temps" suffisamment précis et stable, la détermination des longitudes restait très grossière. Galilée eut l'idée d'utiliser les "astres médicés" comme indicateurs de temps : les mouvements des satellites de Jupiter sont quasiment circulaires et uniformes, leur période est assez courte et l'instant des éclipses (ou de l'occultation d'un satellite par la planète) est indépendant du lieu d'observation. Galilée ne

put mener à bien son projet, les instruments dont il disposaient n'étaient pas assez précis.

En 1668, Cassini publie les *Ephemerides Bononienses medicorum syderum* où il expose la méthode de détermination des longitudes par l'observation simultanée d'une même éclipse à partir de deux méridiens différents. L'utilisation et le perfectionnement des tables de Cassini et l'emploi de l'horloge à pendule vont permettre la réalisation d'un vaste programme de détermination des longitudes. De nombreuses expéditions sont réalisées à cet effet par les astronomes de l'Observatoire de Paris : Méditerranée (1668-1669), Acadie (1670), Uraniborg (1671-1672), Cayenne (1672-1673), côtes de France (1672-1674).

En juillet 1671, Picard se rend à Copenhague et à Uraniborg afin de déterminer la différence de longitude entre l'Observatoire de Paris et celui, alors déjà disparu, de Tycho Brahé à Hveen afin d'utiliser les précieuses observations de ce dernier. Il est assisté dans son travail par le jeune astronome danois Olaüs Roemer. Pendant l'hiver 1671-72, les observations des éclipses de Io sont faites simultanément par Picard et Roemer à Uraniborg et par Cassini à Paris. Le soin des mesures (et aussi sans doute un heureux hasard) permet d'obtenir une très bonne valeur pour la différence de longitude entre Uraniborg et Paris. Picard rentre à Paris avec Roemer au cours de l'été 1672 et c'est à partir de ce moment-là que Roemer, logé à l'Observatoire, prend une part active au travail de l'Académie Royale des Sciences et continue avec Picard les observations des satellites de Jupiter.

### 23. Les mesures de Cassini et de Roemer

La détermination précise des positions des satellites présente d'énormes difficultés: Il faut tenir compte du fait que la révolution de Jupiter autour du Soleil n'est ni circulaire ni uniforme (première inégalité ayant une période de 12 ans environ), des inclinaisons par rapport au plan de l'écliptique des plans des orbites de Jupiter et des orbites des satellites, et enfin de l'équation du temps (les mesures étant faites en temps solaire vrai).

On sait aujourd'hui que d'autres inégalités sont dues à l'aplatissement de Jupiter, aux interactions entre les différents satellites et avec les planètes voisines (notamment Saturne). Malgré des méthodes sophistiquées, les tables actuelles qui tiennent compte de la vitesse de la lumière donnent une précision de l'ordre de la minute (elles sont calculées à partir de la méthode de Sampan (1910) améliorées en 1982 et publiées dans les *Ephémérides* du Bureau des Longitudes).

Le samedi 22 août 1676 (problème de date, 1674 ou 1675 ? on ne sait exactement, des documents ont été perdus et il reste des problèmes de déchiffrement), Cassini, dans une communication à l'Académie, déclare que "*cette seconde inégalité paraît venir de ce que la lumière emploie quelque temps à venir du satellite jusqu'à nous et qu'elle met environ dix à*

*douze minutes pour parcourir un espace égal à un demi-diamètre de l'orbite terrestre.* Cette affirmation est fondée sur plusieurs années d'observation de cette "seconde inégalité" présentée par les dates successives des éclipses de Io et qui dépend de la configuration Terre, Soleil, Jupiter.

En septembre 1676 (événement daté avec certitude), Roemer annonce à l'Académie que l'éclipse du premier satellite de Jupiter, prévue pour le 9 septembre suivant se produira avec exactement dix minutes de retard, ce qui fut confirmé par les observations. A la séance du 21 novembre 1676, Roemer expose sa théorie devant l'Académie. Le compte rendu de cette séance paraît dans le **Journal des Sçavans** du 7/12/ 1676 (Cf annexe 3).

Les deux explications données par Cassini et Roemer sont les mêmes mais alors que Cassini va non seulement changer d'avis mais contester les arguments de Roemer, et ce pendant de nombreuses années, Roemer va affirmer sa théorie en dépit de mesures imprécises et insuffisantes.

### 3. LA POLEMIQUE CASSINI-ROEMER

#### 31. Roemer

A la lecture du mémoire de Roemer, on peut être surpris par la faiblesse de son argumentation (Cf le dernier paragraphe). Il n'existe pas d'article écrit par Roemer et faisant une synthèse des calculs de la vitesse de la lumière. Roemer écrivait peu et l'incendie de Copenhague en 1728 entraîna la perte de la plupart de ses registres d'observation et de ses manuscrits. Une lettre de Roemer à Huygens révèle que sa théorie du retardement de la lumière se fonde exclusivement sur des observations faites par Picard et lui-même. Un manuscrit de Roemer, trouvé en 1913 à la bibliothèque de l'Université de Copenhague et étudié par Kristine Meyer, contient une série d'observations des satellites de Jupiter entre 1668 et 1677 et quelques calculs. Ce document a permis de reconstituer l'analyse de Roemer et de vérifier ses calculs. Les résultats de Roemer pour la durée de parcours d'un demi-diamètre de l'orbite terrestre par la lumière fluctuent entre 9,6 et 12 minutes. Compte tenu des incertitudes des tables utilisées, la concordance entre la précision et l'observation des 10 minutes de retard pour le 9 novembre 1676 semble extraordinaire. K.Meyer écrit d'ailleurs : *il y a un grand écart entre cette valeur de 10 minutes et celle déduite des observations réalisées en 1671, 72 et 73.*

Roemer semble s'être désintéressé du problème à partir de 1678 et ne plus y avoir travaillé. Delambre écrit, en 1821, dans son **Histoire de l'astronomie moderne** : *"Il est assez singulier que Roemer ait donné si peu de suite à cette recherche, qu'il n'ait pas cherché à mieux déterminer l'équation de la lumière du premier satellite et à montrer que cette équation était la même pour les quatre."*

### 32. Cassini

Deux objections sont avancées par Cassini et ses fils ainsi que par Maraldi (1665-1729). La première est que la correction due à la vitesse de la lumière ne supprime pas toutes les inégalités. La seconde est que cette hypothèse de la vitesse finie de la lumière ne s'accorde pas aux autres satellites de Jupiter.

Contrairement à Roemer, Cassini et Maraldi ont fait de très nombreuses observations. Cassini, dans son traité de 1693, **Les hypothèses et les tables des satellites de Jupiter réformées sur les nouvelles observations par M.Cassini**, insiste sur la nécessité de longues années d'observation avant d'en tirer des conclusions valables. Maraldi affirme en 1707 : *"Il paraît donc qu'il y a un grand nombre d'observations qui ne peuvent s'expliquer par le mouvement de la lumière quoiqu'il y en ait quelques unes qui lui paraissent favorables ; et par conséquent, cette hypothèse n'est pas suffisante pour expliquer la seconde inégalité des satellites."*

### 33. Deux contributions fort différentes

Les objectifs et les méthodes des deux savants, Roemer et Cassini, ne sont pas les mêmes. Roemer transforme en loi une hypothèse avancée par Cassini et ses mesures sont interprétées dans le but de démontrer la vitesse finie de la lumière. Cassini qui étudie en détail les mouvements des satellites de Jupiter essaie d'en comprendre toutes les inégalités. Il est extrêmement rigoureux et ne peut accepter une théorie que si elle est en accord avec les phénomènes observés et dans une très bonne approximation. A l'époque, les mesures sont insuffisamment précises pour conclure sans hésiter.

La découverte est reconnue à Roemer qui a fait preuve de plus de témérité que Cassini mais celui-ci, par sa méthode de travail, a permis de poser le problème de cette inégalité. L'hypothèse de Roemer a permis d'accepter plus facilement les théories de la lumière de Huygens et de Newton. On peut dire que chacun des deux savants a contribué à l'évolution des idées en ce qui concerne la vitesse de la lumière.

## 4. LES CONSEQUENCES DE LA DECOUVERTE DE ROEMER

### 41. Huygens

Le 16 septembre 1677, Huygens écrit à Roemer pour lui annoncer qu'il a lu la traduction anglaise de sa communication du 21 novembre 1676 devant l'Académie Royale des Sciences. Il reprend le raisonnement de Descartes sur les éclipses de Lune (Cf annexe 2) et cherche la limite inférieure de la vitesse de la lumière telle que l'angle  $\theta$  soit inappréciable. La valeur limite de  $\theta$  est 6 minutes d'arc et à cet angle correspond un temps de parcours de 10 secondes pour la distance Terre-Lune. Il en déduit que la vitesse de la lumière est cent mille fois celle du son (au moins).

En 1678 (présentation de son **Traité de la lumière** devant l'Académie des Sciences), il déclare : "*Mais ce que je n'employais que comme une hypothèse a reçu depuis peu grande apparence d'une vérité constante par l'ingénieuse démonstration de Monsieur Roemer... La vitesse de la lumière est plus de cent mille fois plus grande que celle du son ; ce qui pourtant est tout autre chose que d'être instantanée, puisqu'il y a la même différence que d'une chose finie à une chose infinie. Or le mouvement successif de la lumière étant confirmé de cette manière, il s'ensuit, comme j'ai déjà dit, qu'il s'étend par des ondes sphériques ainsi que le mouvement du son.*"

La découverte de Roemer a donc conforté Huygens dans son opinion d'une vitesse finie de la lumière nécessaire à sa théorie de la lumière.

#### 42. En Angleterre

En juin 1677, (sept mois après la parution de l'article de Roemer dans le **Journal des Sçavans**), paraît dans les **Philosophical Transactions** de la Royal Society une traduction très fidèle du mémoire de Roemer. Flamsteed (1646-1719), "Astronome Royal" depuis 1675 et installé à Greenwich depuis 1676, s'intéressait aux satellites de Jupiter depuis 1672 ; il s'intéressait en particulier aux distances des planètes au Soleil et à la Terre ainsi qu'aux élongations des satellites de Jupiter. Sa méthode, pour déterminer les longitudes, était l'utilisation du mouvement de la Lune. Il se mit à s'intéresser aux éclipses de Io après la découverte de Roemer.

En 1679, Roemer fait un séjour à Londres où il rencontre Hooke et Flamsteed. Celui-ci crut tout de suite à "l'équation du temps de Roemer" et, grâce à son influence, les savants anglais - Hooke mis à part - furent favorables à cette découverte. En 1684, Flamsteed écrit à Newton en lui parlant de la "Roemer's equation of light" et de son influence sur le calcul des éphémérides des satellites de Jupiter. Dans les **Principia** (1687), Newton affirme qu'il est maintenant certain que la lumière a une vitesse finie et que cela est confirmé par les observations de "plusieurs astronomes".

En 1694, Halley (1656-1742) écrit un compte rendu critique des tables du premier satellite de Jupiter publiées par J-D. Cassini ; il fait remarquer que celui-ci n'admet pas dans ses calculs "l'hypothèse ingénieuse de la vitesse finie de la lumière". Halley, grâce à une utilisation judicieuse des observations de Io, parvient à une valeur  $\tau = 8,5$  minutes de la durée mise par la lumière pour parcourir la distance Soleil-Terre.

Au début du XVIII<sup>ème</sup> siècle, on rencontre de plus en plus de savants anglais qui sont convaincus que la lumière a une vitesse finie et que Roemer l'a prouvé. Il n'apparaît donc pas nécessaire d'en chercher une autre preuve.

ANNEXE 1 - L'expérience de la lanterne par Galilée (1633)

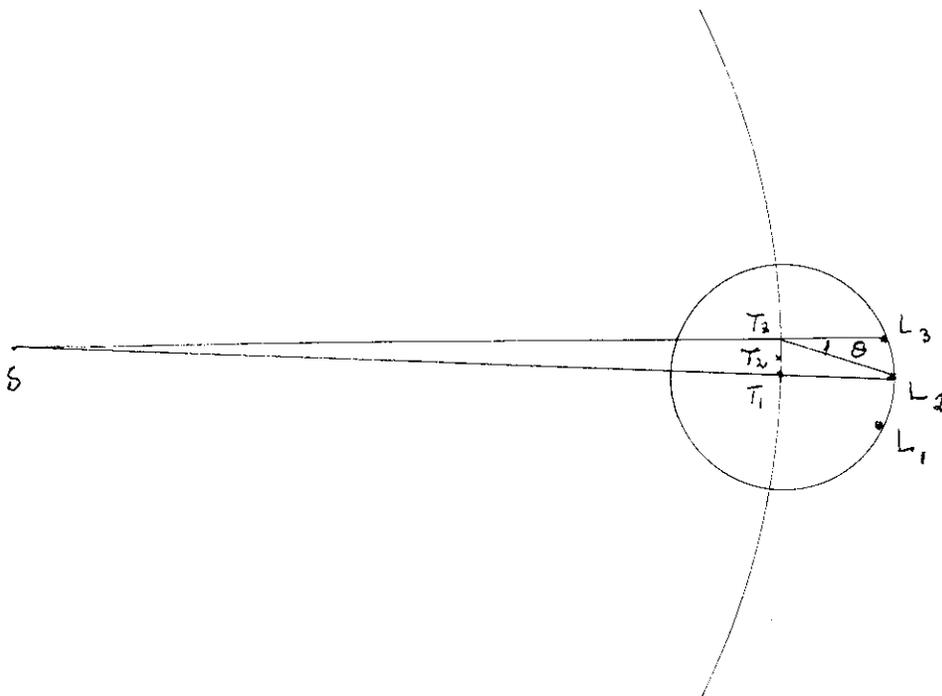
Deux hommes se placent face à face ; l'un démasque la lanterne qu'il porte ; dès qu'il en perçoit la lumière, l'autre démasque la sienne à son tour. Le premier observateur peut évaluer l'intervalle de temps séparant l'instant où il a ouvert sa lanterne de celui où il a vu la lumière issue de la seconde. Les deux hommes se placent ensuite à grande distance l'un de l'autre ; si l'intervalle de temps mesuré est plus long, on peut en conclure que la vitesse de la lumière est finie

ANNEXE 2 - L'expérience des éclipses de Lune par Descartes (1637)

Lorsque la Lune est éclipsée par la Terre, S,T et L sont alignés.

Si la lumière demande une heure pour aller de la Terre à la Lune, la Terre passant en  $T_1$ , l'ombre produite n'arrivera en  $L_2$  qu'une heure après. C'est en  $L_2$  que la Lune sera obscurcie mais ce phénomène ne sera vu de la Terre qu'une heure après. Pendant ces deux heures, la Terre sera parvenue en  $T_3$  et de la Terre on verra la Lune en  $L_2$  (bien que celle-ci soit partie de cette position depuis une heure et se trouve en  $L_3$ ). On devrait donc pouvoir mesurer l'angle  $\theta$ .

Or l'observation montre que la Lune éclipsée apparaît toujours alignée avec le Soleil et la Terre?



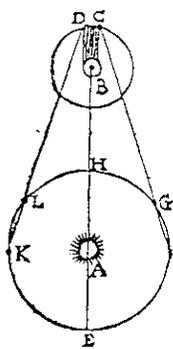
ANNEXE 3 - Mémoire de Roemer

paru dans le **Journal des Sçavans** du lundi 7 décembre 1676

Ce texte est bien de Roemer bien que la forme puisse laisser entendre le contraire ; les communications des savants devant l'Académie des Sciences étaient souvent rédigées par un secrétaire.

**DEMONSTRATION TOUCHANT LE mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer de l'Academie Royale des Sciences.**

**L** y a long-temps que les Philosophes sont en peine de décider par quelque experience, si l'action de la lumiere se porte dans un instant à quelque distance que ce soit, ou si elle demande du temps. Mr Römer de l'Academie Royale des Sciences s'est avisé d'un moyen tiré des observations du premier satellite de Jupiter, par lequel il démontre que pour une distance d'environ 3000 lieues, telle qu'est à peu près la grandeur du diamètre de la terre, la lumiere n'a pas besoin d'une seconde de temps.



Soit A le Soleil, B Jupiter, C le premier Satellite qui entre dans l'ombre de Jupiter pour en sortir en D, & soit E F G H K L la Terre placée à diverses distances de Jupiter.

Or supposé que la terre estant en L vers la seconde Quadrature de Jupiter, ait veu le premier Satellite, lors de son émerision ou sortie de l'ombre en D ; & qu'en suite environ 42. heures & demie a-

prés, sçavoir après une revolution de ce Satellite, la terre le trouvant en K, le voye de retour en D : Il est manifeste que si la lumiere demande du temps pour traverser l'intervalle L K, le Satellite sera veu plus tard de retour en D, qu'il n'auroit esté si la terre estoit demeurée en K, de sorte que la revolution de ce Satellite, ainsi observée par les Emerisions, sera retardée d'autant de temps que la lumiere en aura employé à passer de L en K, & qu'au contraire dans l'autre Quadrature FG, où la terre en s'approchant, va au devant de la lumiere, les revolutions des Immerisions paroistront autant accourcies, que celles des Emerisions avoient paru alongées. Et parce qu'en 42 heures & demy, que le Satellite employe à peu près à faire chaque revolution, la distance entre la Terre & Jupiter dans l'un & l'autre Quadrature varie tout au moins de 110. diametres de la

Terre, il s'ensuit que si pour la valeur de chaque diamètre de la Terre, il faisoit une seconde de temps, la lumiere employeroit 3. min. pour chacun des intervalles GF, KL, ce qui causeroit une difference de près d'un demy quart d'heure entre deux revolutions du premier Satellite, dont l'une auroit esté observée en FG, & l'autre en KL, au lieu qu'on n'y remarque aucune difference sensible.

Il ne s'ensuit pas pourtant que la lumiere ne demande aucun temps : car apres avoir examiné la chose de plus près, il a trouvé que ce qui n'étoit pas sensible en deux revolutions, devenoit tres-considerable à l'égard de plusieurs prises ensemble, & que par exemple 40 revolutions observées du costé F, estoient sensiblement plus courtes, que 40. autres observées de l'autre côté en quelque endroit du Zodiaque que Jupiter se soit rencontré; & ce à raison de 22. pour tout l'intervalle H E, qui est le double de celui qu'il y a d'icy au soleil.

La necessité de cette nouvelle Equation du retardement de la lumiere, est établie par toutes les observations qui ont esté faites à l'Academie Royale, & à l'Observatoire depuis 8. ans, & nouvellement elle a esté confirmée par l'Emerision du premier Satellite observée à Paris le 9. Novembre dernier à 5. h. 35. 45. du soir, 10. minutes plus tard qu'on ne l'eût deü attendre, en la déduisant de celles qui avoient esté observées au mois d'Aoust, lors que la terre estoit beaucoup plus proche de Jupiter; ce que Mr Römer avoit predict à l'Academie dès le commencement de Septembre.

Mais pour oster tout lieu de douter que cette inégalité soit causée par le retardement de la lumiere, il demontre qu'elle ne peut venir d'aucune excentricité, ou autre cause de celles qu'on apporte ordinairement, pour expliquer les irregularitez de la Lune & des autres Planetes : bien que néanmoins il se soit aperceu que le premier Satellite de Jupiter estoit excentrique, & que dailleurs ses revolutions estoient avancées ou retardées à mesure que Jupiter s'approchoit ou s'éloignoit du soleil, & même que les revolutions du premier Mobile estoient inégales; sans toutesfois que ces trois dernieres causes d'inégalité empêchent que la premiere ne soit manifeste.

Remarque : au XVII<sup>ème</sup> siècle, les termes d'émersions et d'immersions étaient employés pour les fins et les débuts d'éclipses.

ANNEXE 4 - L'aberration de la lumière

De décembre 1725 à décembre 1726, l'astronome anglais James Bradley (1692-1762) cherchait à mettre en évidence l'effet de parallaxe produit par le mouvement orbital de la Terre autour du Soleil sur les étoiles proches. Pour cela il observait l'étoile  $\gamma$  du Dragon (étoile relativement brillante qui passe quotidiennement presque au zénith de Londres ce qui présente le double avantage d'observations exemptes du phénomène de réfraction atmosphérique et d'un repérage précis de l'étoile par sa distance zénithale). Ses observations (faites avec l'astronome amateur S.Molyneux) mettent en évidence un déplacement de l'étoile décalé de trois mois par rapport au déplacement attendu d'un déplacement de parallaxe (qui, lui, est en phase avec le Soleil). En recommençant avec d'autres étoiles, il s'aperçoit que toutes subissent un déplacement annuel apparent dont l'amplitude par rapport à une position moyenne est 20,5".

En 1728, il donne l'explication : ce déplacement n'est pas un effet de parallaxe ; le changement apparent de la direction de l'étoile est dû à la composition de deux vitesses, celle de la lumière qui provient de l'étoile et celle du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil. L'espace étant rapporté au Soleil et à des directions d'étoiles, une pluie de

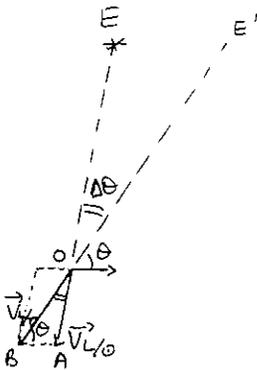


fig 1

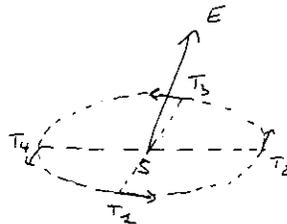


fig 2

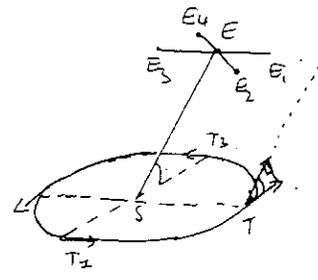


fig 3

photons provient de l'étoile, "tombe" sur l'écliptique avec une vitesse  $V_{L/O} = c$  ; la Terre se déplaçant avec la vitesse  $V_{T/O}$ , l'observateur terrestre verra l'étoile dans la direction du vecteur  $\vec{V}_{L/T}$  tel que

$$\vec{V}_{L/T} + \vec{V}_{T/O} = \vec{V}_{L/O}$$

Son observation est entachée d'une erreur  $\Delta\theta$  telle que

$\frac{AB}{\sin\Delta\theta} = \frac{OA}{\sin\theta}$  donc  $\sin\Delta\theta = \frac{v}{c} \sin\theta$  (c vitesse de la lumière, v vitesse orbitale de la Terre). (cf fig 1)

L'angle d'aberration  $\Delta\theta$  est très petit ; il est maximum pour  $\theta = 90^\circ$  ce qui se produit

quand la Terre est en  $T_1$  ou en  $T_3$ . On obtient la valeur de la constante d'aberration annuelle  $k \simeq \frac{29.78}{299792} \simeq 9,93 \times 10^{-5} \text{ rad} \simeq 20,5''$  (cf fig 2)

L'angle  $\theta$  variant avec la position de la Terre sur son orbite, le phénomène d'aberration pour une étoile donnée se manifeste au cours d'une année par la description d'une ellipse de demi grand axe  $20,5''$  (ellipse d'aberration) décrite par la position apparente de l'étoile au cours de l'année. Le maximum d'aberration est obtenu quand la vitesse de la Terre a la direction de l'intersection d'un plan perpendiculaire à la direction de l'étoile avec le plan de l'écliptique. Il ne dépend ni de la position ni de la distance de l'étoile.

Le demi petit axe de l'ellipse d'aberration vaut  $20,5'' \sin b$  où  $b$  est la latitude écliptique de l'étoile :

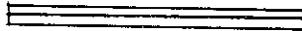
$$\frac{EE_3}{V} = \frac{EE_2}{V \sin b} \text{ d'où } EE_2 = EE_3 \sin b \text{ (cf fig 3)}$$

La mesure de  $k$  permet un recoupement avec la mesure de  $\tau$ , le temps de parcours de la lumière du Soleil à la Terre. Avec  $\tau = 8,5 \text{ mn}$  trouvée par Halley en 1694, on obtient :

$c = a/\tau$  où  $a$  est la valeur de l'unité astronomique

$v = \frac{2\pi a}{A}$  où  $A$  est la durée de l'année sidérale

On trouve  $k \simeq v/c \simeq \frac{2\pi\tau}{A}$  (rad)  $\simeq 360 \frac{\tau}{A}$  (degrés) soit  $k \simeq 0,0058^\circ \simeq 21''$  ce qui est compatible avec les observations de Bradley.



## INFOLABO IL3-LUMIERE ET RAYONNEMENT

Le logiciel IL3-LUMIERE ET RAYONNEMENT est constitué de 5 applications différentes:

Francis BERTHOMIEU  
Place de l'église  
83111 AMPUS

Couleurs  
Bohr  
Arc en Ciel  
Corps Noir  
Spectro



© f.berthomieu 1994

Ces "Schémas animés interactifs" sont destinés aux élèves de l'option Sciences Expérimentales en première S.

### COULEURS

Cette application propose une activité expérimentale basée sur l'utilisation d'images obtenues par synthèse additive (sur l'écran de l'ordinateur).

Ceci permet d'observer la composition spectrale de la lumière émise par les luminophores du moniteur de l'ordinateur. On en déduira les règles de synthèse additive ou soustractive des couleurs.

### CORPS NOIR

Le tracé des courbes théoriques régissant l'émission du corps noir dans une gamme de température correspondant à des émissions dans le domaine du visible est ici obtenu en quelques instants. On peut ainsi dégager un temps précieux pour l'interprétation de l'aspect coloré d'un tel corps et établir ainsi les connaissances permettant l'interprétation de la couleur des étoiles.

## LE PROJET ARÈS... LES ROCHELAIS DÉBARQUENT SUR MARS

Réalisé par l'Astrolabe de La Rochelle [1], le projet Arès consiste en rien moins qu'embarquer des jeunes de divers groupes d'âge à bord d'un module d'atterrissage imaginaire censé s'être posé le 18 novembre 2015 quelque part sur Mars. Le module a reçu plus de 1500 visiteurs pendant les six mois où il est resté en activité. Ce projet, très ambitieux, n'a pas toujours rencontré le succès escompté mais les retombées n'en seront pas négligeables. Un ensemble d'activités orientées vers la planétologie et une banque d'images ont été constitués à cette occasion et Arès a également permis d'explorer l'utilisation pédagogique d'images stockées sur disquette.

L'Astrolabe est le centre d'animation de la Mission d'Animation Culturelle et de Vie Sociale (MACVS) de Mireuil, un quartier populaire de La Rochelle. Ce centre offre un large éventail d'activités aux jeunes de ce quartier un peu défavorisé: création de journaux de quartier ou d'école par PAO, expression corporelle, activités scientifiques. Pour diverses raisons, le secteur "Arts, Sciences et Techniques" de l'Astrolabe, réalisateur du projet Arès, a connu un très important développement et son rayonnement dépasse maintenant le cadre du quartier. Des classes viennent parfois de fort loin pour visiter les expositions et participer aux activités scientifiques proposées. L'Astrolabe a également signé en 1990 une convention de partenariat avec l'équipe locale du CLEA. C'est dans ce cadre que le projet Arès est né.

A l'origine, l'Astrolabe était à la recherche d'un programme d'activités scientifiques construites autour d'opérations mentales essentielles (faire une hypothèse, la valider ou l'invalidier, évaluer, prédire, inférer...) et développant des savoir-faire fondamentaux (mesurer, interpréter des données, calculer...). En outre, par l'intermédiaire d'un protocole strict, la pratique exigerait une certaine rigueur, inhabituelle chez nos jeunes "étourdis" peu habitués à la prise de consignes. Pour compenser ces contraintes, il fallait donc créer un environnement motivant et qui laisse aussi sa part au rêve et au jeu. Le thème de l'exploration de Mars fut donc choisi.

Le projet soumis au Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (DIST-B) fut accepté en septembre 1992 et nanti d'une subvention appréciable, l'équipe Astrolabe/CLEA se mit au travail. Le projet fut développé en 18 mois, délai imparti par la DIST-B, principalement occupés à recueillir la documentation et à construire les activités et leurs documents supports. La construction du décor proprement dit n'a duré que quatre à cinq semaines, mais les équipes n'ont pas chômé pendant cette période.

Arès mêle la réalité et la fiction: ainsi, on y utilise les données réellement recueillies par les différentes sondes martiennes, notamment les deux Viking [2]. C'est pour cette raison que le point d'atterrissage choisi se trouve dans *Chryse Planitia*, à peu de distance du site Viking 1. Cet atterrissage est censé avoir été précédé par la mise en place de quatre sondes automatiques constituant un réseau local de télémétrie couvrant une région de l'ordre de 1000 km<sup>2</sup>, comme cela sera vraisemblablement le cas... un jour. Par contre, les explorateurs évoluent dans un décor traité dans un

style très "Jules Verne". Le module atterrisseur est une espèce de Nautilus spatial, construit selon une technologie typiquement XIX<sup>e</sup> siècle, avec rivets apparents: Robur le Conquérant et le Capitaine Nemo ne l'auraient pas renié.

Divers documents et logiciels ont été créés spécialement pour Arès. Les logiciels sont écrits en Basica Microsoft, langage facile à manier mais malheureusement peu performant sur le plan graphique. Typiquement, le logiciel "Météo" mesure en temps réel (martien) les composantes Température, Pression, Vitesse du Vent et Direction du vent sur les quatre sites des sondes du réseau local de télémétrie. Toutes les 10 secondes, ces données s'affichent sur l'écran. La variation diurne est prise en compte: on passe ainsi de -120° C la nuit à un confortable - 30°C aux alentours de midi (local).

Toutefois, Arès utilise aussi des logiciels du commerce adaptés aux objectifs du projet, principalement le célèbre *Vistapro*, un générateur de paysage aux performances spectaculaires et le CD-ROM *Mars Explorer* [3]. Grâce à *Vistapro*, les explorateurs peuvent se déplacer dans un paysage martien (pour le moment, promenade limitée à la caldeira d'Olympus Mons). D'autre part, les images de *Mars Explorer*, récupérées sur disquettes au format PCX, sont lues indifféremment par l'un ou par l'autre de ces logiciels et servent de support à des Travaux Pratiques.

De nombreux documents ont aussi été créés pour Arès. Une petite plaquette rédigée à l'intention des enseignants présente un certain nombre de données essentielles mais peu connues du grand public (par exemple, l'histoire géologique de la planète). Des "Carnets de Bord" spécifiques à chacune des missions et mis à disposition des équipes définissent les objectifs à atteindre et détaillent les séquences opératoires. Des "Compte-rendus de Mission" adaptés à l'âge des "explorateurs" sont également proposés aux "explorateurs". Ils y notent les résultats de leurs expériences. Enfin, un "Glossaire" permet d'éclaircir le sens de tel ou tel mot un peu barbare.



Fig.1: Préparation d'une mission à l'intérieur du module

Une "mission Arès" embarque 4 équipes de 3 jeunes explorateurs, sous la responsabilité d'un animateur investi du rôle de "Chef de mission". Elle dure environ 40 minutes. Chaque équipe dispose de son ordinateur et se voit confier une mission spécifique: Météo, Analyse Géochimique du sol, Recherche de l'eau et Activation d'un petit véhicule automatique de reconnaissance. Après un rapide survol de la planète rouge (un assemblage d'images des sondes Viking), la mission commence. Chaque équipe doit d'abord activer la manipe qui lui a été confiée. Le logiciel crée même des pannes aléatoires: par exemple, un voyant rouge signale subitement une chute de tension sur un générateur isotopique. Ou encore, l'encodeur d'un anémomètre est resté bloqué. Angoisse: faudra-t-il abandonner la mission? Puis, chaque poste s'emploie à recueillir les mesures qui seront ensuite exploitées dans les comptes-rendus de mission. Dans un coin de la salle, une autre équipe penchée sur un écran, manettes en main, tente de prélever des échantillons de roches. Il va sans dire qu'avant d'être promus au rang de roche martienne, ces cailloux se doraients au soleil des plages rochelaises.

Quel bilan peut-on tirer de ces six mois de fonctionnement? Le succès n'a pas toujours été à la hauteur des espérances bien que dans l'ensemble l'accueil ait été favorable. Il y a plusieurs raisons à cela. D'une part, le public sollicité (les élèves des lycées) n'est pas venu bien que le projet ait été principalement conçu en fonction des programmes rénovés de SVT. Par contre, Arès a eu beaucoup de succès auprès des enfants des Cycles I et II de l'Ecole Primaire pour lesquels les programmes étaient malheureusement mal adaptés.

Egalement, l'informatique d'Arès n'avait rien à voir avec les jeux video familiers à notre jeune génération, d'où une certaine déception. Typiquement, les utilisateurs commençaient par explorer les écrans sans se préoccuper de savoir ce qu'ils devaient faire. L'erreur était sans doute de vouloir imposer trop rapidement une discipline trop stricte. En fait, une grande partie des problèmes venait de ce que les utilisateurs avaient du mal à prendre connaissance des consignes et estimaient avoir terminé leur tâche dès lors qu'ils avaient recueilli *une* donnée (une température ou une composition chimique). Or l'objectif du projet était moins de faire passer un contenu que de *faire pratiquer une démarche pour aboutir à une prise de décision*. C'est probablement ce qui a dérouté bien des élèves qui plus ou moins consciemment ont reproduit l'attitude qu'ils auraient eu en classe devant un "exo".

Que restera-t-il d'Arès ? Le décor a maintenant quitté La Rochelle pour être remonté sous une forme un peu différente à l'Espace Mendès-France à Poitiers. Le concept sera probablement modifié et amélioré. Quoi qu'il arrive, il restera néanmoins du projet original une banque d'images planétaires et du ciel profond ainsi que des activités qui continueront à être utilisées à l'Astrolabe. Ces documents sont la propriété commune de l'Astrolabe et du CLEA et nul doute que les lecteurs des *Cahiers Clairaut* en profiteront. Enfin et surtout, nous avons commencé à explorer les possibilités du multimedia, un domaine qui prendra de plus en plus d'importance.

Jacques VIALLE

**Remerciements** : La réalisation du projet Arès a été rendue possible par la subvention accordée par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (DIST-B) que l'équipe remercie sincèrement pour cette aide.

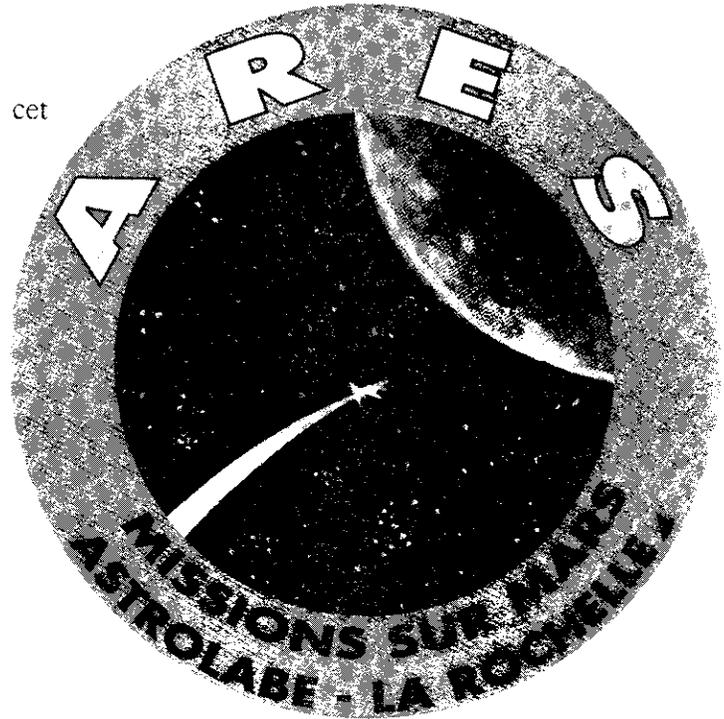
## Notes

[1] L'équipe Arès comprenait Jean-Bernard Vaultier, responsable du secteur "Arts, Sciences et Techniques" de l'Astrolabe (coordination du projet et partie administrative); Jean-Dominique Riondet (décor et scénographie) et Jacques Vialle (conception pédagogique).

[2] Ces données proviennent de divers ouvrages et principalement de: *Mars*, [Kieffer *et al.*, eds.], University of Arizona, 1992

[3] Ces logiciels ont été conçus par *Virtual Reality Laboratories, Inc.*, San Luis Obispo CA, Etats Unis.

Fig.2 : Chaque "explorateur" recevait cet insigne, comme pour une vraie mission.



## INFOLABO IL2 - OBSERVATEURS ET MOUVEMENT

Le logiciel IL2-OBSERVATEURS ET MOUVEMENT est constitué de 5 applications différentes:

Francis BERTHOMIEU  
Place de l'église  
83111 AMPUS

Galilée  
Newton  
Kepler  
Copernic  
Doppler



© f.berthomieu 1994

Ces "Schémas animés interactifs" sont destinés aux élèves de l'option Sciences Expérimentales en première S

### DOPPLER

L'objectif est simple: Rendre visuellement perceptibles les modifications de la périodicité des phénomènes perçus par un observateur en mouvement.

Une onde plane se propage sous nos yeux.

Un "capteur" peut être déplacé, en liaison avec la souris, et saisit à tout instant la grandeur qui se propage.

Déplaçant alors lentement le capteur dans un sens ou dans l'autre, l'élève observe et comprend les variations de la fréquence perçue.

## OU L'ON DECOUVRE QU'IL NE SUFFIT PAS D'UNE HORLOGE POUR MESURER LA DISTANCE SOLEIL-VENUS

### 1/ Où l'on parle du planétaire.

La construction et l'utilisation d'un planétaire héliocentrique suggère une méthode de mesure de la distance Soleil - Vénus comparée à la distance Soleil - Terre (1 U.A.).

a) En représentant les positions du Soleil, de la Terre et de Vénus, on définit l'élongation géocentrique de Vénus, dans le plan de l'écliptique.

Les planètes tournant autour du Soleil, cette élongation atteint une valeur maximale  $\alpha_m$ , correspondant à la position de Vénus dite en quadrature, telle que l'angle SVT soit droit (fi-

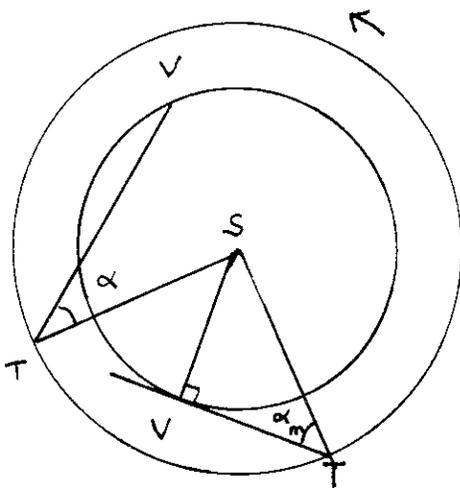


Figure 1

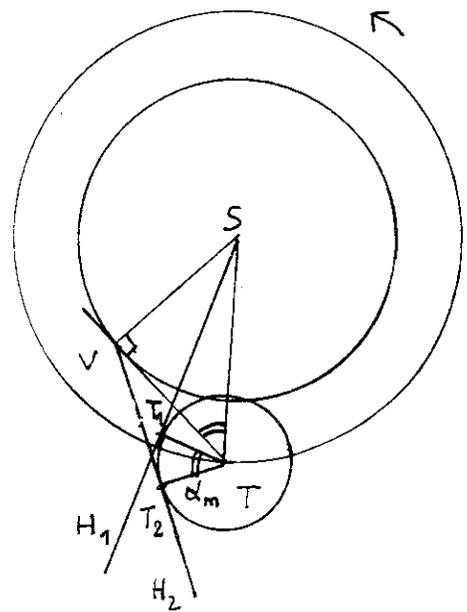


Figure 2

La mesure de  $\alpha_m$  permet de calculer  $SV = ST \sin \alpha_m$ .

b) L'utilisation classique du planétaire permet de déterminer la visibilité nocturne des planètes. La droite  $T_1H_1$  du schéma 2 représente l'horizon du lieu d'observation à la date  $t_1$  du coucher du Soleil, la droite  $T_2H_2$  représentant cet horizon à la date du coucher de Vénus.

L'angle  $\widehat{T_1TT_2}$  est égal à  $\alpha_m$ . La durée  $t_2-t_1$  n'est liée qu'à la rotation de la Terre sur elle-même puisqu'en quelques heures les positions relatives Terre, Vénus, Soleil n'évoluent pas notablement (figure 2).

La Terre tournant sur elle même en 24 heures, la durée  $t_2-t_1$  peut être transformée en une mesure d'angle. (D'aucuns sachant, de savantes communications, que cet angle vaut environ  $45^\circ$ , en déduisent un retard de 3 heures quand  $a$  est égal à  $a_m$ ).

2/ Où l'on parle de l'horizon, de l'équateur céleste et de l'écliptique.

Il est avéré que l'horizon est le lieu où se couchent les astres ; il est représenté en ligne frontale sur le schéma 3. On y trouve aussi la trace de l'équateur céleste et de l'écliptique, dans une configuration proche de celle du 2 Août 1994, date d'une élongation maximale de Vénus (figure 3).

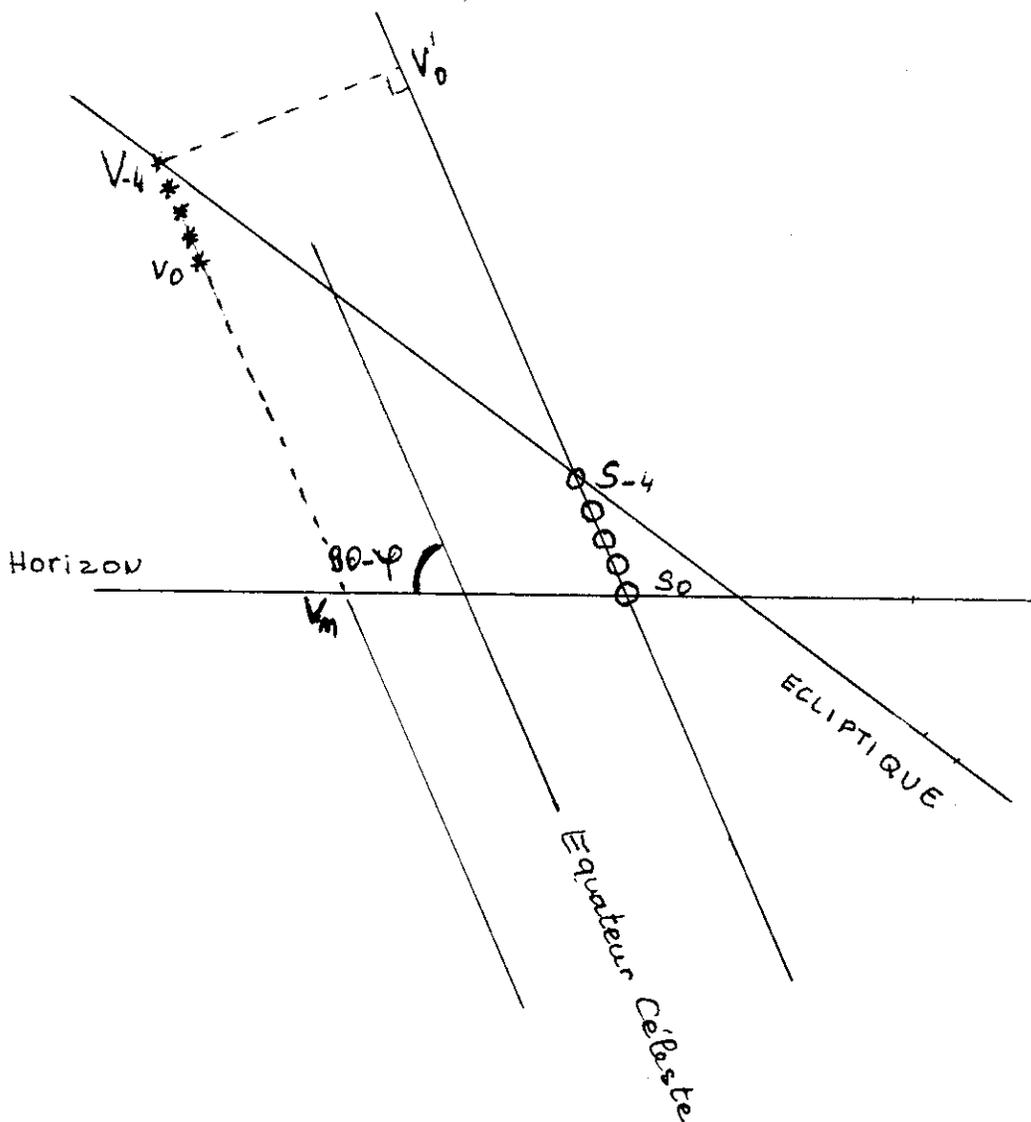


Figure 3

Voyager II Sky Chart

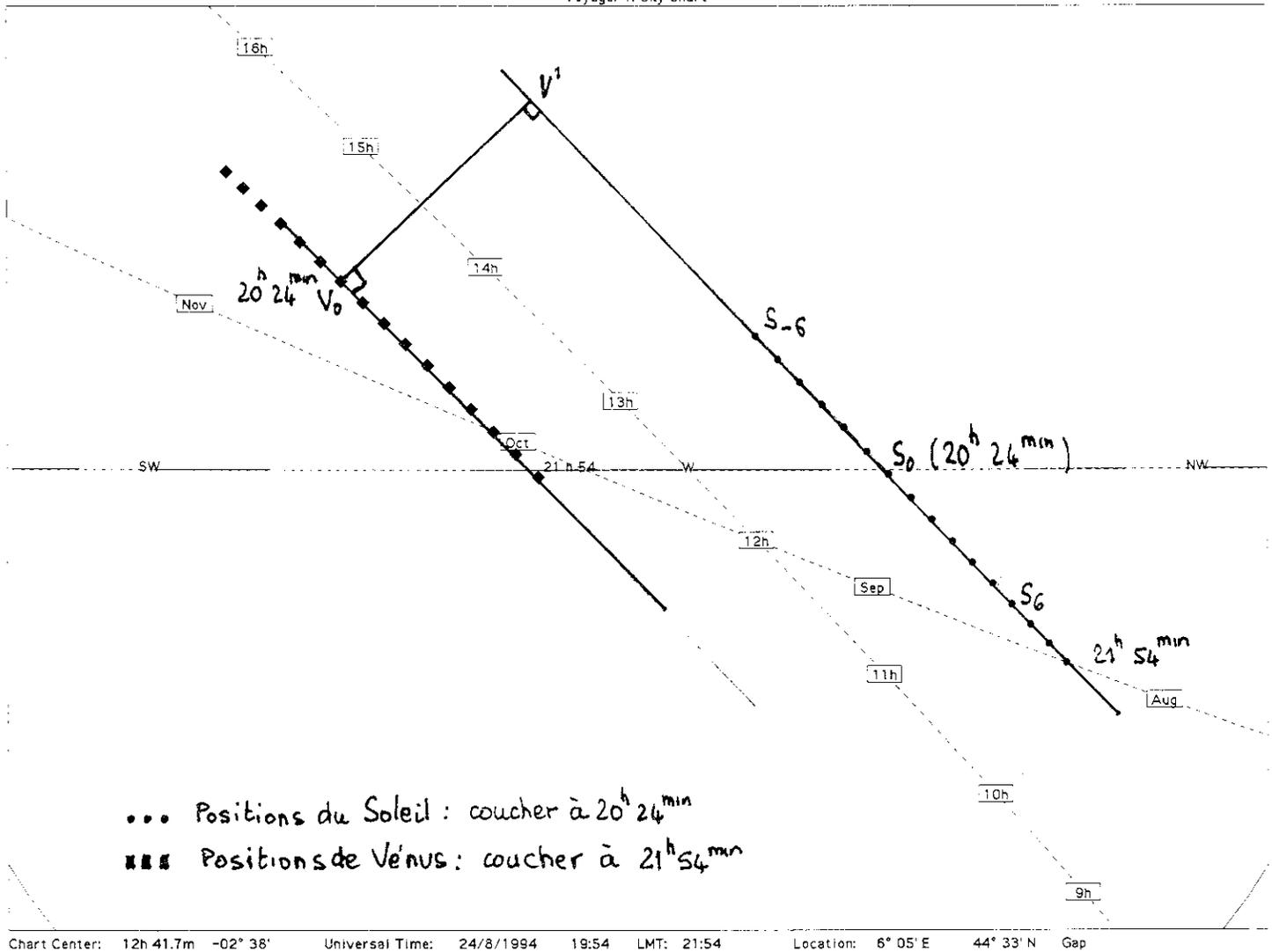


Chart Center: 12h 41.7m -02° 38' Universal Time: 24/8/1994 19:54 LMT: 21:54 Location: 6° 05' E 44° 33' N Gap

La durée recherchée correspond à  $V'S_0$ , de distance 78 mm.

La distance  $S_0S_9$  (coucher du Soleil → coucher de Vénus) est de 39 mm. Cette distance correspond à la durée : 21 h 54 min - 20 h 24 min = 1 h 30 min = 90 min.

Si l'on admet que ces distances sont proportionnelles aux durées, on obtient :

$$V'S_0 = (90 \text{ min} \times 78) / 39 = 180 \text{ min} = 3 \text{ h}$$

$$\text{On en tire : } \alpha_m = 360 \times 3 / 24 = 45^\circ$$

soit  $SV = 1 \times \sin 45^\circ = 0,71 \text{ U.A.}$ , résultat conforme à l'attente.

(hypothèse : Vénus est sur l'écliptique. L'arc d'écliptique considéré est assimilé à un segment de droite).

La portion d'écliptique SV est assimilée à un segment de droite. Les positions successives du Soleil et de Vénus sont alignées suivant une droite parallèle à l'équateur puisque la rotation de la Terre, responsable du coucher des astres, se fait suivant un axe perpendiculaire au plan de l'équateur

La durée du retard de Vénus sur le Soleil est représentée par le segment  $S_0V'_0$ ; or si l'on mesure ce retard en observant le coucher de Vénus, on ne mesure que la durée correspondant au segment  $V_0V_n < V'_0S_0$ .

Cette mesure ne peut donc pas convenir, sauf à redresser l'horizon perpendiculairement à l'équateur céleste, et donc faire la mesure à l'équateur terrestre!

(Remarque : on peut aussi faire un schéma correspondant à une autre période de l'année pour laquelle le coucher de Vénus aurait lieu plus tard que le retard à mesurer).

### 3/ Où l'on utilise une horloge, une règle, et un appareil photo.

La figure 3 suggère une résolution graphique.

Si l'on prend des photos au coucher du Soleil de façon à avoir la succession des positions  $S_4 \dots S_0$  du Soleil, on obtient la direction de l'équateur céleste et la date du coucher.

Si l'on reprend plus tard, au même lieu, une photo avec une succession de positions de Vénus, on peut déterminer la date de son coucher, et reconstituer la figure 3.

En admettant les longueurs  $V_0V_n$  et  $V'_0S_0$  proportionnelles aux durées, on pourra connaître la valeur cherchée.

### 4/ Où l'on utilise "Voyager II".

On peut remplacer les photos par une simulation obtenue à l'aide du logiciel "Voyager II" (Document 1 ci-dessus).

On constate que, compte tenu des approximations faites (portion d'écliptique supposée linéaire), on obtient par cette méthode, une bonne valeur de la distance Soleil - Vénus.

FRÉDÉRIC DAHRINGER

Note de la Rédaction : Cet article est né à Gap cet été (voir l'article : "Juillet 1994 au col Bayard dans ce même numéro), d'un projet initial qui était de mesurer "simplement" la distance de Vénus en s'inspirant de ce que disent les "bons" livres, à savoir qu'elle se couche au plus tard 3 heures après le Soleil et se lève au plus tôt 3 heures avant lui. Un bel exemple de ce que le passage à la pratique apporte à la lecture d'un savoir théorique ...

## En attendant 1996...

Il y a des dates qui sont plus symboliques que d'autres. L'An Mil en est une, peut-être en raison de son millésime, peut-être aussi parce que l'époque fut marquée par une grande angoisse collective. Le plus souvent, une date ne devient symbolique que par la grâce des historiens qui la mettent en perspective, rupture avec ce qui la précède ou prélude à ce qui la suit. De même que dans l'ensemble des nombres réels, de moins l'infini à plus l'infini, il y a les réels inférieurs à  $\alpha$  et les réels supérieurs à  $\alpha$ . Si  $\alpha$  est égal à 3 ou à  $5/7$  ou à  $\sqrt{2}$ , c'est tout simple ; mais si  $\alpha = \pi$  ou si  $\alpha = e$ , alors c'est une autre histoire. De même qu'il y a des réels transcendants, il y a des dates qui ont une signification dans l'histoire de l'humanité.

Je crois que 1596 est l'une de ces dates : le jeune Johann Kepler publie alors son premier livre **Prodrome aux dissertations cosmographiques contenant le secret du monde RELATIF A L'ADMIRABLE PROPORTION des orbés célestes, aux causes authentiques et propres du nombre des cieus de leur grandeur et de leurs mouvements périodiques DEMONTE AU MOYEN DES CINQ corps réguliers de la Géométrie**. (Je respecte l'orthographe et le choix des majuscules dans la page de titre de la traduction française, éditée par Gallimard dans sa collection "Tel" sous le titre **Le secret du monde**). En cette même année 1596, le 31 mars, à La Haye de Touraine, naît un certain René Descartes.

Bien sûr, Kepler sera plus célèbre par son **Astronomie nouvelle** (1609) et ses **Harmonies du monde** (1619) et en 1596, nul ne pensait que le bébé tourangeau publierait en 1637 son **Discours de la méthode** et les trois traités d'application. Mais à considérer l'avant et l'après 1596, la publication du livre de Kepler marque bien, qu'à cette date, une page va se tourner dans l'histoire du monde. Avant, la Renaissance, le temps des promesses et des grandes espérances ; après, le grand siècle scientifique, les grandes découvertes et les grandes réalisations, les cent ans qui s'écouleront entre la naissance de Descartes et la mort de Huygens.

Quatre siècles après la publication du **Secret du monde**, je nous propose de remettre nos pas dans ceux du jeune Kepler, aussi bien pour tenter de mieux comprendre comment meurent les mythes fatigués, comment naissent les grandes idées... que pour deviner peut-être quelles pages seront tournées avec la fin de notre siècle à nous, celui des pires barbaries et en même temps celui de la Relativité, de la biologie moléculaire et de la physique quantique...

(Remarque : ne pas prendre les comparaisons trop au pied de la lettre ; il y a une infinité de réels transcendants, il ne peut y avoir qu'un ensemble fini de dates symboliques)

### 1 - Mais qui est donc ce jeune Kepler ?

Jeune ? Oui, il est né en 1571 et quand va paraître son premier livre, il aura tout juste vingt cinq ans. N'est-ce pas audacieux de sa part de s'attaquer à un tel sujet, l'architecture de l'Univers, alors qu'il sort à peine de ses études universitaires ? "*La valeur n'attend pas le nombre des années*" aurait dit le Cid avant lui ; il faut aussi reconnaître le poids de ce qui nous guide tous, hommes du rang et hommes de génie mis ici sur pied d'égalité, le hasard des circonstances et les nécessités de la vie en société.

Johann Kepler était donc né à Weil, dans le Wurtemberg, en pays protestant. Quand il vient à l'Université de Tübingen, c'est muni d'une bourse de deux ans accordé par sa ville natale pour mener des études de théologie ; devenir pasteur est sa première vocation. Cependant, sous l'influence de son maître Michael Maestlin, il prend un intérêt de plus en plus vif pour l'astronomie. Ensemble, maître et élève font des observations comme celle d'une remarquable conjonction de Vénus et de Jupiter : conjonction si serrée que, l'observation étant faite à l'oeil nu, les deux planètes paraissent éclipsées l'une par l'autre (avec une lunette,

l'écart entre les deux astres aurait été visible). Surtout, Maestlin a lu Copernic, il a adopté sa conception du monde et le jeune Kepler est aussitôt acquis aux idées nouvelles.

En 1594, le double poste de mathématicien des Etats de Styrie et de professeur à l'école protestante de Graz est vacant. Les autorités provinciales de Styrie, à la recherche d'un candidat, s'adressent naturellement à l'Université de Tübingen. Les autorités universitaires proposent la candidature de Kepler en le couvrant d'éloges mais en souhaitant également écarter au plus vite cet étudiant qui se fait remarquer par ses idées dangereuses. Pour les luthériens orthodoxes, la cosmologie copernicienne s'écarte dangereusement des textes sacrés. On profite donc de l'occasion pour éloigner de Tübingen ce personnage encombrant. Mieux vaut qu'il soit mathématicien que pasteur, et tant pis pour lui si la fonction de mathématicien est moins honorable - et moins honorée financièrement - que celle de pasteur. Nécessité et hasard conjugués, voici notre étudiant-pasteur converti en mathématicien. "Converti" ou ayant trouvé sa véritable vocation ? La suite de son histoire nous fait penser que mieux valait pour l'humanité qu'il devienne effectivement ce que les Etats de Styrie réclamaient, un "mathématicien"

En quoi consistait donc cette charge ? On peut s'étonner que les princes, rois ou empereurs de culture scientifique pour le moins limitée aient tenu à disposer des services d'un mathématicien ; on se doute que ce n'était pas par amour de la science. Ceux qui ont le pouvoir de gouverner ont d'autres soucis, par exemple celui de fixer les dates des fêtes, suivant la fameuse recette "le pain et les jeux" qui consiste surtout à ne pas négliger les jeux grâce auxquels on peut oublier le manque de pain. Du temps de Kepler, les dates des fêtes sont toutes liées à la religion et par suite à la date de Pâques. Or, celle-ci a été malicieusement fixée par la règle du concile de Nicée qui conjugue équinoxe et pleine lune. Règle si compliquée pour le commun peuple et le commun prince que le savoir faire d'un mathématicien est bienvenu.

Puisqu'on a cette compétence sous la main, on peut aussi lui demander de fabriquer des "prognostications" comme on disait alors. Les croyances astrologiques sont vivaces à l'époque et le calcul d'un horoscope, selon des règles d'autant plus complexes qu'elles sont largement arbitraires, nécessite encore l'attention du mathématicien. Dans sa première prognostication, Kepler prédit un hiver très froid, des révoltes paysannes et la guerre contre les Turcs (imaginez un horoscopiste contemporain annonçant un été chaud, des barrages routiers et des troubles en Afrique ou au Moyen-Orient). Peut-être Kepler fut-il servi par une bonne connaissance des affaires du monde aidée par son sens des réalités. En tout cas, ce qu'il avait prédit se produisit effectivement. Sa réputation en sortit établie. On peut penser qu'il était doué. De nombreuses personnalités lui demandèrent leur horoscope. Selon Koyré, son horoscope de Wallenstein et le sien propre sont des chefs d'oeuvre d'analyse psychologique. L'astronome qui avait fait des études pastorales savait dépasser le cadre étroit et rigide de "l'astrologie judiciaire" ou science des horoscopes .

A Graz, Kepler devait aussi enseigner mais les élèves étaient peu nombreux, le niveau des études était assez bas et cet enseignement l'ennuyait. Le Mathématicien des Illustres Etats de Styrie disposait donc de loisirs, il avait le temps de méditer. Plus tard, en lisant Sénèque, il retrouverait cette pensée qui avait toujours été la sienne sans l'avoir formulée : "*Le monde serait une pauvre petite chose, si tous les temps à venir n'y trouvaient matière à leurs recherches*"

Le 9/19 juillet 1595 (9 selon le calendrier julien, 19 selon le calendrier grégorien - la réforme n'est pas adoptée partout), "*je découvris ce secret, et, me mettant immédiatement à l'étude de ce secret, au mois d'octobre suivant, dans la dédicace de mon Pronostic de l'année, que je devais de par ma fonction composer, je promis d'éditer un petit ouvrage pour annoncer publiquement combien lourde était pour un amant de la philosophie comme moi de faire des prophéties.*"

Quel est donc ce secret dont va dépendre toute la carrière de Kepler ? Simplement, cette idée merveilleuse qu'il y a six planètes dont les orbites circulaires autour du Soleil (selon le modèle copernicien) peuvent être portées par six sphères centrées sur le Soleil et

enveloppées par la septième sphère porteuse des étoiles ; ces six sphères porteuses des planètes ménagent entre elles cinq intervalles où viennent se glisser par la pensée du mathématicien les cinq polyèdres réguliers convexes que connaissait déjà Pythagore et que Platon appelait corps parfaits. Un tel agencement n'est-il pas merveilleux ? N'est-il pas le témoignage de l'harmonie voulue par le créateur ? Etudier ce modèle, préciser où se place le tétraèdre ou l'octaèdre, etc, confronter ces constructions géométriques aux données que les astronomes ont accumulées depuis des siècles, n'est-ce pas une tâche autrement exaltante que de calculer la date de Pâques ?

N'est-ce pas être fidèle à l'enseignement des Anciens (préoccupation normale d'un savant de la Renaissance), aussi bien celui de Platon que celui de Copernic (préoccupation audacieuse d'un futur savant du dix-septième siècle) que de consacrer désormais tout son temps à ce petit ouvrage, **Prodrome aux dissertations cosmographiques contenant le secret du monde** ? Quand Kepler fera paraître une nouvelle édition en 1621, il pourra écrire : "*toute ma vie, mes études et mes ouvrages tirent leur explication de cet unique petit ouvrage.*"

## 2 - L'édition du livre

La découverte de juillet 1595 était certainement l'aboutissement d'une longue réflexion sur ce thème : six planètes, cinq corps parfaits, il doit y avoir une relation. Ainsi va la découverte, récompense non promise aux idées folles mais récompense assurée à ceux qui savent exploiter les idées folles. La rédaction que Kepler entreprit aussitôt dut être rapide, dès la fin de l'année il partit pour Tübingen afin de soumettre son ouvrage à son maître Maestlin. Il fut bien reçu et même félicité. Maestlin s'employa sans tarder à trouver un éditeur.

On comprend que là commencèrent les difficultés et les obstacles les plus divers. "*Les imprimeurs craignent de perdre de l'argent*" écrit Kepler. "*Il y avait même des gens qui, poussés par l'absurdité de l'opinion de Copernic, tentèrent de se mettre en travers de mes efforts.*" C'est encore le jeune Kepler qui parle ainsi et témoigne de la charmante candeur du savant. Au bout de deux mois, Kepler est découragé et rentre à Graz mais, heureusement, le fidèle et dévoué Maestlin poursuit ses démarches et réussit finalement à faire éditer le livre à la fin de l'année 1596. L'ouvrage figure à la foire de Francfort de 1597, avec certains défauts comme celui de porter, à la page de titre et pour le nom de l'Auteur, non pas KEPLERVS mais REPLEVS.

Le livre reçut un très bon accueil de Galilée (à Padoue), de Ursus (à Prague); de Linnaeus (à Iéna) mais Kepler fut déçu que l'avis de Tycho Brahé tardât à lui parvenir. La raison était pourtant extérieure au contenu de l'ouvrage et provenait des circonstances de la vie de Tycho Brahé, contraint à ce moment de quitter le Danemark pour se réfugier à Prague. Quand l'avis de Tycho Brahé sur le **Prodrome** parvient enfin à Kepler, celui-ci raconte : "*Brahé me conseillait d'abandonner les spéculations a priori pour tourner plutôt mon esprit vers les observations qu'il m'offrait en même temps ; puis, ayant fait les premiers pas dans ces observations, de remonter seulement après vers les causes, et d'essayer quelque chose de ce genre dans le cadre de son hypothèse qu'il regardait comme plus vraie que celle de Copernic ; enfin, il m'invitait à le rejoindre...*"

On comprend que l'observateur émérite Brahé fût un peu agacé par les constructions géométriques imaginées par Kepler et imprégnées des idées de Copernic. Alors que Brahé, comme c'est bien naturel, tenait à son propre système. Il se montre pourtant fort généreux auprès du jeune théoricien. L'Histoire, comme on sait, arrangera bien les choses : alors que les deux tempéraments très opposés de l'observateur riche d'une longue expérience et du jeune théoricien conduisait inévitablement vers des conflits difficiles, le destin voulut que l'ainé disparaisse peu après leur réunion, laissant au jeune Kepler la plus belle moisson de données alors disponibles.

On peut donc légitimement penser que l'heureuse conjonction de Tycho Brahé et de Johann Kepler fut grandement favorisée par la publication du **Prodrome**. Telle est la marque du génie : il publie un petit livre, la publication entraîne un changement dans sa destinée, l'ouvrage inaugure une oeuvre. N'est-ce pas la justification de ce feuilleton ?

(à suivre)

K. Mizar

## Petite mécanique céleste

Simulation sur calculatrice graphique Ti-81

**Pierre Lerich** (Lille)

Les calculatrices graphiques ont profondément renouvelé l'art de la bataille navale au lycée. On n'entendra plus dans le fond des classes "B4... sous-marin coulé !" Aujourd'hui cela se passe en silence, c'est électronique. Outre cette utilisation ludique, ces calculatrices peuvent éventuellement servir à diverses activités scientifiques.

A mi chemin entre le ludique et le scientifique, voici un petit jeu distrayant mais quand même instructif, consistant à simuler la marche d'une planète troublée par une perturbation centrale et décrivant une ellipse dont les apsides tournent lentement.

1 - Il convient de préparer d'abord la calculatrice. On sélectionnera dans le menu "MODE" : RAD PARAM CONNECTED GRID OFF.

2 - Par la touche "RANGE" on définira :

$$T \text{ min} = 0 \quad X \text{ min} = -6 \quad Y \text{ min} = -4$$

$$T \text{ max} = 100 \quad X \text{ max} = 6 \quad Y \text{ max} = 4$$

$$T \text{ step} = .1 \quad X \text{ scl} = 1 \quad Y \text{ scl} = 1$$

3 - Il reste à introduire les fonctions graphiques par la touche "Y" :

$$X1T = 3(1 - A \cos BT) \cos T$$

$$Y1T = 3(1 - A \cos BT) \sin T$$

4 - On choisira pour commencer les constantes :

$$0.3 \text{ STO } A \quad ; \quad 1,1 \text{ STO } B$$

Précisons que A définit l'excentricité et B la vitesse de rotation de la ligne des apsides.

B - Presser "GRAPH" et observer le résultat. Arrêter par "ON" après un certain nombre de tours, car au bout de 100 radians le graphe ressemblerait plutôt à un vieux pneu calciné, vestige d'une manif.

On essaiera à volonté d'autres constantes A et B et c'est là que réside tout l'intérêt du jeu. Il faut noter que pour  $A > 0.5$  la courbe dégénère progressivement en série de cardioïdes et pour  $A > 1$  en limaçons de Pascal, ce qui n'a plus rien à voir avec la mécanique céleste. Pour  $A < 0.5$  la trajectoire décrite est celle d'une planète qui serait attirés par un astre central selon une loi légèrement différente de l'inverse du carré de la distance (par exemple à la puissance  $-2,1$  au lieu de  $-2$ ). Ce sujet a été superbement étudié par Newton selon la méthode géométrique (*Principia*; livre I section IX) et par Tisserand, Danjon et bien d'autres sans doute par la méthode analytique.

(mai 1994)

## Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

**La passion des astres au XVII<sup>ème</sup> siècle** - De l'astrologie à l'astronomie par Micheline Grenet ; préface par Jean-Claude Pecker ; collection "La vie quotidienne", 296 p. ; édition Hachette 1994 (95 F).

Quel joli petit livre, de lecture aussi plaisante qu'instructive ! A le suivre, on comprend mieux comment ce grand siècle scientifique que fut le dix-septième nous a façonnés et nous fascine toujours. Ne soyons pas pointilleux sur les dates, Micheline Grenet traite de l'époque qui va de 1620 à 1738, des débuts de la diffusion des idées de Kepler et de Galilée à l'apogée de celles de Newton, avec, en toile de fond, tous les avatars des tenants de la pensée magique.

L'Auteur, qui a soutenu une thèse de doctorat es-Lettres sur astronomie et astrologie au XVII<sup>ème</sup> siècle, présente ici son sujet sous la forme d'un récit très vivant illustré de citations bien choisies. Trois grandes périodes sont distinguées, avant la prise de pouvoir de Louis XIV, puis la partie faste du règne, puis la fin qui est aussi l'annonce du temps des lumières.

De 1620 à 1660, la tradition astrologique si prospère du temps de Catherine de Médicis, est encore très pesante. En témoigne l'affaire du tract faussement attribué au savant Argolin de Padoue qui représentait l'éclipse du 12 août 1654 comme prodrome du jugement dernier. L'astronome Jean-Baptiste Morin qui est aussi abbé et astrologue convaincu voit dans ce tract une provocation de son ennemi Gassendi (en ce temps-là, savez-vous, on se chamaillait et on se jalousait dans le petit monde des savants) ; sur la demande de Mazarin, Gassendi accepta de répondre anonymement au tract pour rassurer le commun peuple. L'astronome Ismaël Boulliau qui était aussi ecclésiastique fut à cette occasion plus courageux et en profita pour dénoncer les superstitions populaires.

Dans le monde savant, on est pour ou contre l'héliocentrisme ; le conflit est inévitable avec la religion. "*Vérité sur le plan de la raison, erreur sur le plan de la foi, le problème de l'héliocentrisme est exemplaire de la double vérité (appel à l'expérience sensible pour la science, aux données du coeur pour la religion) solution très prisée au XVII<sup>ème</sup> siècle.*" Pascal distingue "les sciences de raisonnement" où seules la raison et l'expérience mènent à la connaissance et les "sciences d'autorité" comme la théologie fondée sur la tradition. Gassendi, dans sa leçon inaugurale au Collège de France choisit courageusement de ne pas choisir, il présente les systèmes de Ptolémée, de Copernic et de Tycho Brahé en s'attardant tout de même sur celui de Copernic. En 1643, Roberval traduit Aristarque. Et dans sa XVIII<sup>ème</sup> lettre provinciale, Pascal présente une argumentation imparable : "*Ce fut en vain que vous obtîntes contre Galilée ce décret de Rome qui condamnait son opinion touchant le mouvement de la Terre. Ce ne sera pas cela qui prouvera qu'elle demeure en repos ; et si l'on avait des observations constantes qui prouvassent que c'est elle qui tourne, tous les hommes ensemble ne l'empêcheraient pas de tourner, et ne s'empêcheraient pas de tourner avec elle.*"

A côté des échanges entre savants, l'action et l'oeuvre de Cyrano de Bergerac apportent au débat une autre tonalité. Celle d'un esprit libre - on disait alors de l'homme qu'il était un libertin - sachant écrire et se moquant des interdits. Il était aussi poète et avait beaucoup d'imagination. Il introduit un mode nouveau d'information, la vulgarisation. Ses contemporains ne sauront pas assez profiter de ses leçons.

Dans la période suivante que définit M.Grenet, de 1660 à 1681, le règne de Louis XIV connaît ses années fastes. Le contraste est d'autant plus frappant entre l'avancement des esprits dans le monde savant et la survivance des pires superstitions dans la plus grande partie de la population, y compris chez ceux qu'on appelait alors les "grands" et qui se croyaient en effet de nature particulière. Chez les savants, l'héliocentrisme ne fait plus question. Colbert décide le roi à créer l'Académie des Sciences et à fonder l'Observatoire de Paris. Autrement dit, les responsables politiques commencent à penser qu'une certaine organisation de la recherche scientifique serait favorable au progrès des idées. Mais à la

même époque, l'ironie de La Fontaine sur les "fiseurs d'horoscopes" n'empêche pas les devineresses et autres sorcières de se lancer dans des pratiques coupables qui vont jusqu'à compromettre Mme de Montespan dans la sinistre affaire des poisons.

Micheline Grenet fait une juste place à l'influence heureuse de Mme de La Sablière qui protégea La Fontaine et fit publier deux ouvrages de bonne vulgarisation, **Abrégé de la philosophie de Gassendi** par Bernier et **Entretien sur l'opinion de Copernic touchant à la mobilité de la Terre** par Jeanne Dumée. Vulgarisation qui n'empêche pas les débordements des amateurs de magie. L'affaire des poisons et de nouveaux débordements de superstition à propos de la comète de 1680 entraînent l'ordonnance royale de 1682 contre les charlatans et les empoisonneurs qui devrait marquer la faillite définitive ou officielle du système astrologique. Il faut, hélas, ajouter "officielle" car, par la voie des colporteurs qui parcouraient les campagnes (comme aujourd'hui nos télévisions dans tous les foyers ruraux ou citadins) le virus des croyances astrologiques reste vivace.

La troisième période définie par Micheline Grenet, - 1681-1738 - est celle de la fin du grand règne avec ses misères et son orientation catastrophique. Louis XIV avait appelé en France des savants comme Cassini, Huygens, Roemer ; la révocation de l'Edit de Nantes chasse ces deux derniers. Louvois, qui a remplacé Colbert, fait preuve de plus d'autorité que de lucidité dans les problèmes de la science. Heureusement, les grands progrès sont acquis, catholicisme et rationalisme se retrouvent dans le même rejet de l'astrologie. Malebranche sait exprimer le refus définitif de la pensée magique.

S'annonce, se prépare le temps des Lumières. Lemonnier sera astronome personnel du roi Louis XV. Par un curieux renversement des tendances, après avoir été interdit, le cartésianisme est généralement répandu et enseigné et cela juste au moment où, chez beaucoup d'académiciens devenus vieux cela les empêchera d'assimiler les idées de Newton. L'esprit critique de Bayle alimente heureusement la fameuse querelle des Anciens et des Modernes. C'est l'époque de Fontenelle. Celui-ci reste attaché au cartésianisme mais en même temps il inaugure un genre qui sera souvent honoré, en France, dans l'histoire des sciences, celui du savant-écrivain. Il note fort pertinemment : "*Ce n'est pas assez de savoir qu'on ne s'est pas égaré, il faut encore pour une plus grande assurance, savoir ce qui a égaré ceux qui ne sont pas arrivés au même but.*"

Ce joli petit livre, ne le manquez pas. Vous y trouverez confirmation de la chance que nous avons : vivre en 1994 nous donne sur le XVII<sup>ème</sup> siècle une vision perspective encore plus instructive que tout ce que pouvait en penser Fontenelle.

G.W.

**Comment utiliser le Planétarium** lorsque l'on n'est pas scientifique - Brochure multiconopiée co-production de la Mission Académique à l'Action Culturelle du Rectorat et de l'Espace Pierre Mendès-France de Poitiers.

Présentée à la dernière Assemblée Générale de l'Association des Planétariums de Langue Française, en mai dernier, cet épais recueil de fiches propose une approche originale de l'astronomie. Réalisé par une équipe pluridisciplinaire et conçu pour les non-scientifiques, l'ensemble se divise en cinq sections : les mots, la poésie, la mythologie, la philosophie et les arts. Dans chaque section, des fiches "Prof" complètent les fiches "Elèves" suggérant diverses activités. L'ensemble est abondamment illustré par une sélection judicieuse de textes littéraires et philosophiques. On appréciera au passage la place réservée à Lamartine et à Cyrano de Bergerac mais les esprits pointilleux regretteront quand même l'absence des *Lettres philosophiques* dans lesquelles Voltaire traite de Newton et de la gravitation. La dernière section sur la musique et la peinture n'est pas la moins intéressante : on y relèvera des activités stimulantes comme imaginer un planétarium musical ou encore rechercher dans un dictionnaire d'art contemporain les peintures qui correspondent le mieux à la conception que l'on se fait de l'Univers. C'est un superbe travail et on en regrette d'autant plus quelques petites imperfections dans la présentation : il y a occasionnellement des feuillets manquants ou doublés. Cela ne retire rien à la qualité du contenu. Les activités proposées s'adressent surtout aux élèves des

Collèges et des Lycées bien que quelques fiches soient spécifiquement consacrées à l'école primaire. On peut tirer profit de cette brochure, même si on n'a pas la chance de disposer d'un plan étaireum. Bien noter également qu'elle n'est pas disponible dans le commerce ; pour se la procurer, consulter l'Espace Mendès-France, 1 place de la Cathédrale, 86000 Poitiers (tél 49 50 33 00 - Fax 49 41 38 56).

Jacques Vialle

**Poussières d'étoiles** par Hubert Reeves ; collection "Points Sciences" n°100 ; 256 p. ;  
édition Seuil 1994

Il ne s'agit pas ici d'un nouvel ouvrage mais d'une réédition économique dans la collection "Points Sciences" d'un livre portant ce même titre qui était richement illustré de photos en couleurs et dans lequel Hubert Reeves présentait, avec la fougue qu'on lui connaît, l'Univers tel que le voient les astronomes contemporains. Livre de vulgarisation par conséquent, qui manquait partiellement son but dans sa première édition à cause de son grand format et de son prix.

L'éditeur, voulant marquer d'une pierre blanche le numéro 100 de sa collection "Points Sciences" a eu l'idée de rééditer le grand livre sous petit format en conservant les photos en couleurs comme sans doute cela fera l'attrait des prochains livres de cette collection de poche. Profitons-en pour en rappeler quelques bons titres : n°23 Richard Feynman **La nature de la physique**, n°28 Bernard Maitte **La lumière**, n°85 Jean-Pierre Luminet **Les trous noirs**, n°95 Bernard Cohen **Les origines de la physique moderne**.

Avec la réédition de **Poussières d'étoiles** dans une collection de poche, cet ouvrage se trouve dans la forme qui lui convient. La technique fait que la qualité des images ne perd pas trop de leur attrait du fait de la réduction du format. Quant au texte, c'est de la vulgarisation Reeves et comme on sait, depuis Cyrano de Bergerac et Fontenelle, en passant par Arago, Camille Flammarion et Paul Couderc, chaque vulgarisateur a son style, ses admirateurs et ses puristes plus réservés. Reconnaissons que la science leur doit beaucoup et pour prendre une comparaison dans un autre domaine, croyez-vous que la biologie moléculaire connaîtrait le même renom si Jean-Henri Fabre et Jean Rostand n'avaient pas attiré notre attention dans la bonne direction ?

G.W.

**Les volcans du système solaire** par Charles Frankel ; collection "Espace" 294 pages ; édition Armand Colin 1993 (ISBN 2-200-21137-6)

Nous commençons tout juste à prendre conscience que notre Terre est une planète du système solaire. En particulier, les images transmises par les diverses sondes ont montré que notre planète n'a pas le monopole des phénomènes volcaniques. Dans un ouvrage très clair et bien construit, l'Auteur explore le volcanisme des autres corps du système solaire, partant des édifices somme toute encore assez "classiques" des planètes telluriques pour finir sur les geysers de soufre de Io et sur des manifestations plus exotiques encore comme les volcans d'azote de Triton. Ce livre est un vrai régal pour quiconque s'intéresse aux volcans. Il a le mérite de replacer le volcanisme terrestre comme une manifestation particulière d'un phénomène universel, au moins à l'échelle du système solaire. Abondamment illustré (notamment par seize superbes images en couleurs hors texte), il reste accessible à tous. Lecture recommandée.

J.V.

**Chronique de l'espace-temps** – Du vide quantique à l'expansion cosmique par Alain Mazure, Guy Mathez et Yannick Mellier ; cahier n°3 des Sciences de l'Univers sous l'égide du Bureau des Longitudes ; 196 p.; édition Masson 1994 (170 F).  
**Ephémérides astronomiques 1995** – 304 p.; édition Masson 1994 (195 F).

On sait que le Bureau des Longitudes dont on fêtera en 1995 le deuxième centenaire fut fondé par la Convention Nationale à la charge de publier un *Annuaire "propre à régler ceux de toute la République"*. Depuis 1976, devant l'enrichissement des Annuaire d'année en année (ce qui fait de leur collection une mine de précieux renseignements), il a paru nécessaire de scinder l'ensemble de cette documentation en deux publications :

– **Les Ephémérides astronomiques** comme ce volume **1995** qui vient de paraître ( et où nous apprenons que le 10 octobre 1995 à 12 h UT commencera le 2 440 001 ème jour julien ; autrement dit, le 9 octobre sera un jour julien dont le rang se termine par quatre zéros, ce qui arrive tous les dix mille jours ce qui n'était pas advenu depuis 1968).  
– **L'encyclopédie scientifique de l'Univers** qui comporte quatre volumes, 1) la Terre (1977, réédité en 1984), 2) les étoiles et le système solaire (1979 et 1986), la Galaxie et l'univers extragalactique (1980 et 1988), la Physique (1981). Grâce aux révisions et rééditions cette Encyclopédie est et demeure un ouvrage de référence.

Pour donner une suite à l'Encyclopédie, le Bureau des Longitudes a décidé de publier des **Cahiers des sciences de l'Univers** sur des sujets particuliers. Ont ainsi paru : **Les profondeurs de la Terre** par J-P.Poirier (1991) et **Stratosphère et couche d'ozone** par G.Mégie (1992). Voici donc en 1994 le troisième cahier d'un intérêt exceptionnel pour nous puisqu'il traite de la cosmologie qui avait été sommairement abordée dans trois chapitres du troisième tome de l'Encyclopédie. Pour que les lecteurs des **Cahiers Clairaut** se fassent une idée précise du contenu de cette "Chronique de l'espace-temps" (titre heureusement choisi !), voici le sommaire de l'ouvrage :

1. Comment décrire l'Univers ?
2. Il faut qu'un Univers soit ouvert ou fermé.
3. Des modèles aux grandeurs observables.
4. L'illusion des années soixante, la fin de la cosmologie.
5. La machine à remonter le temps.
6. De la gravitation quantique à l'apparition de la vie.
7. Les malheurs du modèle standard.
8. Structurer l'Univers : la nouvelle cosmologie.
9. Formation des grandes structures.
10. Les lentilles gravitationnelles.
11. Etat des lieux, prospective et conclusions.

Je n'ai pas compétence pour analyser en détail le contenu de tous ces chapitres. Je tire profit pourtant par exemple des appendices. Le premier concerne les grandeurs utiles en cosmologie ; en ce domaine, ce sont les ordres de grandeur qui importent, il faut faire effort pour oublier la condition humaine (taille et durée de vie d'un individu) pour se familiariser vraiment avec l'échelle astronomique. Un photon met 1.3 seconde à parcourir la distance Lune-Terre, 82 000 ans à traverser diamétralement la Galaxie, 2.2 millions d'années à venir de la galaxie d'Andromède jusqu'à nos télescopes, des Giga ans à venir des lointains amas de galaxies.

Le second appendice nous rappelle que si la réflexion cosmologique fut longtemps réservée aux philosophes et aux religions, depuis 1912, des progrès dans les techniques d'observation ont permis l'exploration systématique de l'univers extragalactique et la cosmologie observationnelle est née. Le XX ème siècle aura été celui de la cosmologie.

Ce livre, par le niveau abordé, n'est donc pas d'une lecture facile pour qui n'est pas spécialiste. Il apporte pourtant beaucoup grâce à des encadrés sur des sujets fondamentaux qui ont été particulièrement soignés. Ouvrage de référence pour spécialistes, il offre beaucoup à glaner à qui ne l'est pas. Exemples : "Décalage spectral, paramètres cosmologiques et temps cosmique" ou encore "Quelle est la densité moyenne de l'Univers ?"

Le dernier chapitre "Prospective et conclusions" est plus prospectif que conclusif, ce qui me semble la sagesse. Les recherches cosmologiques ne sont plus ne seront plus l'apanage de savants isolés (comme Henri Poincaré quand il professait, en 1911 ses **Leçons sur les**

**hypothèses cosmogoniques**), c'est une oeuvre collective. On peut dire que toute l'humanité y contribue, directement ou indirectement, depuis ceux qui fabriquent les instruments d'observation (des télescopes de plus en plus grands, des récepteurs de plus en plus perfectionnés et sensibles, des sondes spatiales qui récoltent des données dont on ne soupçonnait pas, il y a seulement quelques années, qu'elles seraient accessibles à la mesure) jusqu'à ceux qui interprètent ces données presque surabondantes, en passant, ne les oublions pas, par tous les bons ouvriers de la physique et de l'informatique. L'Astronomie comme toute la science a toujours eu ce caractère d'ouvrage de l'humanité. Avec la cosmologie, cette évidence prend un caractère plus passionnel parce qu'il s'agit de l'origine passée de l'Univers et de la vie, de notre destin collectif. Nous voulons bien, chacun de nous, n'être qu'une petite fourmi ouvrière dans la grande recherche, seulement capable d'en apercevoir un aspect très limité dans l'espace et dans le temps pourvu que nous ayons le moyen de nous reconnaître comme un élément du tout, comme Goethe le disait si bien.

G.W.

**Des ballons pour la science** - BT n°1056. Un reportage conçu par Jean-Pierre Penot et Michel Audebert (CNES), 32 pages. Notes sur Kepler(6p.), la Terre(4p.) et le satellite SPOT3 (4p.).

**Les outils de l'astronomie** - BT2 n°265 par Jean-Yves Marchal - 48 pages

Pour ces deux ouvrages, rappelons que les BT et BT2 sont des publications de l'Ecole Moderne Française, parc de l'Argile, 06370 Mouans-Sartoux.

### DANS LES REVUES

**Journal des Astronomes Français** (n°46, mai 94) - Information sur le centre ISO français (C et D Cesarsky). Le satellite infrarouge ISO de l'Agence Spatiale Européenne, lancement prévu pour septembre 1995, comportera quatre instruments : ISOCAM, imagerie entre 2.5 et 18 microns ; LWS spectromètre grandes longueurs d'onde (45-200 microns) ; PHT photopolarimètre (2.5 - 240 microns) et SWS spectromètre courtes longueurs d'onde (2.3 - 45 microns)

**L'Astronomie** - Mai 94 - Matière sombre et gravitation (S.Zylberjach) - Lumière et gravitation à la fin du 18 ème siècle (J.Eisenstaedt)

Juin 94 - Le volcanisme sur Io (P.Descamps, J-E.Arlot, W.Thuillot) - Une autre hypothèse sur la matière noire : l'hydrogène moléculaire (J.Lequeux)

Juillet-Août 94 - L'homme sur la Lune, 25 ème anniversaire.

**Pour la Science** - Mai 94 (n°199) - Le manteau de la Terre sous les océans (Enrico Bonatti) - Ida, Galilée et la Lune (la sonde Galileo a révélé que l'astéroïde Ida avait un satellite ; quand Galileo donnera les éléments de l'orbite de ce satellite, on pourra calculer la masse de Ida, donc sa densité).

- Juin(n°200) - La mission Pioneer vers Vénus (J.Lehmann, J.Pollack, L.Colin)

- Juillet (201) - Images de l'Univers et conquête spatiale (J.Hardy)

- Août (202) - La course à la Lune (J.Logsdon, A.Dupas) - L'optique adaptative (J.Hardy)

**Dossier de Pour la Science : La physique quantique** - Préface par A.Abragam. Plusieurs articles historiques importants : Faust à Copenhague (F.Balibar) ; Erwin Schrödinger, un philosophe (M.Pasdeloup) ; Herner Heisenberg (D.Cassidy) ; Louis de Broglie (R.Daudel) ; Paul Dirac (C.Hovis et H.Kragh) - Tout un dossier à ne pas manquer.

**Ciel et Espace** - Mai 1994 - Six petites planètes au-delà de Pluton

Juin-Juillet 94 - Numéro spécial sur Mars ; préface par Carl Sagan ; tout un dossier enrichi d'un planisphère de la planète.

Août 94 - Sur la collision Comète Jupiter (A-C. Lévasseur-Regourd)

**Andromède** - Il faut saluer la publication des numéros 3 et 4 de la nouvelle revue de l'Association Astronomique de Bulgarie. Dans ce numéro 3 un article sur Camille Flammarion.

**Gnomon** - newsletter of the Association for Astronomy Education qui exerce en Grande-Bretagne une action semblable à celle du CLEA.

## Le cercle répétiteur de Borda

*N.D.L.R. Un lecteur des Cahiers Clairaut avait demandé des précisions sur l'utilisation du cercle répétiteur de Borda. Nous devons à l'obligeance de Mademoiselle Suzanne Débarbat, Astronome titulaire à l'Observatoire de Paris, le document que voici. Qu'elle en soit vivement remerciée.*

Le cercle répétiteur, imaginé par Mayer et repris par Borda, consiste en un cercle gradué porté par un pied qui permet de lui donner toutes les orientations possibles ; il est muni de deux lunettes à réticule destinées à viser les côtés de l'angle à mesurer. Le cercle gradué peut tourner dans son plan autour d'un axe qui lui est implanté perpendiculairement, en son centre, de sorte que l'on peut amener le plan du cercle à avoir telle direction que l'on veut.

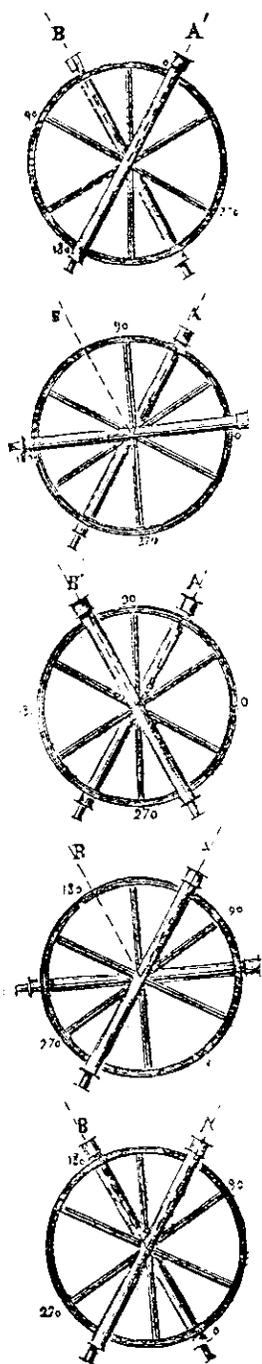
Une première lunette est installée sur la face supérieure du cercle, suivant un de ses diamètres, et peut tourner librement autour de son centre, sans l'entraîner. Une seconde lunette est adaptée de même sur la face inférieure du cercle ; mais elle est placée à côté de l'axe diamétral du cercle, autour duquel elle peut également tourner librement et indépendamment de celui-ci. La position excentrique de cette lunette inférieure n'empêche pas de l'utiliser comme si elle était dirigée suivant un diamètre ; il n'en résulte aucune erreur appréciable dans l'observation des astres, ou des objets terrestres suffisamment éloignés.

Lorsque le plan du limbe du cercle gradué a été amené dans une direction convenable, au moyen des mouvements qu'il peut prendre autour de ses différents axes, on le bloque en se servant des vis de pression. Dès lors le cercle ne peut plus prendre de mouvement que dans son plan ce qu'il effectue en entraînant les deux lunettes ; ces dernières peuvent se mouvoir seule autour de leur centre ou être bloquées par des vis de pression. Chacun de ces trois mouvements, du cercle avec les lunettes, et de l'une ou l'autre des lunettes indépendamment du cercle, peut s'effectuer en deux fois : rapidement d'abord, avec la main, pour donner au cercle ou aux lunettes à peu près la position qu'on veut leur faire prendre ; ensuite lentement, au moyen d'une vis de rappel, pour les amener exactement dans cette position. Voici la disposition adoptée à cet effet pour chacune des lunettes.

Le cercle répétiteur, comme son nom l'indique, permet de mesurer un angle , en appliquant le principe de la répétition des angles. Soient A et B, les deux points très éloignés correspondant aux angles à mesurer. Après avoir placé la lunette supérieure du cercle de manière que son index coïncide avec le zéro de la graduation, et l'avoir fixée au cercle dans cette position, on dispose le cercle dans le plan de l'angle, et on le fait tourner dans ce plan, jusqu'à ce que la lunette supérieure soit dirigée vers le point A ; on fait ensuite mouvoir la lunette inférieure seule, de manière à la diriger vers le point B. Lorsque le cercle a été amené dans cette position et que les lunettes ont été ainsi dirigées suivant les deux côtés de l'angle, on fait tourner le cercle, avec les deux lunettes, jusqu'à ce que la lunette inférieure soit dirigée vers le point A ; on fixe alors le cercle, on détache la lunette supérieure, et on l'amène à être dirigée vers le point B. Il est bien clair que, dans ce mouvement, la lunette supérieure décrit un angle double de celui que l'on cherche, et que son index parcourt sur le limbe un arc exactement de mesure à cet angle double : en lisant le nombre de degrés, minutes et secondes, auquel correspond la nouvelle position de cet index sur le limbe, et divisant ce nombre par 2, on aura déjà la valeur de l'angle cherché. Mais si l'on ne se contente pas d'avoir doublé l'angle, si on veut avoir un plus grand multiple, on continuera l'opération de la manière suivante.

Le cercle et les lunettes se trouvant dans la position précédente, on fait tourner le tout dans le plan de l'angle, c'est à dire autour de l'axe du cercle ; jusqu'à ce que la lunette supérieure soit dirigée de nouveau vers le point A. On détache ensuite la lunette inférieure, et on la fait tourner seule de manière à la ramener vers le point B. L'instrument se retrouve

exactement comme il était antérieurement avec cette différence que l'index de la lunette supérieure n'est plus au zéro de la graduation, mais se trouve à une distance angulaire de ce zéro égale au double de l'angle cherché. On peut donc partir de cette position du cercle et des lunettes, comme on est parti de la première position, pour faire une opération identique à celle que l'on a déjà effectuée ; on fera ainsi parcourir, à l'index de la lunette supérieure, un arc du limbe gradué précisément égal à celui qu'il a déjà parcouru : c'est à dire qu'à la fin de cette seconde opération, l'index se trouvera à une distance angulaire du zéro égale à 4 fois l'angle cherché.



En répétant encore les mêmes manoeuvres, autant de fois que l'on voudra, on fera parcourir à l'index de la lunette supérieure, à partir du zéro de la graduation, un arc total 6 fois, 8 fois, 10 fois... plus grand que celui qui correspond à l'angle dont on veut déterminer la valeur. Cet arc total se composera généralement d'un certain nombre de circonférences entières, et d'une portion de circonférence dont on trouvera la grandeur d'après la position que l'index occupera parmi les divisions du limbe. Le nombre de degrés, minutes et secondes, représentant la valeur du multiple de l'angle cherché que l'on a fait décrire à la lunette supérieure, divisé par le nombre qui marque ce multiple, permettra d'en conclure la valeur de l'angle cherché.

Par la répétition des angles, on constate que l'erreur de lecture se trouve diminuée puisque l'erreur commise dans la lecture d'un angle dix fois, vingt fois... plus grand que l'angle cherché, est du même ordre de grandeur que celle que l'on commettrait dans la mesure directe de cet angle, et qu'elle se trouve divisée par 10, 20... Mais il n'en est pas de même de l'erreur de pointé qui se produit chaque fois qu'on fait une nouvelle visée. En sorte que, si toutes les erreurs de pointé, que l'on commet successivement, étaient de même sens et égales entre elles, il en résulterait en définitive, pour l'angle cherché, la même erreur que si l'on s'était contenté de le mesurer sans employer le principe de la répétition. L'erreur de pointé est atténuée, par la répétition des angles, dans la mesure où les erreurs commises dans les opérations successives se trouvent les unes dans un sens, les autres en sens contraire.

[d'après Cours élémentaire d'astronomie, concordant avec les articles du programme officiel pour l'enseignement de la Cosmographie dans les lycées par Ch Delaunay, édition Masson et Garnier, Paris 1860]

Légende de la figure : positions successives du cercle et des lunettes

---

## LUMIERE ET GRAVITATION

### CAHIERS CLAIRAUT HORS SERIE N°5

Onze fiches pédagogiques adaptées aux programmes de Physique du Lycée

Franco de port pour les abonnés : 65 francs - Pour les autres 75 francs

Disponible à la rentrée

## Comment nourrissait-on les chevaux à Magdebourg ?

Question insolite dans les **Cahiers Clairaut**. Elle est provoquée par la publication dans **Ciel et Espace** (juin 1994) d'un ensemble d'articles sur "Les métamorphoses du vide". Une illustration reproduisait une image tirée de "*Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio*", ouvrage publié par Otto von Guericke en 1672, et qui représentait sa célèbre expérience des hémisphères de Magdebourg. Rappelons que sur cette image, on voit deux attelages de huit chevaux apparemment vigoureux tenter en vain de séparer deux hémisphères accolés à l'intérieur desquels un vide a été poussé autant qu'on pouvait le faire à l'époque.

Notre ami Maurice Carmagnole nous écrit à ce sujet : "*Cette image avait frappé mon esprit critique de lycéen... Je n'ai pu obtenir d'aucun professeur la moindre indication sur le diamètre de la boule afin de passer au crible du calcul cette vérité imposée... Car enfin, un cheval, c'est costaud. Alors seize chevaux en un temps où le vide dans la boule était loin de la perfection ? Une boule d'un mètre de diamètre, c'est à peu près deux tonnes par cheval... Alors, les chevaux étaient-ils mal nourris ?*"

\* \* \*

La rédaction des **Cahiers Clairaut** a jugé intéressant de répercuter la question de l'ami Maurice. Et avant même d'en avoir trouvé réponse, d'ajouter les siennes :

Q1 - Quelles sont les expériences qui peuvent être réalisées en classe pour reprendre l'idée de Otto von Guericke ?

Q2 - Quelles sont les références que vous recommanderiez à qui voudrait se renseigner sur l'oeuvre scientifique d'Otto von Guericke ?

\* \* \*

Voici ce que nous trouvons sur Otto von Guericke (1602-86) dans **Histoire Générale des Sciences** (Tome II), édition PUF 1958.

Otto von Guericke était bourgmestre de Magdebourg. Intéressé par l'étude du vide, il a multiplié les expériences et celle des fameux hémisphères fut présentée à la Diète de Ratisbonne en 1654 (heureux temps où une assemblée officielle de notables s'intéressait à une expérience scientifique !). Guericke constatait des faits, par exemple la non propagation du son dans le vide ou bien un corps enflammé s'éteint dans une enceinte fermée. Mais c'est Boyle qui a pensé aux vibrations de l'air et l'analyse de la constitution de l'air n'a pu venir que longtemps après lui. Guericke fut un précurseur.

De même en électricité, il imagine une machine qui lui permet de mettre en évidence les phénomènes d'attraction ou de répulsion des corps électrisés. Il pressent même ce que Franklin appellera le pouvoir des pointes. Otto von Guericke était un habile expérimentateur et pas du tout un théoricien. Ses charges de bourgmestre étaient-elles trop absorbantes ?

Selon **Encyclopaedia Universalis**, ce que Guericke a présenté à la Diète, ce n'est pas l'expérience des deux hémisphères mais son premier essai de moyeur à piston, le mouvement de celui-ci étant déterminé par la pression atmosphérique. Dans le cylindre fixé verticalement le long d'une potence, la tige du piston sort vers le haut pour être attachée à une corde. Cette dernière, passant sur une poulie, se termine par vingt élingues que tiennent vingt hommes. Sous le cylindre, et communiquant avec lui, est disposé un récipient où on fait le vide ; l'opération achevée, la pression atmosphérique oblige le piston à redescendre malgré les efforts des vingt hommes pour le retenir. Là ce ne sont plus des chevaux mais des hommes ; étaient-ils eux aussi mal nourris ?

Vous comprenez l'embarras de la rédaction : deux sources a priori fiables mais contradictoires. Si l'un de nos Lecteurs avait été présent lors de la présentation à la Diète, nous ne serions pas dans cette atroce incertitude.

La rédaction

## Un circuit olympique

**Paul Perbost** (Nice)

### 1 - Question d'un astronaute

On apprend que le projet *Arès*, dévoilé par *Les Cahiers Clairaut* (n°64, p.40) est en cours de réalisation. En effet sur la couverture du n°65, humoristiquement dessinée, on voit deux scaphandriers, probablement déposés depuis peu sur Mars, lever les bras au ciel, en signe d'accueil vers les nouveaux arrivants encapsulés dans une navette spatiale crachant le feu de toutes ses rétrofusées avant l'atterrissage sur l'aréodrome local. Affrêtée par le CLEA dont elle porte fièrement la marque, elle amène sur la planète rouge une pléiade d'ingénieurs pacifiques de premier plan. Et depuis le "rebord escarpé" où il se tient, l'un des deux observateurs, à l'extrême droite du dessin, est particulièrement heureux de cette arrivée, car il sait qu'on lui apporte la solution d'un problème qui l'obsède. En effet, ce maniaque de géométrie demande, depuis plusieurs jours martiens, que la station de contrôle de la mission du CLEA veuille bien lui programmer un circuit spécial autour d'Olympus Mons, tel que seule la caldeira sommitale du gigantesque volcan, le plus grand de la planète, y émerge de l'horizon, dans la mesure du possible. On ne tiendra évidemment aucun compte de la réfraction en ces lieux où la pression atmosphérique au sol n'excède pas 6 millibars. Et pour témoigner sa reconnaissance anticipée aux membres de la mission, l'heureux géomètre a demandé au représentant martien de l'U.A.I. (Union Aréonomique Interplanétaire), la faveur de nommer l'éperon rocheux sur lequel il se tient, CLEALIS RUPES. Le petit homme vert, de l'Académie Martienne, a gentiment acquiescé, d'un geste de sa main fleurie. Il est d'ailleurs présent à l'atterrissage du vaisseau, à l'extrême gauche du dessin, pour l'accueil officiel.

Pour résoudre son problème pointu, il connaît le rayon de Mars, que l'on peut arrondir à 3400 km, ce qui est normal pour un astre censé sphérique. De plus, il sait que l'altitude de CLEALIS RUPES est estimée à 200 m, tandis que celle de la colossale fournaise éteinte depuis deux cents millions de lustres culmine vertigineusement à 26 000 m (trois fois l'Himalaya !). Enfin, il se fie aux indications inscrites en "martien littéraire" sur le panneau fléché planté à sa gauche par une équipe d'aréodésiens experts, rompus à la technique du rayon vert, dont ces petits êtres détiennent le secret. Venant du grec *Arès*, Mars, et *daiein*, diviser, le mot aréodésien désigne ce que sur Terre nous appelons géodésiens. D'ailleurs, dans les lignes qui précèdent, on aura rencontré plusieurs néologismes sur ce nom de dieu. Les aréodésiens, donc, estiment à 440 km terrestres la distance de CLEALIS RUPES au sommet d'OLYMPUS MONS.

En essayant de reconstituer les calculs élaborés par quelque membre éminent de l'aréopage de la station de contrôle, non divulgués par la presse, l'auteur de ce bref compte-rendu ose croire que ses sens n'ont pas été par quelque mirage abusés. Qui sait, d'ailleurs, si malgré la ténuité de son atmosphère, Mars n'offre pas de telles fantasmagories aux hardis navigateurs qui osent s'aventurer dans son ciel éthéré ? Mais c'est une autre affaire. Revenons à la question du stationnaire aréomètre. Il aura bien le temps, une fois sa mission accomplie, d'y réfléchir lui-même, dès son retour à sa base de départ, près de l'aéroport.

**2. Réponse de la station de contrôle**

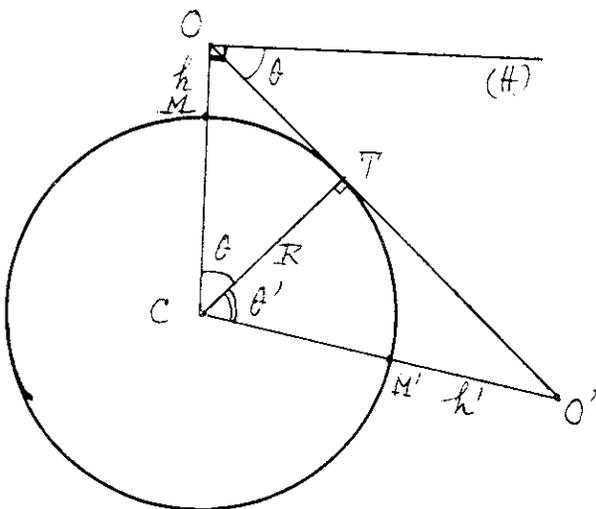
a) Principe de la méthode - La question s'apparente à celle du calcul de la correction qu'il faut apporter à la mesure de la hauteur d'un astre lorsqu'on l'observe, par exemple du pont d'un navire avec un sextant : c'est la dépression,  $\theta$ , des marins. Un traitement trigonométrique approprié, associé aux vertus des petits angles, en vient aisément à bout.

b) Etablissement de la formule générale - La figure représente la section de la sphère

martienne, déterminée par les points C, M et M' désignant respectivement le centre de la planète et les pieds des verticales du spationaute O et du sommet du volcan O', d'altitudes h et h'.

La droite OTO' est tangente en T au grand cercle ainsi défini, de rayon R. Dans ces conditions, le sommet du volcan émerge exactement à l'horizon sensible de l'observateur, dans la direction de (OT), tandis que (H) est son horizon astronomique.

On voudrait connaître la distance OO'. Or celle-ci est peu différente de la longueur de l'arc MM', car les altitudes h et h' sont faibles relativement à R. Il suffit donc d'évaluer les angles au centre  $\theta$  et  $\theta'$  qui sont évidemment petits. Nous effectuons cette détermination



par deux méthodes sensiblement indentiques sur le fond, sinon sur la forme.

1<sup>ère</sup> méthode - Le triangle TOC, rectangle en T, donne

$$CT = CO \cos \theta, \text{ ou } R = (R + h) \cos \theta \quad \text{d'où}$$

$$(1) \quad \cos \theta = \frac{R}{R + h} = \frac{1}{1 + h/R}$$

On en connaît les développements en série suivants :

$$\cos \theta = 1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} + \dots + (-1)^p \frac{\theta^{2p}}{(2p)!} + \dots \quad (\theta \text{ en radians})$$

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x + x^2 + \dots + (-1)^p x^n + \dots \quad (\text{valable pour } -1 < x < 1)$$

De telle sorte qu'en négligeant les puissances supérieures de  $\theta$  et de  $h/R$ , de faibles valeurs,

on puisse écrire avec une précision suffisante la relation (1) :

$$1 - \theta^2/2 = 1 - h/R$$

On en tire

$$(2) \quad \theta = \sqrt{(2h/R)} \quad (\theta \text{ en radians})$$

et de même pour  $\theta'$

2<sup>ème</sup> méthode - Reprenant l'égalité  $R = (R + h) \cos \theta$ , on trouve aisément

$$R = R + h - 2R \sin^2\theta/2 - 2h \sin^2\theta/2$$

Mais comme h est petit devant R,  $\theta$  est lui-même petit et se confond avec  $\sin \theta$ ; ainsi on peut négliger le dernier terme et il reste  $h = 2R (\theta/2)^2$  qui redonne le résultat (2).

Finalement, on obtient la formule générale qui résout la question :

$$(3) \quad \text{arc } MM' = \theta + \theta' = \sqrt{(2h/R)} (\sqrt{h} + \sqrt{h'}) \quad (\theta \text{ et } \theta' \text{ en radians})$$

c) Application à la question du spationaute - Rappelons les données du problème :

$$R = 3\,400\,000 \text{ m} ; \quad h = 200 \text{ m} ; \quad h' = 26\,000 \text{ m}$$

et traduisons le coefficient  $\sqrt{(2/R)}$  en minutes de degré, soit  $\sqrt{(2/R)} = 2',636631414\dots$

Or un angle au centre de l'intercepte sur tout grand cercle de Mars un arc de longueur 989,0199095...m C'est le mille martien, défini comme le mille marin par nos navigateurs. En arrondissant ces flots de décimales inutiles, sortis tout droit d'une calculette généreuse mais bornée, on aura la longueur de l'arc MM' avec toute la précision souhaitable, en limitant la formule à sa partie utile, par exemple comme suit :

$$\text{arc } MM' = 2,6366 (\sqrt{h} + \sqrt{h'}) \times 989,02 \quad (\text{en mètres})$$

Ainsi à partir des données on trouve :

$$\text{arc } MM' = 457\,348,6915 \text{ m}$$

et nous retiendrons pour réponse

$$MM' = 457 \text{ km}$$

### 3. Conclusion

Pour le scaphandrier, juché sur Clealis Rupes comme sur la passerelle d'un navire, la dépression de l'horizon en l'absence de réfraction a pour valeur  $\theta = 2',6366 \sqrt{200} = 37',28$  donc son horizon sensible, c'est à dire la distance de visibilité d'un objet qui "flotterait" à l'altitude zéro sur quelque mer martienne environnante, s'étend à 37,2 milles martiens ce qui représente  $d = 37,2 \times 0,989 = 36,7 \text{ km}$ .

D'autre part, il résulte de la formule générale que pour  $MM' = 440 \text{ km}$ ; la distance marquée sur le panneau fléché, et pour  $h = 200 \text{ m}$ , la hauteur  $h'$  de la montagne cachée sous l'horizon vaudrait environ 23900 m, soit une différence de 2100 m avec l'altitude réelle du sommet de l'Olympe. Par conséquent, depuis son rocher initial, le scaphandrier apercevrait

une bonne partie des zones élevées du volcan, mais certainement pas la totalité du massif. A ce point de vue, le dessin de la couverture, où l'on voit à gauche "les bords de la caldeira du volcan Olympus Mons, dépassant à peine de l'horizon", est donc tout à fait plausible.

Enfin, si l'astronaute obsédé de géométrie, s'obstinait à vouloir passer par tous les points de vue d'où il pourrait apercevoir juste le sommet du volcan, en conservant cependant l'altitude de son site d'atterrissage et si la réalisation de son idée devenait un point de fixation mentale, la station de contrôle ayant déjà pris la mesure de sa dépression, l'autoriserait évidemment à transférer sa cabine sur l'orbite adéquate. Mais il devrait y naviguer en jouant à saute mouton avec le relief, à 200 m au-dessus du sol et à 457 km du sommet visé. L'ensemble des points de vue répondant à sa demande serait alors la réunion des parties circulaires isohypses de sa trajectoire, situées exactement à l'altitude de 200 m relativement au niveau de référence de la planète. Naturellement, au cours de ce périple moutonnant, son vaisseau serait maintenu en piste à la manière d'un toboggan, sous l'action conjuguée d'altimètres stabilisateurs de haute précision à écho radar et de télémètres raffinés à faisceau laser, asservis à un système d'ordinateurs vigilants.

Et au terme de cette partie de montagnes russes, il ne resterait plus au scaphandrier, sain de corps et sauf d'esprit, qu'à revenir sur Terre, heureux d'avoir bouclé le circuit olympique de ses rêves.

P.-S. - Du sommet du volcan, la dépression de l'horizon atteindrait la valeur  $\theta' = 7^{\circ}05'$  et la distance de visibilité s'étendrait à 420 km à la ronde.

**BON DE COMMANDE**

Nom :

Adresse :

je souhaite recevoir l'ouvrage « 18 fiches d'astrophysique » option 1<sup>er</sup> S. - CLEA-BELIN

je joins un chèque de 75F

à renvoyer aux Editions Belin 7. rue Férou 75278 PARIS cedex 06.

**BON DE COMMANDE**

je souhaite recevoir la documentation photographique des fiches CLEA-BELIN

en 10 exemplaires (90 documents) : 40F

en 20 exemplaires (180 documents) : 60F

je souhaite recevoir l'ensemble des 6 filtres et réseau : 65F

je joins un chèque de ..... à l'ordre du CLEA.

je désire recevoir une facture.

Joindre une étiquette autocollante à l'adresse.

A renvoyer à Jean RIPERT-CLEA Impasse des Mouyracs 46090 PRADINES

## Chronique du CLEA – Courrier des lecteurs

**Assemblée générale du CLEA** le dimanche 20 novembre 1994 à l'Université de Paris-Sud 91405 ORSAY.

Vous notez tout de suite cette date pour réserver ce dimanche à la grande réunion annuelle des amis du CLEA.

### Un guide du tourisme astronomique : pourquoi pas ?

Avec l'été, des guides touristiques de toutes sortes fleurissent à nouveau à la vitrine des libraires. Lors des dernières journées de l'APLF, nous avons pu consulter un guide du tourisme astronomique en Allemagne. L'idée nous a semblé excellente et nous pensons qu'un ouvrage similaire pour la France serait précieux. Si la liste des observatoires, professionnels ou amateurs, ouverts au public, des planétariums fixes ou mobiles, des centres de culture scientifique, n'est pas trop difficile à obtenir, il n'en est pas de même des curiosités astronomiques de votre région. Il n'est pas question de (re)faire le répertoire des cadrans solaires de France et de Navarre, mais de vous demander de nous signaler les curiosités astronomiques de votre région, qui, soyons francs, sont rarement indiquées dans les guides touristiques classiques. Nous avons absolument besoin de votre aide pour faire l'inventaire des richesses astronomiques de votre région, ou d'une région que vous connaissez bien : cadrans solaires spectaculaires ou monumentaux, horloges astronomiques avec ou sans planétaire, alignements de pierre avec orientation intéressante, etc... Nous comptons sur votre participation. N'oubliez pas de situer la curiosité avec précision et d'indiquer vos coordonnées. Envoyez votre courrier à :

**Françoise SUAGHER, 18 chemin de Canot, 25000 BESANCON**  
**Pierre MAGNIEN, rue Maupommier, 25870 AUXON DESSUS**

**Erratum** Dans la dernière page de l'article sur le cadran bifilaire (CC66, p.38) et précisément dans l'équation de la courbe ( $\gamma$ ), le premier terme de cette équation n'est pas  $(\sin^2\delta) x^2$  mais  $(\sin^2\phi \sin^2\delta) x^2$

Il en résulte que la valeur donnée quelques lignes plus loin pour  $a^2$  doit être modifiée : son dénominateur doit être multiplié par  $\sin^2\phi$ . Les coordonnées du centre  $\omega$  n'en sont pas affectées et la nature des arcs de déclinaison n'en sont pas dénaturées non plus. "*Les dégâts ne sont pas irréparables, mais par souci de correction, je devais vous avouer ma faute*" nous écrit Paul Perbost.

**Le Mans** – Jean-Paul Rosenstiehl nous annonce l'inscription de trois stages de deux fois un jour dans le cadre du MAFPEN, sous le numéro 441. Au cours de ces stages, il sera question de la rétrogradation de Mars, des taches solaires, du spectre du Soleil et du spectre des anneaux de Saturne, de l'effet Doppler-Fizeau et de l'expansion de l'Univers. Souhaitons que dans toutes les académies l'astronomie soit ainsi bien placée dans la liste des stages.

**La comète sur Jupiter** – D'une lettre de Jacques Vialle écrite de La Rochelle le 19940801 :

*"J'ai été assez impressionné par les traces aisément visibles de l'impact des morceaux de SL9 sur Jupiter. Quelques jours après, les perturbations de la très haute atmosphère jovienne sont toujours visibles. En admettant que ma limite de résolution soit 2" d'arc (c'est probablement optimiste), la dimension de la zone impactée est de l'ordre de la dizaine de milliers de kilomètres."*

**Le Gluon** (n°2 –avril 1994 ; n°3 juillet 1994) – En saluant le n°1 de la nouvelle revue des Amis du Planétarium du Collège Valéri de Nice, nous nous étions étonnés qu'il indiquât pour l'Observatoire de Greenwich la longitude de 2° 20' 15" Ouest. Nos Amis nous expliquent : pour rendre hommage à Cassini, ils avaient pris le méridien de Paris pour origine.

Dans ce deuxième numéro, Janine Chappelet dresse la liste des nombreuses activités du groupe qu'elle anime. Bravo.

**Copernic au Gabon** – D'une lettre d'un correspondant Gabonnais, ce timbre poste :



## A propos des lignes babyloniennes

Dans le Cahier 66 (p.17) nous posons le petit problème de gnomonique suivant :

Certains cadrans solaires portent des lignes dites *babyloniennes*. Ce sont les lignes où se projette l'ombre de l'extrémité du style (ou mieux la tache de lumière provenant de l'ocilleton qui lui est fixé), un certain temps (1 heure, 2 heures, ...) après le lever du Soleil. Les lignes *italiques* sont tracées sur le même principe par rapport au coucher. Démontrer simplement quelle est la nature de ces lignes.

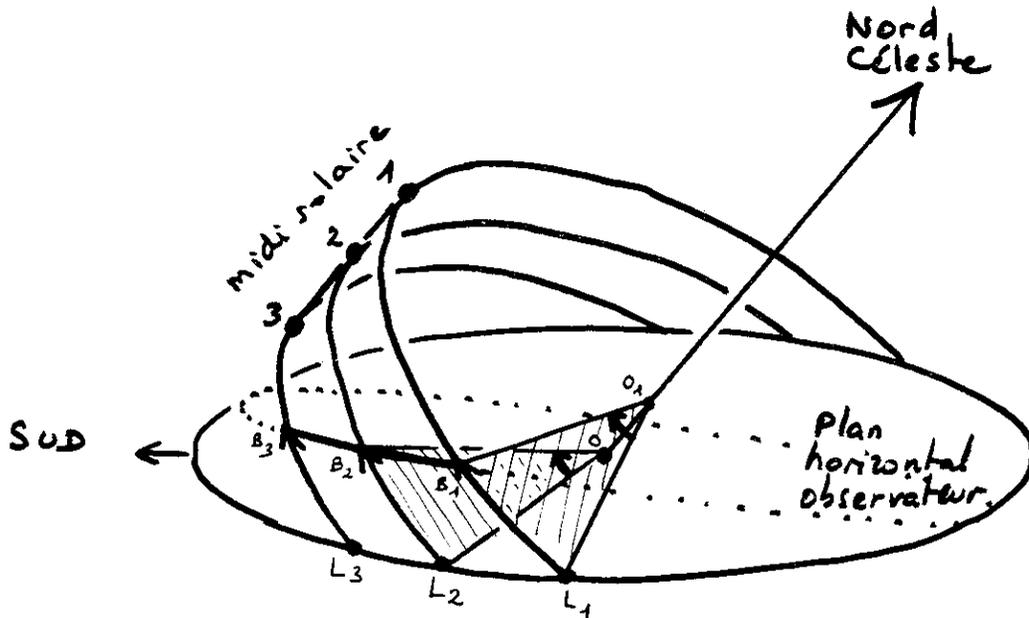
Des réponses reçues, nous extrayons ce qui suit :

"Le schéma ci-dessous représente le mouvement apparent du Soleil à nos latitudes. L'observateur, ou plutôt, ici, l'ocilleton du cadran est en O. Le mouvement apparent du Soleil est représenté sur un cylindre dont l'axe (ON) est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Le Soleil au solstice d'été décrit le cercle 1 (centré en  $O_1$ ), aux équinoxes le cercle 2, et au solstice d'hiver le cercle 3. Le midi solaire est défini par le passage du Soleil dans le plan du méridien, au Sud ici. Les positions de lever du Soleil sont représentées en  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ . Le mouvement apparent du Soleil sur ces cercles se fait à la vitesse constante de 1 tour en 24 h ou  $15^\circ$  par heure (on néglige les + ou - 30 s de variation de la durée du jour solaire).

Pour savoir où sera le Soleil 1 heure (ou 2 heures...) après son lever, il suffit d'effectuer une rotation de  $15^\circ$  (ou  $30^\circ$ , ...) de la position du lever autour de l'axe. Ainsi  $L_1$  se retrouve en  $B_1$  (rotation de  $15^\circ$  autour de  $O_1$ ),  $L_2$  en  $B_2$ , ...

Les points  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  étant sur le cercle horizon de centre O,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  seront sur le cercle obtenu par une rotation de  $15^\circ$  d'axe (ON), ce nouveau cercle étant aussi centré en O. Pour obtenir maintenant l'ombre ou la tache de lumière sur le cadran, on doit tracer les rayons solaires ( $B_1O$ ), ( $B_2O$ ), ( $B_3O$ ) et leur intersection avec le plan du cadran donnera la position de l'ombre ou de la tache lumineuse. Mais comme tous ces rayons sont dans un même plan (défini par le cercle image par la rotation de tout à l'heure), les points ombres seront à l'intersection de ce plan et du plan du cadran, donc sur une droite. Les lignes babyloniennes sont donc des droites.

Pierre Causeret (21170 Esbarres)



P.-S. - Notre Collègue Paul Perbost nous envoie une solution qui s'inspire des mêmes idées. Merci à chacun de nos correspondants.

## Les publications du C.L.E.A.

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1. L'observation des astres, le repérage dans l'espace et le temps (20F-25F)
2. Le mouvement des astres (25F-30F)
3. La lumière messagère des astres (25F-30F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (30F-35F)
5. Renseignements pratiques, bibliographie pour l'astronomie (25F-30F)
- 5bis. Complément au fascicule 5 (25F-30F)
6. Univers extragalactique et cosmologie (30F-35F)
7. Une étape de la physique, la Relativité restreinte (60F-68F)
8. Moments et problèmes dans l'histoire de l'astronomie (60F-68F)
9. Le système solaire (50F-58F)
10. La Lune (30F-35F)
11. La Terre et le Soleil (40F-48F)
12. Simulation en astronomie sur ordinateur (30F-35F)

### COURS POLYCOPIES D'ASTROPHYSIQUE (M3.C4 de l'Université Paris XI-Orsay)

- I. Astrophysique générale (30F-35F)
- II. Mécanismes de rayonnement en astrophysique (30F-35F)
- III. Etats dilués de la matière : le milieu interstellaire (30F-35F)
- IV. La structure interne des étoiles (30F-35F)
- V. Relativité et cosmologie (30F-35F)
- S. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil (30F-35F)

### LES FICHES PEDAGOGIQUES DU CLEA, numéros hors série des Cahiers Clairaut

- HS1. L'astronomie à l'école élémentaire (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)  
HS2. La Lune, niveau collège 1 (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)  
HS3. Le temps, les constellations, niveau lycée (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)  
HS4. Astronomie en Quatrième (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)

### DOCUMENTS POUR LES FICHES CLEA-BELIN

- DCB. 10 exemplaires 40F (35F pour les abonnés) : 20 exemplaires 65F (60F pour les abonnés), port compris. Adresser les commandes pour DCB à Jean Ripert, les Combels Labéraudie, Pradines, 46090 CAHORS (avec chèque à l'ordre du CLEA)

### TRANSPARENTS ANIMES POUR RETROPROJECTEUR

- T1. Le TranSoLuTe (phases de la Lune et éclipses) (50F-55F)  
T2. Les fuseaux horaires (50F-55F)  
T3. Les saisons (50F-55F)

### DIAPPOSITIVES (séries de 20 vues + livret de commentaires)

- D1. Les phénomènes lumineux (60F-65F) (50F-55F pour les abonnés)  
D2. Les phases de la Lune (60F-65F) (50F-55F pour les abonnés)  
D3. Les astres se lèvent aussi (60F-65F) (50F-55F pour les abonnés)  
D4. Initiation aux constellations (60F-65F) (50F-55F pour les abonnés)  
D5. Rétrogradation de Mars (60F-65F) (50F-55F pour les abonnés)  
D6. Une expérience pour illustrer les saisons (série de 8 vues, 30F-35F)  
D7. Taches solaires et rotation du Soleil (60F-65F) (50F-55F pour les abonnés)

### FILTRES COLORES ET RESEAUX

- FCR. 6 feuilles de filtres et 1 feuille de réseaux 65F (55F pour les abonnés) port compris.

### LE CINECIEL, une sphère armillaire à monter en kit (100F)

LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE : Grasse 1983 (58F-66F) ; Formiguères 1984(65F-75F) ; Formiguères 1985 ou 1986 (100F-110F); Cap 1990 (100F-110F)

Pour chaque publication, le deuxième prix est celui qui comprend les frais d'expédition et concerne donc les commandes par la poste. Chèques à l'ordre du CLEA envoyés au secrétaire. C.Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD

# Le C.L.E.A. et les Cahiers Clairaut

## CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 1994 :

Cotisation simple au CLEA pour 1994	25 F
Abonnement simple aux Cahiers n° 65 à 68	100 F
Abonnement aux Cahiers n° 65 à 68 ET cotisation au CLEA pour 1994	120 F
Contribution de soutien au CLEA (par an)	30 F
Le numéro des Cahiers (port compris)	35 F

Possibilité de cotiser ou de s'abonner pour deux ans en doublant les tarifs précédents.

### COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

C1. Collection complète du n° 1 au n° 64 (890 F - 970 F)

C88. C89. Collection 1988 ou 1989 (chaque 80 F - 90 F)

C90. C91. C92. C93. Collection 1990 ou 1991 ou 1992 ou 1993 (chaque 90 F - 100 F)

N-B Comme pour toutes les publications autres que les abonnements, le deuxième prix indiqué est celui qui correspond au tarif port compris.

Adresser inscriptions, abonnements ou commandes au secrétaire du CLEA

Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST-CLOUD

en joignant à votre envoi le chèque correspondant rédigé à l'ordre du CLEA.

### PUBLICATIONS DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

SCPS1. Le système solaire, 10 cartes postales en couleurs (30 F)

SCPS2. "Les merveilles de l'Univers", 10 cartes postales en couleurs présentant quelques-uns des plus beaux objets célestes (30 F)

LS0. Catalogue des étoiles les plus brillantes, toutes les données disponibles au Centre des Données Stellaires de l'Observatoire de Strasbourg concernant 2000 étoiles visibles à l'oeil nu (75 F)

Vos commandes sont à adresser au Service librairie, Planétarium de Strasbourg,

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim  
Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff  
Dépot légal : 1 er trimestre 1979  
Numéro d'inscription CPPAP : 61660