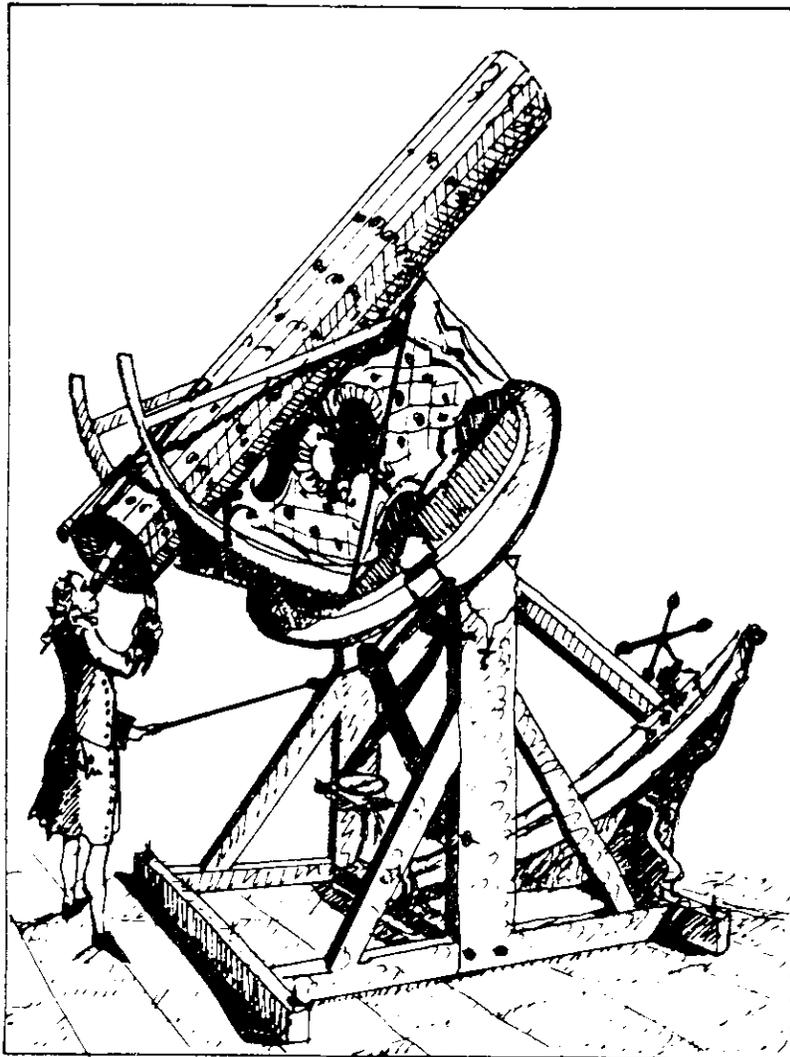


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n° 27 - hiver 1984

Friedrich Wilhem Bessel, l'astronome de Königsberg 3
 De l'astronomie avec les mains 7
 Lectures pour la Marquise 11
 Dernière minute 12
 En attendant son retour 13
 Mettez votre planétaire à l'heure 16
 L'astronomie dans le calendrier (suite et fin) 17
 Un radiotélescope à la disposition des amateurs 20
 Université d'été 1985 20
 Assemblée générale du CLEA 20
 Etoiles à neutrons et pulsars 21
 Actions de popularisation de l'astronomie en Finlande 23
 Astronomie et philosophie: le retour à la cosmologie positiviste 25
 Cherchons midi à quatorze heures 27
 Heurs et malheurs de la construction d'un cadran solaire 28
 A propos des marées 29
 Chronique du CLEA 33
 Courrier des lecteurs 35
 Rendez-vous avec la comète de l'histoire 36
 Les Potins de la Voie Lactée 37
 L'équation de Kepler (suite) 38

EDITORIAL

Nous aimons, vous le savez, que le dialogue se développe entre lecteurs. Dans le numéro 25 des Cahiers, Liliane Sarrazin s'interrogeait sur les conditions locales des marées; Jacques Vialle, à la Rochelle, lui répond dans ce numéro. Merci à lui. Vous vous interrogez sur la comète de Halley dont on commence à entrevoir le retour: après Annie-Chantal Levasseur Regourd (n° 26 des C.C.) c'est K. Mizar qui entreprend un nouveau feuilleton qui nous raconte l'histoire des comètes. Daniel Toussaint et ses élèves du collège d'Aix-en Othe ont eu bien du mal pour mener à bien la construction de leur cadran solaire sphérique; dans le prochain numéro, ils vous expliqueront qu'ils ont fini par réussir et vous préciseront le détail du fonctionnement.

Le CLEA est vivant; les correspondants locaux nous le démontrent dans la rubrique que nous consacrons à la vie du CLEA. Deux stages sont prévus cet été, organisés conjointement par l'équipe du CLEA: l'Université d'été de Formiguères et celle de Strasbourg pour laquelle Agnès Acker espère obtenir le soutien du Conseil de l'Europe.

Bonne année nouvelle à tous.

La Rédaction

FICHE D'ADHESION AU CLEA (1984) ET D'ADONNEMENT AUX CAHIERS CLAIRAUT

Nom

Adresse

désire adhérer au CLEA

désire s'abonner ou se réabonner aux Cahiers Clairaut (n° 25 à 28)

désire recevoir la collection complète des numéros parus (1 à 24)

tarifs: {

cotisation seule: 20f; abonnement seul (n° 25 à 28): 35f (soutien 70f)

abonnement et cotisation: 50f (soutien 80f); prix de la collection (n°21 à 24):160f

LIBELLER LES CHEQUES A L'ORDRE DU CLEA

Retourner la commande à Madame F.Delmas, IAP, 98bis Brd Arago 75014 PARIS

Friedrich Wilhelm Bessel, l'astronome de Königsberg

xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx

Sans la lettre d'un ami allemand qui portait un timbre de 0,80 DM à l'image de Bessel, j'aurais laissé passer cet anniversaire. Je n'ai pas un goût immodéré pour les commémorations personnelles mais, de temps à autres, retrouver la marque d'un homme ou d'une femme dans les progrès d'une science nous rappelle que les grandes découvertes ne se font pas toutes seules, qu'il y faut, le plus souvent, la conjonction de quelques heureux hasards dans les circonstances et de beaucoup de bonnes idées et de persévérance chez les acteurs qui n'ont pas du économiser la sueur.

La vie de Bessel est bornée par deux dates, 1784-1846, qui ont chacune, eu égard à l'oeuvre de notre astronome, leur signification. En 1784, William Herschel publie son deuxième catalogue de 434 étoiles doubles et Bessel s'intéressera plus tard à ces objets. 1846, c'est la découverte de Neptune par Le Verrier et Galle, ce qui n'aurait pas étonné notre astronome puisque, plus ou moins directement, il travaillait dans cette direction.

Rien ne paraissait destiner le jeune Friedrich Wilhelm Bessel à jouer un rôle de premier plan en astronomie. Il occupe d'abord un emploi modeste chez un négociant de Brême. C'est alors, dans ce grand port, qu'il commence à s'intéresser aux problèmes de navigation. Son goût le porte vers les études théoriques et le voilà conduit à celle des mesures astronomiques. Son premier grand travail original est une analyse critique des mesures faites par Harriot, en Angleterre, sur la comète de 1607, celle à laquelle Halley devait donner son nom quand il la retrouva en 1682. C'est ici qu'un heureux hasard intervient ; son travail est remarqué et fort apprécié par les astronomes contemporains, Olbers en particulier, si bien qu'en 1810, quand il faut désigner un astronome pour organiser un nouvel observatoire à Königsberg, on pense à Bessel qui y fera toute sa brillante carrière.

Königsberg (aujourd'hui Kaliningrad), au bord de la Baltique, n'occupe pas une position idéale pour l'observation astronomique. Pourtant nous connaissons tous cette ville par le problème de ses ponts posé par Euler en 1736 ou encore par le surnom usuel de cet astronome du Moyen Age, Johann Müller qui se faisait appeler Regiomontanus justement pour rappeler en latin qu'il était natif de Königsberg. Un précurseur lointain de Bessel ce qui prouve que même dans les brumes du Nord on peut observer les étoiles.

La succession de Bradley

Devenu astronome à temps complet, Bessel va pouvoir se donner tout entier à sa passion de la précision. Il reprend les trois mille positions d'étoiles observées par Bradley et qui n'avaient été publiées qu'entre 1798 et 1805, positions données par l'astronome anglais à quelques secondes d'arc près. Bessel tient compte de l'aberration, de la nutation et de la réfraction. En 1818, il publie ce beau travail de révision sous le titre Fundamenta Astronomiae ex observationibus viri incomparabilis James Bradley.

C'est donc dans la continuité des préoccupations de Bradley que Bessel a orienté son travail. En 1820, il installe dans son observatoire un nouveau cercle méridien de Reichenbach et il en profite pour étudier de façon approfondie les qualités et les défauts de l'instrument. Pour lui, un instrument de mesure ne correspond jamais à son modèle mathématique idéal. Par suite, il ne donne des résultats valables qu'à condition de déterminer toutes ses causes d'erreur et d'appliquer les corrections qui en résultent à toutes les mesures effectuées. Ce qu'il exprime de façon significative : "Chaque instrument est fabriqué deux fois, la première dans l'atelier de l'artisan, avec du cuivre et de l'acier, puis sur le bureau de l'astronome avec du papier grâce à la liste des corrections indispensables qui résultent de son étude de l'instrument." (cité par Pannekoek, p.325)

Résultat : Bessel publie en 1830 ses Tabulae Regiomontanae (tables de Königsberg) qui donnent des mesures méridiennes à la précision de 0",01 en déclinaison et de 0,001 s en ascension droite.

Le principe des mesures de Bessel reste celui des mesures actuelles. Il reprend zone par zone du ciel, avec le maximum de précision les mesures des étoiles fondamentales, les 36 du catalogue de Maskelyne, les quelques deux cents des éphémérides usuelles ou les 3000 de Bradley. Les positions des milliers d'autres étoiles sont repérées par rapport aux fondamentales voisines. Travail de longue haleine, déjà envisagé par Lalande qui n'avait malheureusement pas disposé d'instrument fiable pour l'amorcer. Bessel comprend d'ailleurs tout de suite que pour dresser un catalogue complet, il faudra la coopération de tous les observatoires du monde, ce qui ne sera effectivement organisé par la Astronomische Gesellschaft qu'après 1871.

Intermède mathématique

Les voyages ne devaient pas être faciles en ce début du XIXème siècle, pourtant des liaisons s'établissent entre Bessel à Königsberg et Gauss à Göttingen. Ce dernier dirige l'observatoire de cette célèbre université depuis 1807. Il y a mis au point une méthode qui permet, à partir de trois observations complètes d'une planète, réalisées à l'intervalle de quelques semaines, de calculer les éléments de son orbite. Gauss en a eu l'idée pour retrouver l'astéroïde Cérès qu'on avait perdu peu après sa découverte par Piazzi, le premier janvier 1801. De son côté, Bessel devait être l'un des premiers astronomes à utiliser dans la réduction de ses mesures, la méthode des moindres carrés imaginée par son illustre confrère.

Lui-même poursuivait des études théoriques sur les mouvements oscillatoires ce qui l'amena à poser l'équation différentielle

$$x^2 y'' + xy' + (x^2 - n^2)y = 0$$

dont la solution unique J_n est encore appelée fonction de Bessel.

En 1733, Daniel Bernoulli étudiant les petites oscillations d'un fil pesant homogène vertical avait formé des séries entières qui n'étaient autres que les fonctions de Bessel J_0 et J_1 . Ainsi notre astronome insère-t-il son oeuvre dans le courant alimenté par les plus grands savants.

La parallaxe de 61 Cygni

Mais sa passion reste cependant centrée sur les mesures de précision. Il va utiliser avec succès l'héliomètre à fil de Fraunhofer qui est un perfectionnement de celui de Ramsden lequel s'était inspiré d'un modèle imaginé par Bouguer pour mesurer le diamètre apparent du Soleil (d'où le nom de l'instrument). Une occasion de souligner l'importance des instruments réalisés par Fraunhofer dans les progrès de l'astronomie durant le début du XIX^{ème} siècle.

C'est dans un autre but que des mesures du Soleil que Bessel va utiliser cet excellent héliomètre. Il a remarqué, dans l'établissement de ses catalogues d'étoiles, le mouvement propre particulièrement important de l'étoile 61 du Cygne. Il en infère que cette étoile doit être relativement proche (c'est un peu comme ce qu'observe le voyageur d'un train rapide : les caténaires très proches défilent très vite, les villages ou collines éloignées beaucoup plus lentement). Il mesure les écarts angulaires de l'étoile 61 à des étoiles voisines faibles situées à 8' et 12' respectivement. Il reprend ces mesures tout au long de l'année : l'ellipse parallactique décrite en apparence par l'étoile apparaît, correction faite évidemment de son mouvement propre. Il en déduit une parallaxe de 0"31 en 1838, ce qu'il corrige en 0",348 en 1840.

Une parallaxe de 0",348 correspond à une distance de 2,87 parsecs ou 9,4 années de lumière ou, comme Bessel préférait l'exprimer, 590 000 fois la distance de la Terre au Soleil. C'est le premier jalon mesuré à l'extérieur du système solaire qui apparaît plus isolé qu'on l'imaginait au milieu de l'univers stellaire. A cette époque, la planète la plus extérieure connue est Uranus, à quelques 19 unités astronomiques du Soleil. Les progrès de l'astronomie n'ont pas diminué notre isolement : on donne aujourd'hui 0",294 pour la parallaxe de 61 du Cygne soit une distance de 700 000 unités astronomiques alors que Pluton s'écarte du Soleil de moins de 40 de ces unités. Isolés nous le sommes mais pas si mal que ça chez nous...

Rappelons en passant que si Bessel réussit cette grande première (sur laquelle Bradley, son maître, s'était cassé les dents), il est bientôt imité par F.G.W.Struve qui mesure la parallaxe de Vega (0",26) et par Henderson qui mesure celle d'Alpha du Centaure (0",76). De là partiront toutes les mesures d'arpentage de notre Univers.

Sirius n'aurait-il pas un compagnon ?

Dans notre recensement de l'oeuvre de Bessel, il ne faut pas éviter un échec qui paraît curieux chez cet astronome habile. Herschel avait prévu que le mouvement propre du Soleil par rapport aux étoiles voisines devrait apparaître se faire dans une direction (l'apex) par la fuite apparente, en moyenne, de ces étoiles voisines dans le sens opposé. Or Bessel ne réussit pas dans ce travail alors que son voisin et collègue finlandais Argelander y parvenait en 1830.

Petit accroc dans une oeuvre suffisamment riche en belles découvertes et en idées fructueuses. En observations peut-être mineures mais instructives. Ainsi Bessel déduit de l'observation d'occultations d'étoiles par la Lune que si celle-ci a une atmosphère, celle-ci est au plus les deux millièmes de l'atmosphère terrestre. Bessel inaugure aussi les mesures de diamètres planétaires avec l'héliomètre.

Quand il observe la comète de Halley, en 1835, il remarque, dans la queue, des oscillations qui ont une période de 4,5 jours. Il développe une théorie sur la formation de cette queue en calculant d'après ses observations la force répulsive qui s'oppose à l'attraction du Soleil. Théorie qu'il vérifie sur la comète de 1843. Sans doute est-ce là l'un des premiers travaux théoriques sur ce que nous appelons aujourd'hui le vent solaire.

Les mesures précises à l'héliomètre devaient naturellement conduire Bessel à s'intéresser aux étoiles doubles. Il y rencontre une difficulté imprévue : des irrégularités dans les positions de Sirius et de Procyon qui paraissent pourtant bien être des étoiles simples. Ces oscillations ne peuvent être le fait de perturbations par d'autres étoiles connues car elles sont sûrement trop lointaines. Bessel formule alors l'hypothèse de l'existence d'un astre invisible de grande masse. Hypothèse audacieuse, "il y a une ironie de la nature, écrit Pannekoek (p.432), à ce que la plus brillante de nos étoiles soit sujette aux perturbations d'un corps sombre..." En tout cas, Bessel avait "vu" juste : en 1850, C.A.F. Peters calculait l'orbite d'un compagnon de Sirius qui graviterait autour de l'astre brillant en 60 ans et Alvan Clark en 1862 découvrait ce "corps sombre" qui est en réalité une naine blanche de magnitude 8 (celle de Sirius étant -1,4). Pour Procyon, il fallut attendre 1895 pour que Schaeberle découvre avec la grande lunette de Lick son compagnon de magnitude 13 (celle de Procyon étant de 0,4).

L'idée de Bessel avait fait son chemin.

La découverte de Neptune

Nous avons vu que Gauss s'était intéressé à la théorie des astéroïdes. Avec lui, Bessel, Encke et Olbers reprenaient la méthode imaginée par Clairaut pour les perturbations de Jupiter et Saturne sur la comète de Halley. Les astéroïdes subissent principalement les perturbations dues à la proximité relative de Jupiter. Les approximations calculées par Laplace pour les sept planètes principales ne s'appliquent pas aux astéroïdes. Il y a là tout un travail théorique de la plus grande importance qui devait déboucher, d'une part sur les travaux de mécanique céleste de Jacobi (après 1830) et de Henri Poincaré (vers 1880), de l'autre sur la découverte de Neptune.

On sait que c'est par l'étude des perturbations subies par Uranus que U.J.J Le Verrier (à Paris) et J.C. Adams (à Cambridge) calculèrent la position d'une planète perturbatrice hypothétique. Mais l'idée était également venue à Bessel et il avait chargé un de ses élèves, F.W. Flemming, de la mettre en oeuvre.

Bessel n'aura pas su la réponse. Le premier mémoire de Le Verrier sur la nouvelle planète paraît le 1er juin 1846 ; la planète sera effectivement observée par Galle le 20 septembre. Mais cela peut être considéré comme l'hommage de la communauté des astronomes à l'un de leurs pairs, Friedrich Wilhelm Bessel, qui vient de mourir, le 17 mars 1846.

K. Mizar

Sources bibliographiques : l'histoire de l'astronomie de Pannekoek et la notice de l'Encyclopaedia Britannica ; l'histoire des mathématiques de Dieudonné.

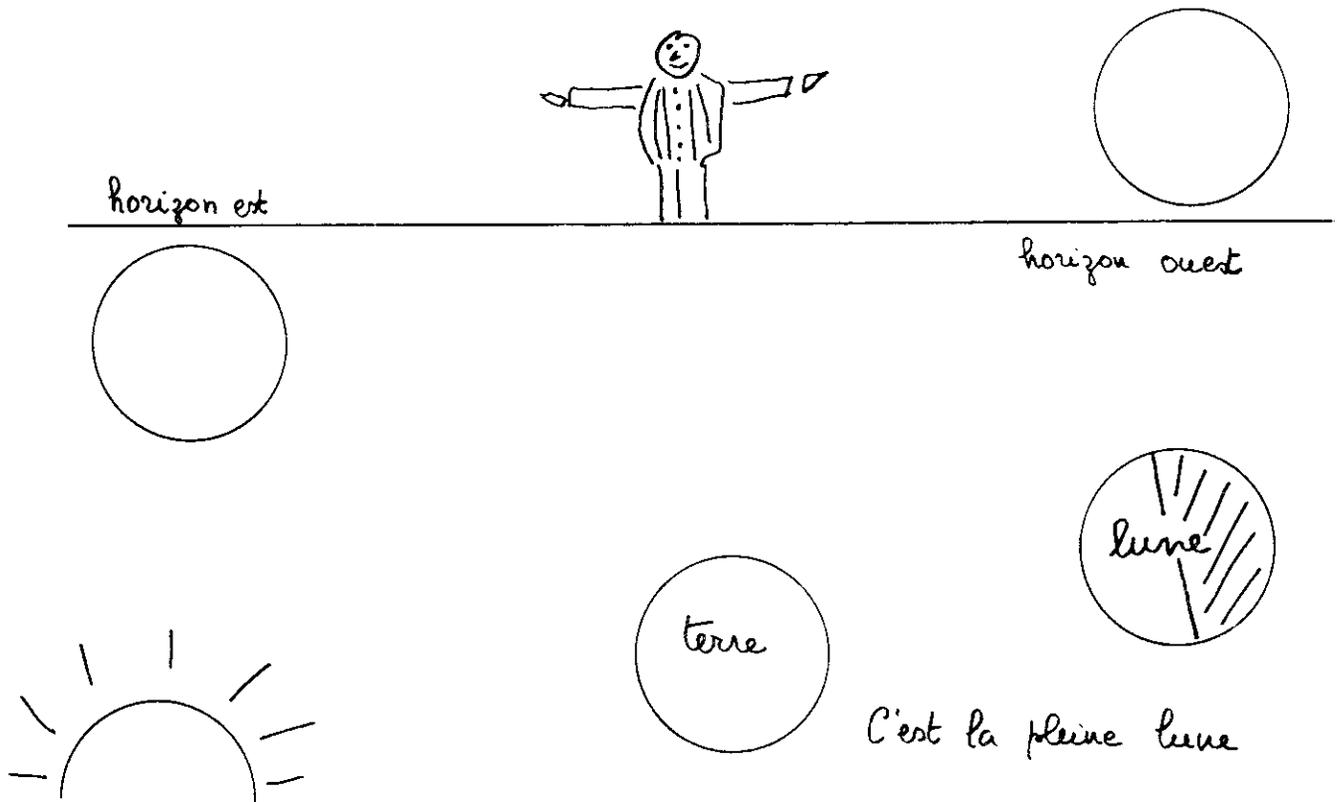
DE L'ASTRONOMIE...

... AVEC LES MAINS

Un matin, avant d'entrer en classe, des élèves me font remarquer que la Lune est toute ronde au ras de l'horizon. Je leur demande alors où est le Soleil... On devine qu'il va se lever dans la direction opposée à la Lune - couchant - levant.

Après en avoir parlé en classe, deux ou trois élèves décident de dessiner ce que l'on vient de voir.

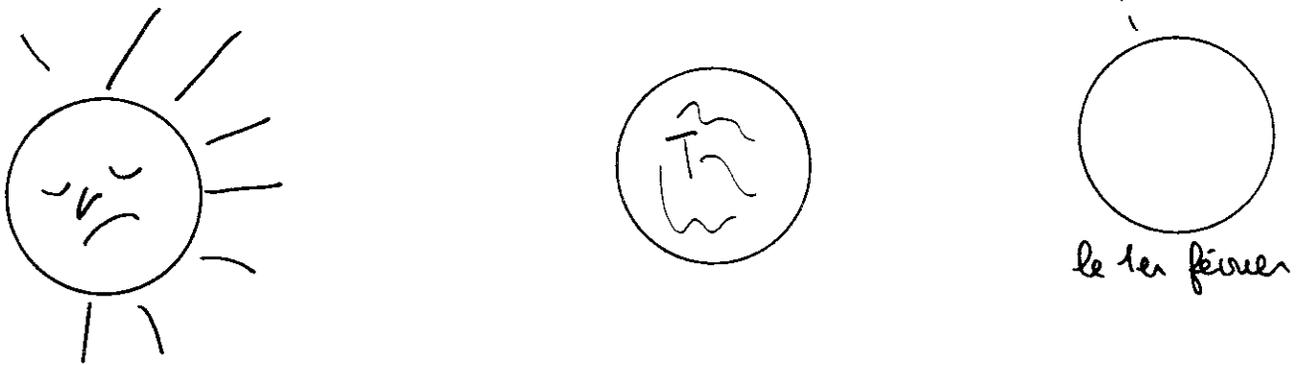
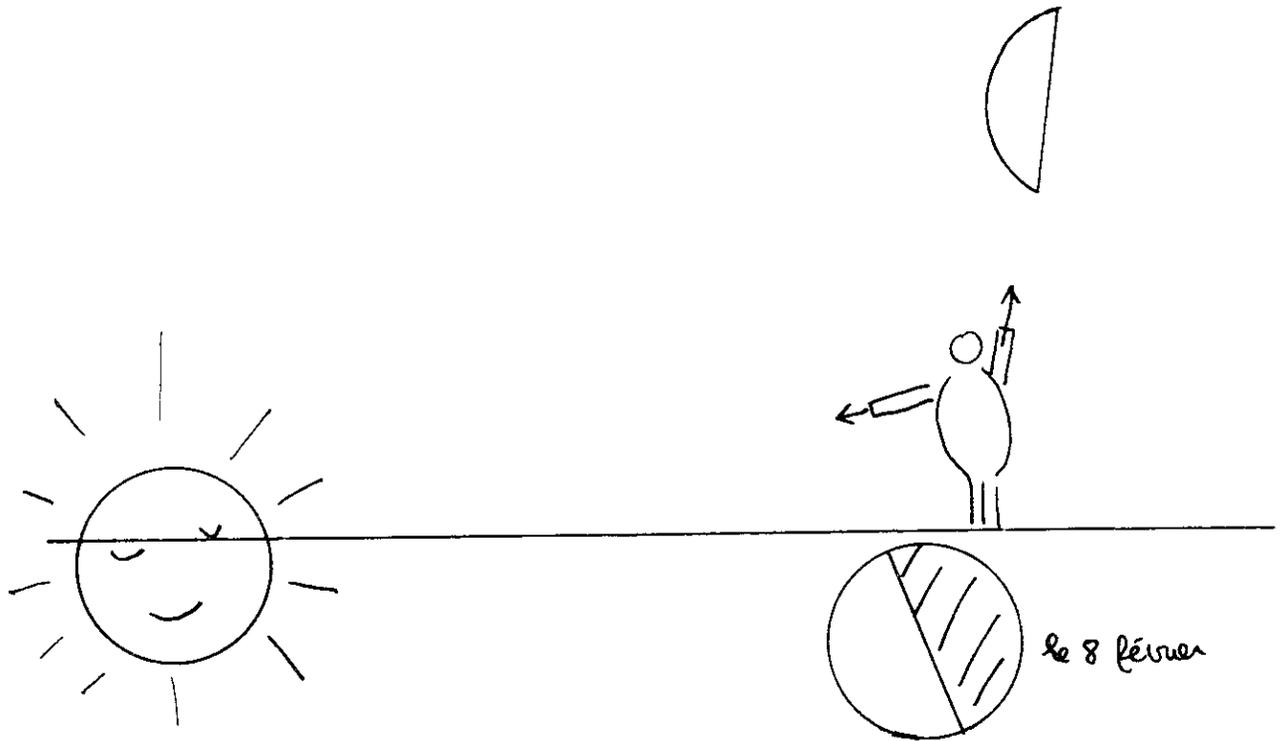
Le 1er février, à 8h, on a regardé la Lune. Elle était toute ronde (pleine lune). On a regardé la direction du Soleil et de la Lune. On a étendu un bras vers la Lune et l'autre vers le Soleil.



Les jours suivants, il y a eu des nuages.

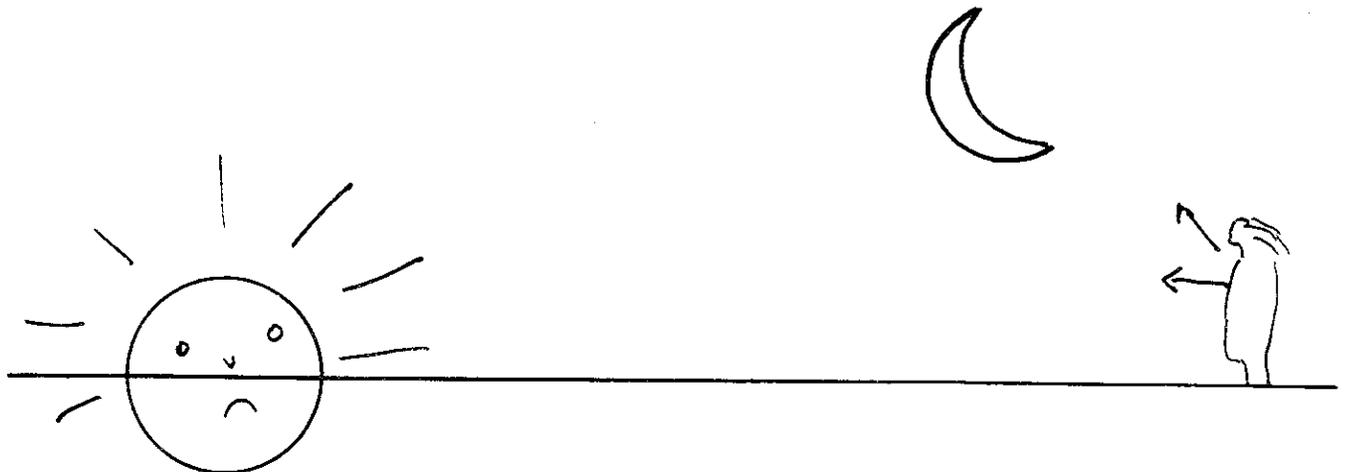
Le 8 février, le ciel s'est dégagé. Je demande de retrouver la Lune et le Soleil. Grosse surprise: elle n'est plus ronde! Elle n'est plus à la même place! Mais le Soleil, lui, se trouve au même endroit. On fait un dessin.

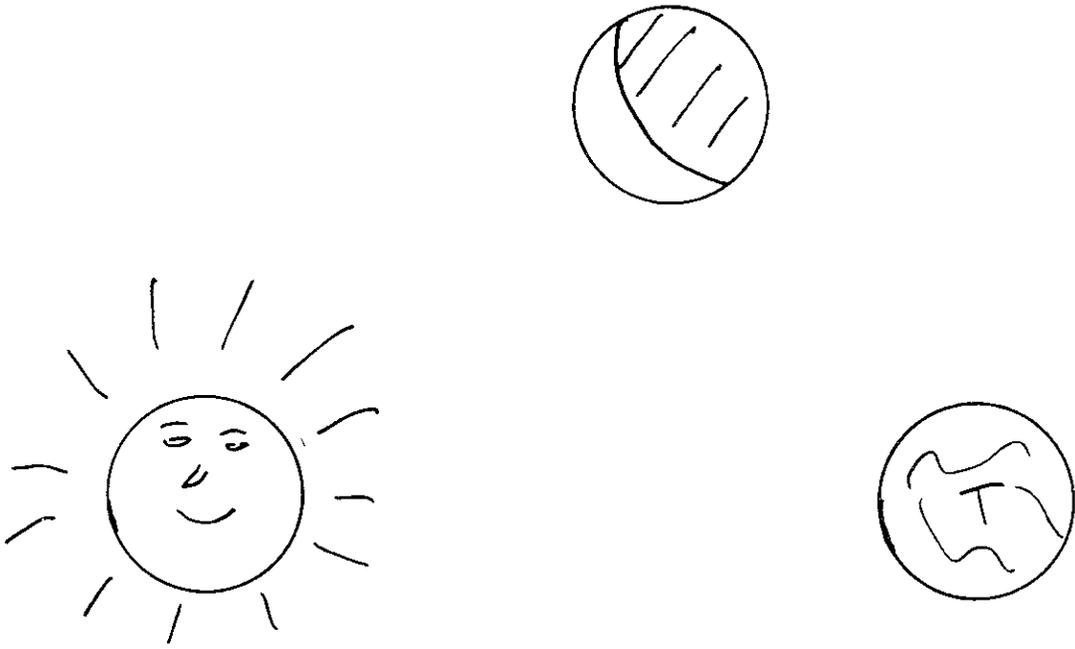
Le 8 février à 8h on a regardé la Lune. On voit à peu près la moitié de la Lune. Elle s'est rapprochée du Soleil.



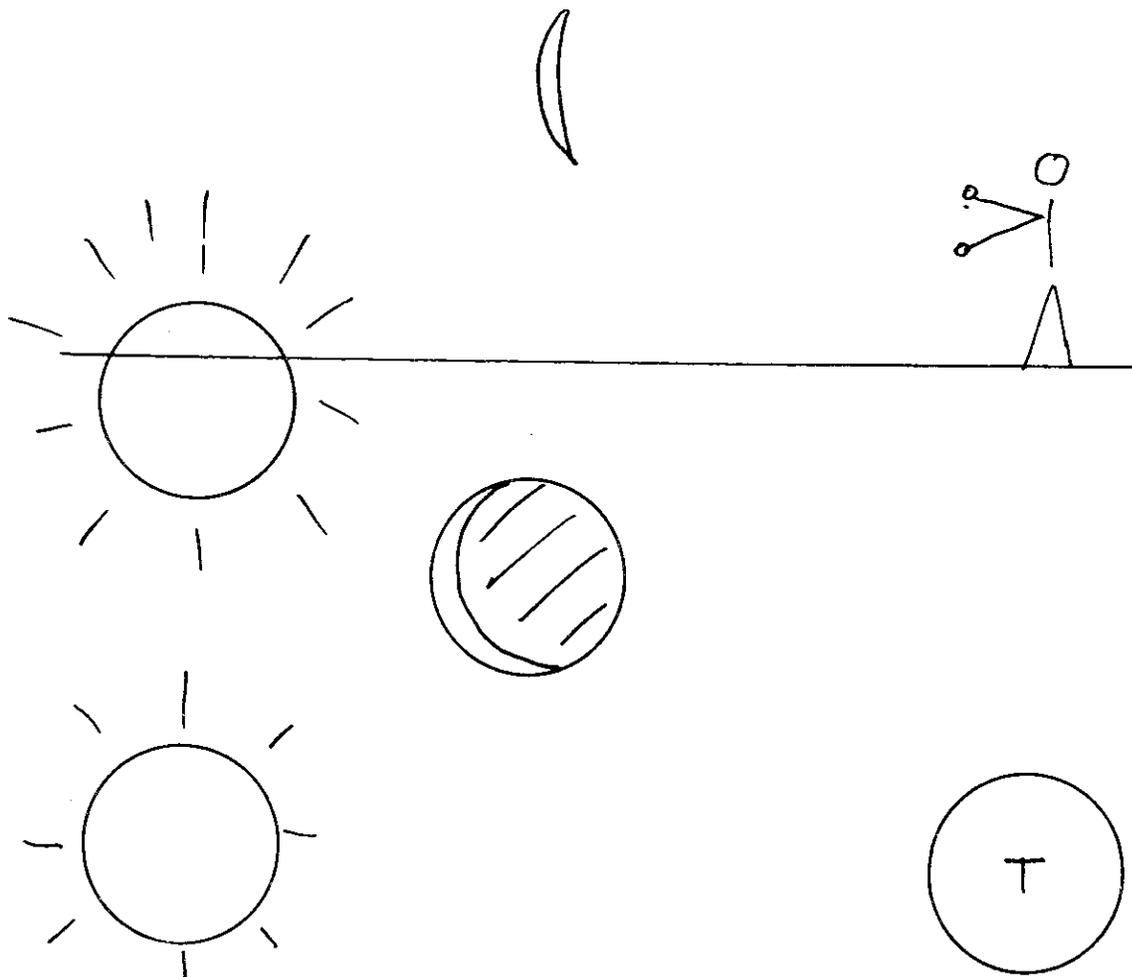
Les jours suivants, on cherche spontanément la Lune. Un dessin est fait le 12 et le 14.

Le 12 février à 8h on a regardé la lune. On avait à peu près un croissant ; elle s'est rapproché du Soleil.

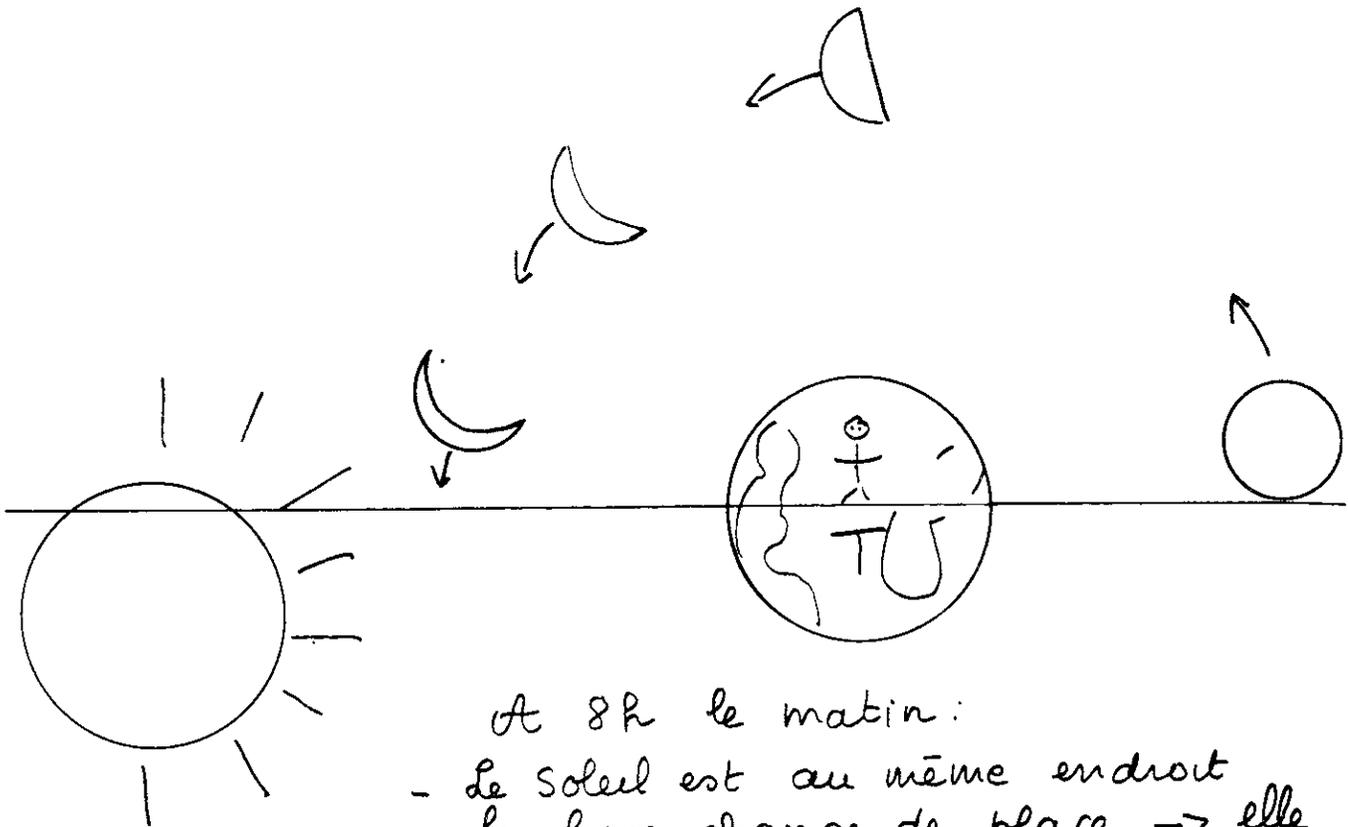




Le 14 février à 8h on a regardé la Lune
On voit à peu près une "banane" de la Lune.



Je demande alors de récapituler sur un seul dessin



- À 8h le matin :
- le Soleil est au même endroit
 - la Lune change de place → elle tourne autour de la Terre .

Nous sommes toujours au même endroit; le Soleil aussi. Alors "c'est la Lune qui tourne autour de nous".

Compte rendu d'observations à l'oeil nu de la Lune
par quelques élèves d'une classe de perfectionnement (14 ans)

Alphonse Delavergne

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

Lettre inactuelle à la Marquise du Châtelet sur un problème très actuel de la
***** rédaction des Cahiers Clairaut.

Chère Marquise,

Ne soyez ni offusquée ni même surprise de recevoir - si vous la recevez - cette lettre d'un très lointain admirateur, distance évaluée dans l'espace-temps. Peut-être soupçonniez-vous déjà que cette rubrique, "Lectures pour la Marquise et pour ses amis", était, sous une forme implicite, une façon de vous rendre hommage, de vous associer à celui que nous rendions par le titre de notre revue au grand savant qui a eu le bonheur de vous approcher et qui a bien voulu - ses écrits l'attestent - patronner les efforts du CLEA.

Sans plus de compliments - vous savez en accueillir des mieux tournés du monde par l'esprit le plus vif de votre siècle - voici le but de ma démarche : obtenir votre aide pour apaiser une inquiétude qui me tourmente.

Rédiger dans ces Cahiers les notes de lecture ne devrait pas être la tâche -aussi plaisante soit-elle - d'une seule personne. Qu'il y ait un responsable de la rubrique, soit, direz-vous, mais qu'il trouve plus habile ou plus compétent que lui à rendre compte des ouvrages dont le niveau le dépasse ; que des collègues ayant d'autres goûts que les siens éclairent diversement les lecteurs sur tous les profits qu'ils tireront des livres ou des articles signalés.

Vous parlez d'or, chère Marquise, et montrez ainsi que vous détenez la solution : suggérez à vos amis qui lisent de nous faire profiter de leurs glanes. Je suis bien certain que si vous le leur demandez, ils ne résisteront pas au charme de votre insistance, trop heureux seront-ils, comme je le suis ici, de vous exprimer ainsi leur humble et très véritable admiration.

Gilbert Walusinski

Grasse 1983

***** Le compte rendu de l'école d'été 1983 à Grasse est paru ; un fort volume d'un peu plus de 500 pages dans lequel on retrouve l'ensemble des exposés du matin : le système solaire (Lucienne Gouguenheim) ; l'analyse de la lumière (L.G.) ; Lune et lître...sans oublier le troisième (G.W.) ; la Galaxie (Michèle Gerbaldi) ; les galaxies dans le domaine invisible (Florence Durrett) ; les galaxies (Lucette Bottinelli) ; l'Univers à grande échelle, les faits cosmologiques (L.B.) ; relativité et cosmologie (Béatrice Sandré). Suivent les comptes rendus détaillés de huit groupes de travail (92 pages) et de dix-sept ateliers (156 pages).

Le format l'exige : dans ma bibliothèque, les sept volumes des écoles d'été depuis celle de 1977 à Lanslebourg, jouxtent les volumes de l'Encyclopaedia Universalis. L'impression, la reliure des écoles d'été sont évidemment moins luxueuses que celles des volumes voisins mais je les ouvre plus fréquemment, avec plus de profit auquel se joint le plaisir de me dire "j'y étais" (ou je n'y étais pas car j'en ai manquées plusieurs) et d'y retrouver par conséquent ce que j'appelle de l'astronomie chaleureuse.

Rappel : pour se procurer ce volume, chèque de 58 F à l'ordre de Melle L.Gouguenheim, DERADN Observatoire de Meudon, 92195 MEUDON CEDEX.

L'horloge solaire du Lycée Stendhal

***** En 1673, l'actuel Lycée Stendhal de Grenoble était un collège de Jésuites. Un certain Père Bonfa y réalisa une remarquable horloge solaire. Dans le cadre d'un PAE, notre Collègue Mme Becquaert (qui, dans le cadre de l'IREM, a également collaboré au lancement de la revue Pentamino) et ses élèves en ont étudié le fonctionnement pour rédiger et éditer une élégante brochure illustrée de figures en couleurs.

Cette "horloge" se présente comme une grande fresque et fonctionne comme un cadran solaire ; un petit miroir fixé sur une fenêtre de la façade Sud du bâtiment permet au Soleil de promener une tache de lumière sur les murs et le plafond qui portent la fresque. Les tables peintes permettent de lire : 1) l'heure dans différentes parties du monde ; 2) le jour de la Lune (grâce à une table des épactes) ; 3) l'heure de la Lune en fonction de celle du Soleil et réciproquement.

On peut aussi lire l'heure dans trois systèmes différents : l'heure française, celle dont nous usons, l'heure romaine (heures variables selon les saisons), l'heure babylonique (heures comptées à partir du lever du Soleil).

Ce bref résumé ne donne qu'une petite idée de la riche documentation contenue dans la brochure de 20 pages qui est un bijou de brochure et que vous pourrez vous procurer au prix de 37 F l'exemplaire (par chèque au Foyer coopératif du Lycée Stendhal, 1 rue Raoul-Blanchard, 38000 Grenoble).

Geminga

***** Tel est le titre d'une sympathique revue trimestrielle fondée par nos amis des Ardennes. "Nous sommes encore très loin d'une Hulotte astronomique", disent-ils avec modestie tout en précisant ainsi quelle est leur ambition (car tout le monde connaît et aime la Hulotte des Ardennes). Geminga est une revue ouverte à tous les publics, ses articles sont de niveaux divers avec dans tous les cas un souci de bonne vulgarisation. Autour de la revue, animation d'expositions, de commissions de travail, de séances d'observation en milieu rural.

Renseignements sur Geminga et le groupe Ardennes Astronomie auprès de Philippe Didier, 15 rue de Montigny aux Bois, 08000 Charleville-Mézières.

Dans les revues

***** - Espace Information, n°29, oct.84 : le point sur les recherches en microgravité.

- L'Echo d'Orion (Société Lorraine d'Astronomie), n°76 : une intéressante expérience de mesure de la distance Terre-Lune.

- La Recherche. Sept 84, n°158 : les glaces extraterrestres par Jürgen Klinger ; des trous noirs bien cachés dans notre Galaxie par J-M. Bonnet-Bidaud. Oct.84, n°159 : la recherche de la vie extraterrestre par Marg. Hack.

- L'Astronomie, Sept.84 : intérêt cosmologique de l'étude du lithium dans l'Univers par François Spite. Oct.84 : le point sur les récentes observations de la comète de Halley par R. Boyer, E. Neyvoz et E. Stram.

- Pour la science. Oct.84, n°84 : un objet superlumineux dans le Grand Nuage de Magellan par J. Mathis, B. Savage et J. Cassinelli.

DERNIERE MINUTE : les dates des journées de Nançay annoncées dans la Chronique du CLEA nous sont communiquées ; 30 janvier, la vie dans l'Univers 20 février, l'expansion de l'Univers, 20 mars, programme d'observation de la comète de Halley. S'inscrire en écrivant à M. CORDEILLE, station de radioastronomie de Nançay, 18330 NEUVY SUR BARANGEON, tél(48) 51 8241; le nombre des participants est limité à 20 personnes ; chaque journée de 9 h 30 à 17 heures, repas pris au restaurant de la station.

EN ATTENDANT SON RETOUR...

Quel retour ? Celui de la comète de Halley, bien sûr, attendu pour 1986. Afin de nous y préparer ou simplement pour calmer un peu notre impatience, quelques rappels historiques ...

Pour Aristote, l'apparition d'une comète était un phénomène sublunaire donc plus proche de la Terre que ne l'est la Lune. Ce n'était donc pas un phénomène astronomique. Ptolémée se rangeait encore à cette opinion puisque dans son célèbre ouvrage, la Syntaxe mathématique où il expose son système du monde, il ne fait aucune mention des comètes. Ce n'était pas l'avis de tout le monde puisque Sénèque, au début de notre ère considère les comètes comme des objets célestes. Mais, phénomène sublunaire ou astronomique, cela restait affaire d'opinion. Il faut attendre le XV^{ème} siècle pour que des mesures précises apportent dans le débat des arguments sérieux. Volontairement, je laisse de côté dans ce feuillet cométaire, toutes les croyances sur les catastrophes éventuellement annoncées par l'apparition des comètes, croyances ni plus ni moins fondées que les croyances astrologiques, ce qui est tout dire.

1.1. Avant Tycho Brahé

Le premier épisode de notre petite histoire se situe à Nuremberg en 1456 : l'astronome Regiomontanus, bon connaisseur de l'oeuvre de Ptolémée et habile observateur, tente de mesurer la parallaxe d'une comète. Il peut d'autant moins se douter qu'il s'agit de notre comète de Halley, qu'il ignore, comme tout le monde à l'époque que certaines comètes sont périodiques, que celle-ci justement réapparaîtra en 1531 et en 1607 avant de recevoir son nom en 1682. Il reste préoccupé par la mesure de la distance de l'objet. Pour mesurer sa position relativement aux étoiles voisines, il utilise des instruments classiques tels que le bâton de Jacob. L'écart angulaire entre le comète et les étoiles repères va-t-il varier selon que la comète sera basse sur l'horizon ou lorsqu'elle est plus haut dans le ciel ? S'il y a variation, la comète est proche, s'il n'y a pas variation, elle est lointaine. Regiomontanus estime que la parallaxe de la comète est inférieure à 6°, ce qui signifie à ses yeux que sa distance est supérieure à neuf rayons terrestres. Cela ne permet pas encore de trancher le débat mais permet cependant de pencher en faveur du caractère céleste de la comète.

Profitons de cette intervention de Regiomontanus dans notre histoire des comètes pour nous intéresser quelques instants à l'astronome lui-même. Que diable, les hommes aussi nous intéressent et pas seulement les comètes ! Johann Müller (1436-1476) était né à Königsberg c'est pourquoi il latinisa son nom en Regiomontanus. Il avait été l'élève à Wien de Georg Purbach (1423-1461) qui fut le premier à exposer en Europe la théorie des épicycles de Ptolémée et, à ce titre, son nom mérite d'être connu. Maître et élève se passionnèrent pour cette théorie et après la mort du maître l'élève partit en Italie à la recherche des meilleurs manuscrits grecs de Ptolémée. De retour à Nuremberg en 1471, Regiomontanus fut frappé par l'intérêt de cette nouvelle invention, l'imprimerie qui justement prenait un grand essor dans cette ville. Il forma aussitôt le projet d'éditer les grands auteurs en traduction latine (l'anglais de l'époque). Son programme

ne comportait pas moins de vingt-deux auteurs, Ptolémée, Euclide, Archimède, Apollonius,... et bien sûr la Nouvelle théorie des planètes de Purbach qui reprenait celle de Ptolémée et enfin les Ephémérides qu'il avait calculées lui-même pour les années 1475 à 1506. Vaste programme que sa mort l'empêcha de mener à son terme et la première traduction latine de Ptolémée ne fut imprimée à Venise qu'en 1505. Précurseur pour l'observation des comètes, Regiomontanus le fut donc aussi pour l'édition des bons auteurs et la publication d'éphémérides fort utiles pour ses disciples et continuateurs.

Parmi ses disciples immédiats, Bernhard Walther accumula les observations ; il mesura 741 hauteurs du Soleil et 615 positions des planètes, de la Lune et des étoiles. Ce fut sans doute la première série de mesures effectuées de façon suivie et Tycho Brahé aussi bien que Kepler en firent leur profit, - tant il est vrai que la science avance toujours lorsque les générations font la chaîne...

Autre précurseur, un médecin de Vérone, Fracastor, qui peut-être a connu Roméo et Juliette, observe en 1538 une comète et remarque l'orientation de la queue à l'opposé du Soleil. Il en déduit, à juste titre, qu'il faut concentrer son attention sur la position de la tête. Fracastor n'est pourtant pas le premier à avoir noté cette orientation de la queue : en 837, des astronomes chinois avaient observé que si une comète est visible peu avant l'aurore, la queue est dirigée vers l'ouest, alors que si une comète est visible le soir, la queue est dirigée vers l'est. C'est encore en observant le passage de la comète de Halley en 1531 que le mathématicien impérial Bienewitz (plus connu sous son nom latinisé Apianus) reconnut que la queue de la comète est à l'opposé du Soleil. Mais il est fort vraisemblable que Fracastor ignorait en 1538 ce que Apianus avait noté en 1531, il restait à faire pour développer la communication entre les astronomes de tous les pays.

1.2. Tycho Brahé et la comète de 1577

Avec Tycho Brahé, les comètes vont acquérir leur statut astronomique : il organise l'observation simultanée de la comète de 1577 avec son collègue Hagécus ; Tycho observe depuis Uraniborg, c'est à dire les environs de Copenhague, Hagécus depuis Prague. Si la comète avait été à la même distance que la Lune, Tycho calcule que ses positions apparentes auraient dû différer de 6 à sept minutes d'arc d'un lieu d'observation à l'autre. Or la différence observée était inférieure à la minute, limite de la précision des mesures. Tycho en déduit que la distance de la comète est au moins six fois la distance de la Lune. Alors, il n'y a plus de doute, l'apparition d'une comète est un phénomène céleste, une comète n'est pas un objet sublunaire, c'est un astre.

Restait alors à déterminer l'orbite. Pas facile, surtout avec l'hypothèse qu'on s'impose encore à l'époque que ce doit être un cercle décrit de façon uniforme. Tycho trouve bien une orbite circulaire auour du Soleil et extérieure à l'orbite de Vénus. Mais il est obligé d'abandonner l'idée pourtant séduisante et traditionnelle du mouvement uniforme. Ce n'est qu'une première tentative pour résoudre un problème difficile qui attendra plus d'un siècle sa solution.

La comète de 1577, grâce à Tycho Brahé, est donc la première à avoir été considérée comme un astre. Elle souleva un grand intérêt. Dans son ouvrage "The comet of 1577 : its place in the history of astronomy", Doris Hellman a recensé cent onze traités la concernant. Seule la comète de Halley entraînera un plus grand flot de littérature.

Est-ce à dire que la préhistoire des comètes est achevée? Non, si l'on en croit l'ampleur de la controverse sur les comètes de 1618.

1.3. Les comètes de 1618 et ce qui s'ensuivit

Trois circonstances expliquent que les comètes de 1618 donnèrent lieu à une très vive controverse opposant Galilée à ses ennemis. La première, le phénomène lui-même : trois comètes observées durant la seconde moitié de l'année 1618, abondance qui ne pouvait pas ne pas retenir l'attention. La deuxième, l'intérêt nouveau du phénomène puisqu'il était désormais possible de l'observer à la lunette ; ce qui ne signifie pas que tous les utilisateurs savaient bien interpréter ce qu'ils voyaient dans les médiocres instruments de la première génération (la deuxième étant celle qui utilisera l'oculaire de Huygens) Enfin et surtout, le climat qui règne en Italie et entoure Galilée de façon déjà oppressante ; dès 1615 le cardinal Bellarmine a ordonné à Galilée de ne plus propager la doctrine de Copernic ; Galilée abandonne le projet d'écrire un grand traité du système du monde qui attaquerait de front l'autorité pontificale, il discute en petit comité de ses recherches ou traite publiquement de problèmes ne prêtant pas le flanc aux critiques comme la mesure des longitudes en mer. Ce qui ne signifie pas que Galilée abandonne ses convictions et il faudra peu de choses pour lui donner l'occasion de laisser libre cours à son talent de polémiste.

L'étincelle est une "Discussion sur les trois comètes de 1618" publiée par Horatio Grassi (1583-1654) du Collège romain des Jésuites. En fait, rien dans cet écrit ne paraît dirigé contre Galilée. Mais celui-ci est sensible à tout ce qui vient des Jésuites dont il sait par expérience qu'il faut se méfier. Dans le texte de Grassi, il relève une conception erronée du grossissement de la lunette mais ce n'est qu'un détail. Grassi confirme la nature sublunaire des comètes et Galilée en doute ; mais les Jésuites voient dans la nature céleste des comètes une preuve contre Copernic alors que ce dernier n'a traité nulle part des comètes et que la localisation prouvée par Tycho va plutôt dans le sens des preuves contre Ptolémée.

Bref, une situation assez confuse des adversaires au départ, tout au moins telle qu'elle nous paraît. Peut-être n'en était-il pas de même aux yeux de Galilée lui-même. Tout en sachant qu'il lui faut être prudent, il se lance dans la polémique. Tout d'abord en proposant à son élève Mario Guiducci (1585-1646) de répliquer au jésuite par une série de conférences ; cela ne trompe personne, on reconnaît le style du maître. Réplique violente de Grassi, la Libra Astronomica. Alors Galilée réplique sans plus se camoufler, il publie L'Essayeur qui contribuera beaucoup à élargir le fossé entre Galilée et les Jésuites, à préparer par conséquent la sinistre condamnation de 1633.

La controverse peut paraître d'un intérêt mineur au point de vue de l'astronomie. Les thèses défendues par Galilée personnellement ou par l'intermédiaire de Guiducci surprennent. Non quand il corrige ce que Grassi interprétait de travers quant au grossissement de la lunette mais quand il refuse d'admettre qu'une comète est un astre;

il s'acharne à assimiler l'apparition d'une comète à la réflexion de la lumière du Soleil sur des vapeurs émergeant du cône d'ombre de la Terre. On comprend mal son obstination à refuser ce que Tycho a établi plus de vingt ans auparavant. Mais, pour Galilée, est-ce là ce qui importe ? Sans doute veut-il profiter de circonstances qu'il juge plus favorables pour attaquer de biais ses éternels ennemis, les Jésuites ; le nouveau pape, Grégoire XV, lui est moins hostile que son prédécesseur Paul V ; la lettre qu'il vient de recevoir du jeune Virginio Cesarini qui lui explique combien il est acquis, lui simple philosophe, à sa conception de la méthode scientifique, tout cela persuade le savant qu'il peut marquer des points dans la lutte pour la recherche scientifique. Tel est, pour lui, l'objet de son Essayeur . Pour nous, acquis depuis longtemps à ses idées, cela nous intéresse moins et nous regrettons d'autant plus son acharnement à considérer la comète comme sublunaire.

Dans le livre "The controversy on the comets of 1618" (édition University of Pennsylvania Press, Philadelphia 1960), Stillman Drake a réuni les deux textes de Grassi, "Sur les trois comètes de 1618" et "la balance astronomique", le "Discours sur les comètes" de Guiducci (et Galilée), la lettre de Guiducci à Tarquinio Galluzi qui réplique à la "Balance astronomique" et enfin "L'Essayeur" de Galilée. On doit regretter, en passant, que l'édition française ne fournisse pour ainsi dire jamais d'ouvrages de cette qualité. Celui-ci se termine par un "Appendice aux Hyperaspistes". "Tychonis Brahe Dani Hyperaspistes" est un ouvrage écrit par Kepler pour défendre la mémoire et l'oeuvre de Tycho Brahé violemment attaquées par un certain Scipio Chiaramonti. Kepler n'a jamais adopté le système du monde imaginé par Tycho mais il tient à ce que soit rendu hommage à l'oeuvre du grand observateur. En appendice, il en profite pour répliquer aux allusions faites à Tycho et à lui-même au cours de la controverse sur les comètes. C'est la meilleure conclusion à cette malheureuse affaire : Kepler pense que Galilée regrettera plus tard de rejoindre les critiques sans valeur de Chiaramonti à Tycho sur la parallaxe de la comète. Pour lui Kepler, une comète est bien un astre du système solaire. La formation de la queue, à l'opposé du Soleil, il la voit comme l'émission de vapeurs provenant du noyau de la comète par l'action de la lumière du Soleil, le mouvement de la comète expliquant la courbure de cette queue. Ce ne sont que des conjectures mais elles répondent mieux au sujet que l'argumentation de Galilée.

Ainsi va le développement de la science. En même temps, des avancées et des reculs sur un sujet précis (ici la nature des comètes) et des controverses violentes sur des questions de méthode. Après coup, ces polémiques paraissent avoir absorbé beaucoup trop de temps et d'énergie mais qui peut affirmer qu'elles n'ont pas participé indirectement au progrès de la connaissance ?

(à suivre)

K.Mizar

=====

METTEZ VOTRE PLANETAIRE A L'HEURE

Au 1er janvier 1985 les longitudes écliptiques héliocentriques des planètes seront:

Mercure: 176°; Vénus: 44°; Terre 100°; Mars: 10°; Jupiter: 294°; Saturne: 231°

L'ASTRONOMIE DANS LE CALENDRIER DES PTT
(suite et fin)
LA LUNE DANS LE CALENDRIER

Parmi les renseignements qui figurent dans le calendrier, les prévisions concernant la Lune intéressent particulièrement le public. (On y trouve entre autre des prévisions météorologiques basées sur le calendrier lunaire !). Les données sur la Lune sont de deux types:

- les lunaisons: les différentes phases apparaissent avec leur symboles habituels
- les heures précises des différentes phases
- les heures de lever et de coucher à Paris

1°) Durée de la lunaison.

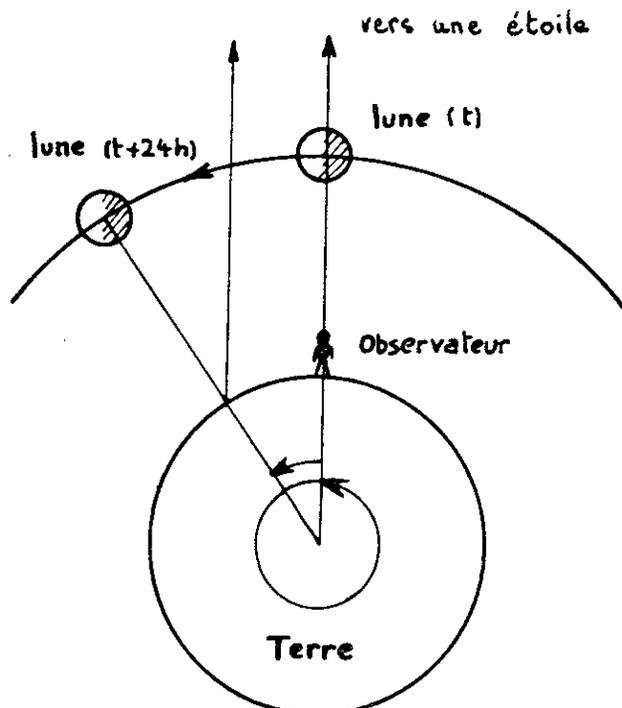
L'intervalle de temps entre deux phases analogues (deux nouvelles lunes par exemple) s'appelle lunaison, ou encore révolution synodique. Entre la dernière nouvelle lune de 1981 (samedi 26 décembre) et la dernière nouvelle lune de 1982 (15 décembre) il y a eu 12 lunaisons en 354 jours, soit une moyenne de 29,5 jours. La valeur moyenne obtenue sur un grand nombre d'années est de 29,53 jours.

Si l'on tient compte des horaires des phases données dans dans le calendrier, on s'aperçoit que sur une année la lunaison varie de 29 jours 7 heures 12 minutes à 29j 19h 31 min, ce qui met en évidence la complexité du mouvement de la Lune. Cette variation de l'ordre de 12 heures (en fait qui peut aller jusqu'à 14h) complique singulièrement le calendrier ecclésiastique qui fixe la date des fêtes mobiles à partir de celle de Pâques. La Lune peut se trouver en avance ou en retard de 1 ou 2 jours sur la Lune fictive, ce qui conduit à célébrer Pâques 1 semaine et 1 mois trop tôt ou trop tard.

2°) Décalage journalier de la Lune.

En 24 heures, c'est-à-dire après un tour complet de la Terre sur elle-même, l'observateur retrouve à peu près les mêmes étoiles au méridien (pour être précis, il faudrait parler de 24 heures sidérales). Puisque la Lune tourne autour de la Terre en environ 30 jours, en 24h elle a tourné de 1/30 tour. L'observateur ne voit plus la Lune au même endroit, elle s'est déplacée. Son passage au méridien, ainsi que son lever et son coucher, se décalent de jour en jour de $(1/30) \times 24h$ soit 48 min.

L'expérience montre que l'écart entre 2 levers de la Lune est supérieur à 24h et qu'il faut adopter la valeur de 24h 48min en moyenne, ce qui prouve du même coup que la Lune se déplace sur sa trajectoire dans le sens direct, c'est-à-dire d'ouest en est. Donc, pendant la nuit, alors que la Lune et les étoiles sont entraînées en bloc vers l'ouest par la rotation diurne de la Terre, la Lune remonte le ciel étoilé. Le mouvement vers l'est est de $(1/30) \times 360^\circ$ en un jour soit 12° en 24h ou $1/2^\circ$ à l'heure. C'est la valeur du diamètre lunaire. Ainsi, sur le fond des étoiles, la Lune se déplace de son diamètre en 1 heure vers l'est.



Vérification:

Pour le mois de janvier 1983, la Lune se lève à 18h 38 en début de mois et à 20h 13 le 31, alors qu'il y a eu 30 levers pour un intervalle de temps de 745,5 h soit une moyenne de 24h 51min entre deux levers consécutifs.

Le 6 janvier, la Lune ne se lève pas; on pourrait croire qu'il s'agit de la nouvelle lune, en fait celle-ci a eu lieu le 14. La période de 24h 48min entre deux levers est telle que certains jours la Lune se lève peu avant 24h, se couche entre midi et 13h et se lève à nouveau, mais après 24h, donc le lendemain. Il y a donc des jours où la Lune ne se lève pas, ou bien ne se couche pas.

Conséquence:

Le phénomène des marées est un problème complexe où interviennent plusieurs paramètres parmi lesquels l'effet de la Lune est prépondérant. Le décalage journalier des horaires des marées est une conséquence directe du retard de la Lune.

3°) Révolution sidérale de la Lune

On appelle révolution sidérale de la Lune l'intervalle de temps nécessaire à la Lune pour que, en effectuant sa révolution autour de la Terre, elle retrouve la même position par rapport aux étoiles. Appelons T cette période. En un jour le déplacement de la Terre autour du Soleil est $360^\circ/365,25$. C'est aussi le déplacement angulaire apparent du Soleil autour de la Terre.

Le déplacement angulaire de la Lune est $360/T$.

Leur différence est le déplacement angulaire apparent de la Lune par rapport au Soleil qui est lié à la période synodique (retour des phases de la Lune)

$$\frac{360}{T} - \frac{360}{365,25} = \frac{360}{29,53}$$

d'où $T = 27,3$ jours

4°) Cycle de Méton

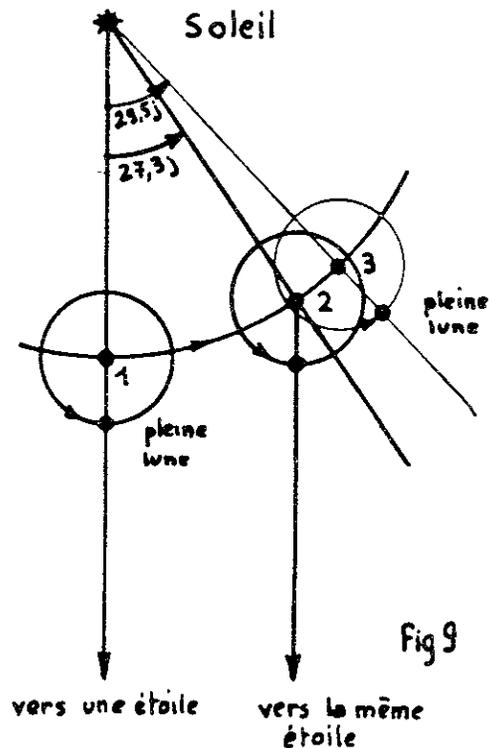
En 1982, la première pleine lune a eu lieu le 9 janvier à 19h 53. On peut être amené à se poser deux questions:

- à quelle date aura lieu le première pleine lune de 1983 ?
- Combien d'années faudra-t-il attendre pour que la pleine lune se produise à nouveau le 9 janvier ?

La lunaison durant environ 29,53 jours, il y a donc 12 lunaisons complètes dans une année, ce qui couvre 354 jours. Il reste donc 11 jours pour une année commune. La pleine lune de l'année suivante aura donc lieu 18,5 jours plus tard. On passera ainsi du 9/01/82 à 20h au 28/01/83 vers 8h.

Vérification: PL le 28 janvier vers 22h; notre calcul est acceptable, compte tenu du problème des inégalités des lunaisons par rapport à la moyenne.

Les phases de la Lune se retrouveront aux mêmes dates lorsque se seront écoulés un nombre entier de lunaisons et un nombre entier d'années. Il faut donc chercher les nombres n et k qui satisfont: $365,25 n = 29,53 k$. Ils doivent être entiers et les



plus petits possibles. La recherche mathématique des nombres n et k porte le nom de fractions continues. Pour $n = 19$ et $k = 235$, l'égalité est à peu près vérifiée (on a respectivement 6939,75 et 6939,55). Au bout de 19 ans, les phases de la Lune se retrouvent aux mêmes dates de l'année: cette période est le cycle de Méton, astronome grec qui découvrit ce cycle en 433 av. JC.

5°) Les nombres énigmatiques du calendrier.

Sur le calendrier on peut lire les indications suivantes: nombre d'or 8; cycle solaire 4; épacte 16; lettre dominicale B.

a) Le nombre d'or: Dans l'antiquité, l'apparition du croissant lunaire après la nouvelle lune servait de repère à certaines cérémonies. Il devint donc utile de connaître à l'avance la date des nouvelles lunes. Après la découverte du cycle de Méton, il suffisait de connaître les dates sur un cycle de 19 ans et d'extrapoler. On numérote de 1 à 19 les différentes années du cycle de Méton, en donnant le numéro 1 à une année où la nouvelle lune eût lieu le 1er janvier. Le nombre qui indique le numéro de l'année dans le cycle de 19 ans s'appelle le nombre d'or.

b) L'épacte: C'est l'âge de la Lune au 1er janvier, en convenant d'appeler 0 le jour de la nouvelle lune. On a vu précédemment qu'il y avait d'une année sur la suivante un décalage de 11 jours. Ainsi d'une année sur l'autre l'épacte augmente de 11. En 1982, épacte 5; en 1983, épacte 16. La connaissance de l'épacte permet de fixer la date des nouvelles lunes au début de chaque année pour un cycle de Méton. Le 1er janvier, la Lune a 16 jours; donc 13 jours plus tard elle sera pleine, soit le 14 janvier. On ne peut rien dire de l'heure et bien entendu de légers décalages sont possibles. C'est toute la différence entre la Lune astronomique et la Lune fictive du comput ecclésiastique.

La détermination de l'épacte d'un millésime donné est très complexe et le problème ne sera pas détaillé ici.

c) La lettre dominicale: La lettre dominicale est une lettre parmi les 7 premières de l'alphabet: A,B,C,D,E,F,G. Son numéro dans l'ordre alphabétique (1 pour A, 2 pour B etc) indique la date du premier dimanche de l'année. En 83, lettre B, donc le 2 janvier est un dimanche. Dans une année commune, il y a 365 jours soit 52 semaines et un jour. Si le 1er janvier est un samedi, le 31 décembre est aussi un samedi et le 1er janvier de l'année suivante est un dimanche. S'il n'y avait pas d'années bissextiles, l'ordre des lettres dominicales serait B A G F E D C B A G ... La présence des années bissextiles perturbe la succession des lettres dominicales; l'année bissextile porte deux lettres dominicales, l'une valable avant le 1er mars, l'autre après. La lettre dominicale pour 85 sera F et ainsi de suite. Au lieu de se reproduire tous les 7 ans, le cycle est de 28 ans, c'est le cycle solaire.

Tous les 28 ans, les jours de la semaine ont la même chronologie dans le calendrier, mais les phases de la Lune, donc les fêtes mobiles, diffèrent.

CONCLUSION

Le calendrier est une mine de renseignements astronomiques à exploiter avec des élèves. Suivant leur niveau et leurs connaissances mathématiques, on choisira tel ou tel thème. Les questions traitées ne font pas appel à la trigonométrie et peuvent donc être abordées dans le premier cycle.

Bon courage ! Et n'oubliez pas d'accueillir votre facteur et son calendrier avec votre plus grand sourire...

J.P. Parisot, F. Puel et F. Suagher (Besançon)

Note de la Rédaction: Cet article termine notre "feuilleton" sur le calendrier des PTT. Cependant, nos collègues de Besançon nous ont laissé espérer une suite dans laquelle seraient exploités les renseignements du calendrier concernant les éclipses.

ETOILES A NEUTRONS ET PULSARS
LA DECOUVERTE DES PULSARS

Jusqu'en 1967, une étoile à neutrons était un objet purement théorique qui allait recevoir une éclatante confirmation avec la découverte des pulsars. A la fin de 1967 une étudiante de 3ème cycle, Jocelyn Bell, découvrit une anomalie dans les enregistrements d'un nouveau radiotélescope destiné à l'étude de la *scintillation* de certaines radiogalaxies.

L'atmosphère terrestre est en mouvement permanent et comporte des fluctuations constantes, notamment de densité. Ces fluctuations de densité engendrent des fluctuations d'indice de réfraction qui sont la cause essentielle de la scintillation apparente des étoiles. Dans le vide, au-delà de notre atmosphère, les étoiles ne scintillent pas. Cependant le milieu interstellaire contient de vastes nuages de particules ionisées dont la densité fluctue également. Il en résulte non pas une scintillation du rayonnement visible de l'étoile, mais du rayonnement émis dans le domaine radio. Une radiosource de taille suffisamment petite semble alors scintiller à ces longueurs d'onde. On peut objecter que le milieu interstellaire est quasiment vide et qu'il ne saurait donc y avoir de telles fluctuations. Il faut toutefois se souvenir que les distances parcourues par le rayonnement provenant d'étoiles sont infiniment plus grandes que celles effectuées dans l'atmosphère de sorte que, même si la densité est plus faible, le rayonnement interagit avec un nombre appréciable d'ions, de molécules et d'électrons et la scintillation a bien lieu.

Parmi ces milieux ionisés (qu'on appelle des "plasmas") interstellaires, il en est un qui entoure le Soleil et qu'on appelle le "vent solaire". Il est donc particulièrement important de l'étudier et l'on s'attend, entre autre, à ce que le phénomène de scintillation (pour les ondes radio) soit négligeable la nuit. Or, c'est précisément la nuit et aux mêmes heures qu'étaient enregistrés des signaux semblant provenir d'un point déterminé de l'espace.

Toutefois, le phénomène était si étrange qu'avant de conclure à l'existence d'une radiosource d'un type nouveau, il était nécessaire d'éliminer toutes les sources possibles d'interférences parasites dues à des causes tout à fait terrestres et normales tels que des circuits d'allumage mal isolés de véhicules passant à proximité, des lignes téléphoniques, des radars ou plus simplement des interférences dans l'appareillage électrique utilisé. Une à une toutes les causes "terrestres" possibles étaient éliminées par l'équipe de A. Hewish: le phénomène insolite remarqué par J. Bell était bien dû à une radiosource d'un type nouveau.

A priori, les émissions périodiques du premier pulsar découvert étaient si étonnantes qu'un moment A. Hewish et ses collaborateurs ont pu penser faute d'autres explications qu'il s'agissait là de signaux envoyés dans l'espace par une civilisation d'extra-terrestre. *"Ceci montrait que la source était de dimensions planétaires et la possibilité que ces signaux puissent provenir d'une civilisation extra-terrestre ne pouvait plus être ignorée"* (A. Hewish). Néanmoins le groupe de Cambridge vérifia rapidement que cette source radio ne possédait pas de mouvement orbital de type planétaire: il est en effet difficile d'imaginer des extra-terrestres habitant une étoile, siège de violentes réactions nucléaires, et seule une planète peut contenir la Vie. En outre, d'autres radiosources analogues étaient découvertes rapidement et cette séduisante hypothèse était abandonnée... sauf à titre de plaisanterie à usage interne puisque les premiers pulsars furent baptisés LGM1, LGM2, ...: LGM pour "Little Green Men" = "Petits Hommes Verts". Malheureusement le manque de prudence du groupe de Cambridge fit que l'"information" filtra à l'extérieur et que la presse à sensation annonça la découverte d'extra-terrestres à grand renforts d'hypothèses et de commentaires fantaisistes.

Ce que l'on observe.

Ce qui caractérise avant tout les pulsars, c'est une émission radio pulsée d'une remarquable stabilité, de l'ordre de celle des meilleures horloges à quartz: les im-

pulsions observées se répètent avec une précision d'un cent millionième ! Ces périodes vont de 33 millisecondes pour le pulsar du Crabe (la plus courte période et le pulsar le plus récent) à 4,3 secondes. Ces impulsions possèdent des formes très diverses, aléatoires, d'une période à l'autre. Pour chaque pulsar, on peut obtenir une impulsion-type en effectuant une moyenne sur les impulsions successives de manière à éliminer le "bruit". Cette impulsion-type constitue en quelque sorte la "signature" d'un pulsar. Ces impulsions-type présentent une très grande diversité. Certaines possèdent une structure double.

Dans tous les cas ces profils moyens sont extrêmement stables. Si l'on augmente la résolution temporelle avec laquelle on analyse chacune des impulsions, on trouve une structure plus fine et quasi-périodique: ces micro-impulsions possèdent typiquement des échelles de temps de 10 à 100 microsecondes. Une autre caractéristique importante de ce rayonnement pulsé est son importante polarisation linéaire et, à un moindre degré, circulaire, ce qui indique la présence de champs magnétiques intenses.

Bien que les pulsars émettent surtout dans le domaine des longueurs d'ondes radio certains, comme le pulsar du Crabe, émettent également un rayonnement pulsé avec naturellement la même période que le rayonnement radio, dans les domaines visibles, X et gamma.

De manière générale, les spectres de ces rayonnements sont des lois de puissance qui comportent quelques fois deux branches (ce qui signifie que l'intensité du rayonnement émis est une puissance négative de la fréquence).

L'analyse détaillée des rayonnements des pulsars montre également le phénomène très important (voir plus loin) de l'accroissement au cours du temps de la période. Typiquement, pour un pulsar ayant une période d'une seconde, la variation de cette période pendant une seconde est de l'ordre de 10^{-15} s (voir tableau ci-dessous).

Tableau B: périodes et ralentissement de quelques pulsars

Pulsar	période (en seconde)	accroissement de la période par seconde
CP 0834	1,2737631515	$(5,0 \pm 0,8) \times 10^{-15}$
CP 0950	0,2530650372	$(0,3 \pm 0,1) \times 10^{-15}$
CP 1133	1,1879109795	$(4,1 \pm 0,5) \times 10^{-15}$
CP 1919	1,337301109	$(1,1 \pm 0,5) \times 10^{-15}$
NP 0532 (Crabe)	0,03309114	$3,5 \times 10^{-13}$

Enfin, dernier phénomène important concernant les pulsars, on observe pour quelques uns d'entre eux (le Crabe, Vela, etc...) de brusques accélérations de la période pendant quelques jours puis un retour à la situation antérieure. Ces accélérations, totalement imprévisibles, sont très intéressantes dans la mesure où elles peuvent probablement fournir des indications sur l'intérieur des étoiles à neutrons.

Les pulsars, dont près de 400 ont été observés à l'heure actuelle, sont des objets galactiques dont on peut estimer les distances grâce aux mesures de dispersion des signaux émis aux diverses fréquences. Du fait de l'existence du plasma interstellaire, les grandes longueurs d'onde sont observées plus tard que les courtes et cette différence entre les temps d'arrivée dépend à la fois de la distance parcourue par le signal et de la densité d'électrons dans le plasma. Celle-ci peut être estimée et donc la distance à laquelle se trouve le pulsar observé. Dans certains cas, (le pulsar du Crabe par exemple) ces estimations peuvent être heureusement corroborées par des mesures indépendantes.

En général, on ne peut pas évaluer la masse d'un pulsar, sauf dans le cas où celui-ci fait partie d'un système binaire; autrement dit, lorsqu'il orbite autour d'une autre étoile. Dans ce cas, les caractéristiques de la trajectoire (période, longueur du grand axe) permettent de connaître la masse moyenne des objets du système et donc d'estimer la masse du pulsar (troisième loi de Kepler).

(... à suivre) Rémi Hakim

ACTIONS DE POPULARISATION DE L'ASTRONOMIE
menée par
L'Association finlandaise d'astronomes amateurs "U.R.S.A."

On constatera avec plaisir que l'astronomie d'amateurs en Finlande est bien vivante, bien que les conditions d'observation dans notre pays ne soient pas très favorables. Outre les groupes d'observateurs, équipés en coupôles et télescopes, il existe, comme partout ailleurs, beaucoup de personnes qui souhaitent être bien tenues au courant de ce qui se passe dans le domaine de l'astronomie. Ces deux groupes, ainsi que des astronomes professionnels, ont créé un lieu de rencontre commun qui est l'Association Finlandaise d'Astronomes Amateurs ou URSA.

Cette association, fondée en 1921, joue un rôle important dans la transmission des informations et la popularisation de l'astronomie et des sciences dans un cercle qui dépasse celui de ses adhérents, 4000 environ actuellement. Dans cette revue rapide, je me concentrerai sur le rôle de l'URSA dans la diffusion des connaissances en Finlande.

Un canal principal de l'information est le journal "Tähdet ja Avaruus" (Etoiles et Espace). Ce magazine paraît six fois par an, sur au moins 32 grandes pages, avec une présentation soignée et des photographies en couleur de grande qualité. Il donne une vue d'ensemble sur les événements astronomiques tant au niveau professionnel qu'au niveau amateur. Chose importante, les astronomes professionnels finnois coopèrent activement avec l'URSA et écrivent pour Tähdet ja Avaruus tant des articles de revue que de courtes nouvelles concernant leurs domaines respectifs. De fait le rédacteur en chef et le secrétaire de rédaction sont tous les deux des astronomes professionnels.

Il est peut-être intéressant de mentionner quelques sujets typiques traités dans un numéro de Tähdet ja Avaruus. Chaque numéro a une orientation générale, commentée par la rédaction. Par exemple, dans le premier numéro de 1984 le secrétaire de rédaction H. Oja décrit ainsi les projets de l'année :

"Il y aura beaucoup d'activités dans le domaine de l'astronomie cette année. Partout en Finlande on prépare la journée d'astronomie du Printemps. Et le 24 mars nous essaierons de montrer l'attrait et l'intérêt de l'astronomie à toute la Finlande. Cet été, beaucoup de recherche spatiale. A Dipori in Espoo (l'université de technologie proche de Helsinki), se tiendra pendant un mois une exposition sur la recherche spatiale soviétique, on pourra par exemple visiter l'intérieur d'une station orbitale Saliout.

A l'automne, il y aura une importante manifestation des astronomes professionnels à l'occasion du 150ème anniversaire de l'Observatoire d'Helsinki. Il y aura un colloque la publication de deux livres et l'émission d'un timbre poste commémoratif.

En dehors de ces manifestations, un travail plus obscur se poursuit, qui jette les fondations de développements futurs. Dans le cadre de l'URSA, nous travaillons à la réalisation d'un petit planétarium mobile qui sera très utile dans les écoles ; l'exemple de ce qui se fait à Kinnula dans ce domaine est très encourageant. Et les observateurs actifs de l'URSA vont bientôt avoir leur propre publication "URSA MINOR".

Deux grands projets dans l'astronomie professionnelle. La Finlande a décidé de participer au projet des pays nordiques de construction d'un télescope aux Iles Canaries, et les astronomes de Turku auront à construire le miroir de 2 mètres 50 de diamètre. Enfin, la Finlande a décidé de participer aux activités spatiales au sein de l'Agence spatiale Européenne, ce qui ouvre des perspectives de développements instrumentaux.

La comète de Halley constitue l'un des sujets de recherche les plus intéressants en astronomie. Il intéresse à la fois les professionnels et les amateurs. C'est à la fin de l'année qu'on commencera vraiment à s'y intéresser : les deux sondes soviétiques Vega entreprendront leur grand voyage vers Noël, pour atteindre le noyau de la comète et le photographier en mars 1986".

Chaque numéro consacre plusieurs pages à la recherche spatiale. Il est souvent question de recherche soviétique car le Dr Oja s'intéresse d'une part beaucoup au sujet et, d'autre part, lit couramment le russe. Il y a bien sûr une rubrique "Nouvelles

astronomiques" concernant des résultats intéressants. Ce travail est généralement préparé par des professionnels.

Un ou deux articles de fond sont consacrés dans chaque numéro à un sujet astronomique particulier. Citons, pour les numéros récents, les galaxies lenticulaires, la cosmologie, les mouvements des pôles terrestres. Il y a aussi des articles sur des sujets aussi divers que les problèmes des femmes astronomes ou l'achat d'un ordinateur personnel.

On doit aussi mentionner une série d'articles consacrée à l'explication de concepts de base pour les débutants, une page pour les observateurs du "ciel profond" et des articles ou des notes rédigés par les observateurs amateurs concernant leur équipement et leurs observations.

Une rubrique intéressante aussi : "Questions et Discussions", qui reçoit beaucoup de courrier de la part des lecteurs. Mentionnons enfin une revue des ouvrages nouvellement publiés, la part qui est faite à la Science-Fiction et aux OVNI.

En dehors de Tähdet ja Avaruus, l'URSA publie un nombre important de livres à divers niveaux de vulgarisation, écrits par des astronomes professionnels ou des physiciens le plus souvent; une vingtaine de titres sont actuellement disponibles. Deux ouvrages importants vont être publiés cette année : un manuel de base, au niveau universitaire, d'environ 650 pages et "Questions ouvertes en Astronomie" qui marquera le 150ème anniversaire de l'Observatoire d'Helsinki.

L'URSA édite aussi une collection d'ouvrages de Science-Fiction de haut niveau, généralement des traductions, dans des domaines liés à l'astronomie ou la physique. Une série de conférences données par Fred Hoyle a accompagné la publication en 1982 du livre de F. et G. Hoyle. L'URSA édite aussi un magazine pour les amateurs de Science-Fiction ; elle publie des ouvrages écrits par des astronomes sur les sujets controversés de l'astrologie et des OVNI.

Dans ce flot de publications, l'astronomie d'amateurs n'est pas oubliée. Mentionnons à titre d'exemple de bons guides du ciel nocturne ou des guides dans la construction de télescopes. L'URSA édite aussi des séries de diapositives, sur différents sujets, qui sont particulièrement utiles aux enseignants.

Mentionnons enfin que l'URSA envoie régulièrement aux différents journaux finlandais des feuilles d'information sur les nouvelles astronomiques les plus intéressantes, qui sont souvent reproduites par plusieurs de ces journaux.

Il y a chaque mois à Helsinki, ainsi que dans beaucoup de villes de Finlande où existe une section de l'URSA, une conférence publique donnée par un astronome professionnel. Comme nous ne sommes pas très nombreux en Finlande, il nous est difficile de nous dérober à l'invitation aimable mais ferme qui nous est faite au moins une fois chaque année. Ce printemps, j'avais une raison sérieuse et très agréable de récuser l'invitation, je travaillais à l'Observatoire de Meudon tout près de votre beau Paris, avec Lucette Bottinelli et Lucienne Gougenheim.

Pekka TEERIKORPI
Astronome à l'Observatoire de Turku

ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE
Le retour à la cosmologie positiviste

Comme nous avons essayé de le montrer le désarroi de la cosmologie vers les années 1930, sa faiblesse, oserait-on dire, résidait paradoxalement dans son essor-même. Parce que les équations d'Einstein atteignaient à la plus grande généralité théorique, parce que d'excellents mathématiciens, comme Robertson, savaient en extraire de façon exhaustive toutes les solutions compatibles avec le principe d'homogénéité, ces solutions **apparaissaient** trop nombreuses. Comment choisir parmi elles la solution représentative de l'univers réel ? Pourtant cette difficulté de choix ne devait pas faire renoncer au cadre de la relativité générale. On avait bien vu l'échec de toutes les tentatives isolées dans d'autres hypothèses de base.

L'attente de nouvelles découvertes par l'observation astronomique aurait dû être, certes, la seule attitude de sagesse. Mais l'impatience de connaître, n'est-elle pas la motivation la plus impérieuse du chercheur ? Reprochera-t-on à Einstein, à Gold, à Bondi, à Hoyle, et à tant d'autres, d'avoir voulu, par la seule puissance de l'esprit, devancer des décades de lentes et patientes découvertes d'observations ?

Nous parlerons peu de la solution choisie par Einstein, avec l'aide de De Sitter. Le modèle d'Einstein-De Sitter de 1935 est, comme le dit Merleau-Ponty, un modèle d'économie logique. Constante cosmologique nulle, pression cosmique nulle, courbure spatiale nulle, le modèle est alors complètement déterminé. La géométrie de son espace est infinie et quasi euclidienne. Son expansion débute par une explosion primordiale. On notera que, chez Einstein, il n'y a pas dans ce choix, contradiction avec sa première attitude de 1917 qui l'avait conduit à un modèle fini d'univers. La difficulté d'alors, d'un univers infini concernait le potentiel de gravitation mais n'existait plus dans un modèle en expansion.

Quelles furent les raisons qui poussèrent Einstein et De Sitter au choix d'un tel modèle ? Cette "économie logique" de 3 constantes pour déterminer le modèle, cet appel à la raison suffisante, évoqueraient plus, chez des auteurs de moindre renommée, une sorte de coup de dés, une véritable loterie qu'une démarche scientifique. Une analyse un peu approfondie de la question montre qu'Einstein, renonçant en fait à toute solution cosmologique définitive, se résigne par le choix de ce modèle à une hypothèse de travail, basée sur l'analogie avec les expériences de gravitation. Si l'expansion est gravitationnelle, elle va en se ralentissant, comme la pierre qu'on lance en l'air. Cette remarque élimine déjà tous les modèles en accélération d'expansion.

Ceux qui restent, présentent tous une explosion primordiale, leur courbe d'expansion est, tout à fait à l'image des orbites gravitationnelles des comètes, elliptique, parabolique, ou hyperbolique. Or, que fait l'astronome devant la trajectoire d'une comète inconnue dont il ne voit qu'un tout petit tronçon, juste quand la comète est visible près du soleil ? Il décrit l'orbite à l'aide de la parabole. C'est, provisoirement, très suffisant car au périhélie, ellipse, parabole, hyperbole se confondent. Pour une raison analogue, Einstein choisit la solution parabolique qui détermine complètement l'univers, pour son étude immédiate, mais naturellement sans plus attacher désormais aucune valeur épistémologique à cette solution qui n'est qu'une hypothèse de travail. Notamment le caractère infini de l'espace n'y a aucune valeur de connaissance philosophique acquise.

Le choix de Bondi et Gold est guidé par un esprit tout différent. Si le choix des modèles est si vaste, n'est-ce pas parce que le principe de base est trop large ? Un principe plus restrictif permettrait sans doute de restreindre le choix, peut-être d'aboutir à une solution unique.

Ce principe hautement restrictif, Gold et Bondi allaient le déduire d'une généralisation du principe cosmologique d'Einstein, généralisation d'ailleurs mieux

adaptée aux progrès de l'astronomie qui venaient de révéler l'expansion de l'univers, et, partant, son évolution.

D'après le principe cosmologique d'Einstein, de 1917, toutes les lois de la physique devaient être les mêmes partout, en tous les points de l'univers. A cette époque, le modèle était imaginé comme un modèle statique et, par conséquent, l'évolution de ces lois physiques au cours du temps n'avait pas à être envisagée. Mais que l'univers évolue, conformément à l'observation de l'expansion de l'espace, prouvée par la récession des galaxies, alors se posait aussitôt le problème suivant : certes, à un instant donné, les lois de la physique sont bien les mêmes en tous les points de l'espace, mais, d'un instant à l'autre, restent-elles les mêmes ? Gold et Bondi sont ainsi amenés à poser le "principe cosmologique parfait" : toutes les lois physiques sont les mêmes en tout point de l'espace et en tout temps.

Ainsi partout et toujours, l'univers reste identique à lui-même l'expansion n'en est d'ailleurs qu'une structure. Cette identité de l'univers avec lui-même partout et toujours valut au modèle le nom de modèle stationnaire. Il apparaît comme un modèle particulier de Robertson. L'expansion y est accélérée, même plus précisément exponentielle. Elle couvre l'infinité du temps. Ainsi à chaque instant elle se manifeste avec le même taux ; elle dure de toute éternité et se poursuivra indéfiniment. L'espace est infini, euclidien mais chaque observateur découvre un horizon à ses observables. Les lois de la physique sont immuables.

Il est inutile d'insister, après l'énumération de telles propriétés, sur la très haute valeur philosophique d'un tel modèle, pièce de choix pour les spécialistes de l'épistémologie. C'est évidemment le seul modèle qui assure l'espoir de la connaissance totale, l'univers tout entier étant, à tout instant, identique à la partie que tout observateur peut découvrir dans la limite de son horizon. Mais plus encore par cette propriété d'assurer la plénitude de la connaissance, l'opinion scientifique devait être frappée par une propriété secondaire, corollaire très révolutionnaire du principe cosmologique parfait. Le modèle de Gold et Bondi présente la propriété de la création continue de la matière. En effet, d'après le principe de ces auteurs, la densité de matière doit être constante, la même en tout lieu et en tout temps. Mais cette densité est le rapport de la masse au volume qui la contient et ce dernier augmentant à cause de l'expansion, la masse doit donc augmenter pour que la densité reste constante. Le taux de cette création continue est d'ailleurs extraordinairement faible et tout à fait indécélable, au point que la loi de conservation de la masse reste une bonne approximation des faits dans ce modèle.

Quelques années plus tard, Hoyle devait développer une théorie tout à fait analogue. En fait il déplaçait les principes. Prenant la propriété de création continue comme principe, il établissait que cette hypothèse, jointe à celle d'un espace infini euclidien, déterminait complètement la solution des équations de relativité générale. Une fois de plus, ces équations montraient leur souplesse à s'adapter à des hypothèses supplémentaires. Le modèle de Hoyle, à création continue, n'était pas essentiellement différent de celui de Gold et Bondi. Il avait notamment le contenu du principe cosmologique parfait comme propriété fondamentale.

C'est une curieuse chose, devant des attitudes philosophiques contraires qui avaient essayé de poser leurs a priori à la place des résultats trop divers d'une cosmologie naissante, par exemple à côté d'une théorie cosmologique d'inspiration religieuse comme celle de Milne qui avait essayé d'introduire l'acte divin mais instantané de la création dans les équations de la cosmologie, à côté de l'attitude des cosmologistes d'inspiration marxiste qui posaient au contraire a priori la matière créée et impérissable, c'est une chose curieuse de voir le retour du positivisme scientifique s'imposer, pour quelques années du moins, par cette idée révolutionnaire de la création continue. Et si, pour le plus grand regret des philosophes, les découvertes astronomiques récentes durent laisser sans lendemain les modèles de Gold, Bondi et Hoyle, du moins sachons y découvrir un bel exemple de la liberté de l'esprit scientifique !

CHERCHONS MIDI A QUATORZE HEURES

Nous avons déjà consacré plusieurs articles au Cadran Solaire (Nos : 11, 17, 23). Sans vouloir revenir sur cet instrument remarquable nous rappelons ici, à la demande de quelques collègues, l'opération simple qui permet de trouver à quelle heure le Soleil est le plus haut dans le ciel. Et plus généralement : comment passer de l'heure de notre montre à l'heure solaire vraie ou réciproquement.

H_s = Heure solaire vraie

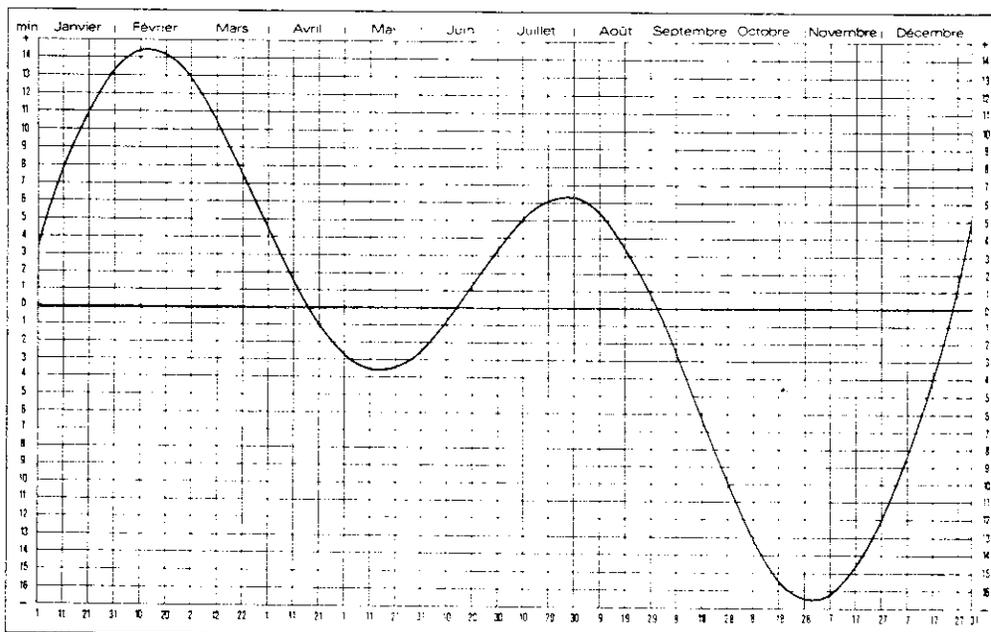
H_L = Heure légale en France

L_g = Longitude du lieu (+ vers l'Ouest, - vers l'Est)

E_q = Equation du temps (algébrique) : voir courbe ci-dessous

$$\begin{cases} H_L = H_s + L_g + E_q + (1h \text{ en Eté}, 2h \text{ en Hiver}) \\ H_s = H_L - L_g - E_q - (\dots \dots) \end{cases}$$

Equation du temps : C'est une courbe qui donne l'écart entre le temps solaire vrai et le temps solaire moyen (en minutes), en fonction de la date.



Exemple : Cherchons l'heure de passage du Soleil au méridien (midi), à Paris, le 21 septembre. ($H_s = 12h$; $L_g = -9mn$; $E_q = -7mn$)

$$H_L = 12h + (-9mn) + (-7mn) + 2h = 13h 44mn$$

Longitude : Remarquons que si nous pouvons repérer la position du soleil quand il passe au méridien - ombre la plus courte, sextant ou tout autre instrument mis en station - alors nous déterminons la longitude du lieu grâce à notre montre :

$$L_g = H_L - 12h - E_q - (1h \text{ ou } 2h)$$

Question : Qui peut trouver midi à quatorze heures ?

Réponse : Pour chercher midi à quatorze heures il faut que, pendant l'heure d'été (+2h), la longitude ne soit pas inférieure à l'opposé du maximum d'été (1er août) de l'équation du temps, soit environ 7mn. Il faut donc habiter à l'ouest de la longitude $L_g = -7mn$.

Jacques DUPRE

HEURS ET MALHEURS DE LA CONSTRUCTION D'UN
CADRAN SOLAIRE

Deux années scolaires successives ont été nécessaires pour que l'idée qui était à l'origine d'un PAE sur "Les rythmes et le temps" se concrétise par la réalisation de deux cadrans solaires de modèles différents: l'un horizontal, l'autre sphérique.

Au cours de la première année, un concours de dessin a permis de définir le thème qui devait illustrer un cadran solaire en céramique. Les meilleurs dessins ont été utilisés pour le générique d'une courte séquence tournée au collège d'Aix-en-Othe par FR3 Reims, au sujet de la construction de cadrans solaires. A cette occasion les élèves ont tracé à la craie un cadran qui a été effacé par un orage dès la fin du tournage.

L'année suivante, ce cadran fut reproduit de façon plus durable sur des carreaux de faïence, qui furent assemblés sur une dalle de béton à l'entrée du collège. Le cadran sphérique a posé beaucoup plus de problèmes: rien que pour réaliser une sphère de diamètre 50 cm, résistant aux intempéries, il a fallu plus d'un an.

Après avoir consulté de nombreuses personnes, nous n'avons rencontré qu'un sculpteur sur bois, parent d'élève et astronome amateur, qui ait accepté d'entreprendre sa réalisation. Pour qu'elle n'éclate pas, la sphère devait être tournée dans un cube formé de planches d'orme assemblées par collage. Mais si l'orme est un bois qui résiste tellement bien à l'éclatement que nos ancêtres l'utilisaient pour les moyeux des roues, il a aussi une propriété que nous avons apprise à nos dépens: il se décolle très facilement, et le bloc ainsi obtenu était impossible à tourner sans risques.

Les "compagnons du devoir" avec qui travaille notre collège lui ont dit que pour coller des planches d'orme, il fallait d'abord les dégraisser en les frottant avec de l'ail. Plutôt que d'essayer la recette, nous avons préféré changer de matériau: pourquoi ne pas essayer la résine polyester, chargée de fibre de verre, avec laquelle on construit les canoës ?

Mais pour cela il fallait un moule: nous l'avons réalisé en coulant du plâtre autour d'un globe que nous avons emprunté à un lampadaire de la cour. Nous avons mis tant de plâtre que le séchage a duré plusieurs mois.

Pendant les grandes vacances, le moniteur de la base de canoës, où étaient en stage une partie de nos élèves, a réalisé dans ce moule un hémisphère en résine. Une élève du club astro du collège a suivi de près tous les travaux. Le plâtre n'ayant pas résisté au démoulage, il a fallu refaire un autre moule, en résine souple, au séchage plus rapide que le premier.

Après la rentrée de septembre, la sphère était enfin terminée, nous n'avions plus qu'à la transformer en globe terrestre. Les différentes opérations de ponçage, peinture du fond en bleu, tracé d'un réseau de méridiens et de parallèles, reproduction du contour des continents, peinture des continents en jaune, vernis... ont bien sûr duré de longs mois et occupé de nombreux élèves.

Pendant ce temps, nous avons entrepris la construction d'un support en fer forgé et des parties mobiles en laiton et matière plastique. Pour ce faire les ateliers du collège étaient heureusement mieux équipés que pour la construction d'une sphère; nous n'avons pas eu besoin de faire appel à des aides extérieures.

Ensuite les travaux de terrassement et de mise en station n'ont bien sûr pas posé de problème: la direction du méridien a été déterminée par l'ombre d'un fil à plomb à midi solaire. Pour pérenniser les différentes étapes de la construction de ces cadrans solaires, nous les avons filmées en super 8 muet. Nous avons maintenant en projet de reprendre ce film en vidéo et de le sonoriser; puis d'utiliser les cadrans que nous avons construits pour réaliser un autre film didactique sur les cadrans solaires à axe polaire. Cela se fera sans doute encore dans le cadre d'un P.A.E.

A PROPOS DE MAREES

N.D.L.R.- Dans le n°25 des Cahiers, notre Collègue Liliane Sarrazin a souhaité connaître des précisions sur les différents types de marées océaniques. Les voici, présentées par notre Collègue Jacques Vialle qui, à La Rochelle, est bien placé pour s'intéresser à la question. Pour la théorie physique proprement dite du phénomène, il renvoie aux cours de Brahic ou de Celnikier lors de précédentes écoles d'été.

A première vue, les marées semblent être, par leur régularité apparente, un phénomène relativement facile à prédire : il y a, à l'évidence, une double périodicité avec une alternance quasi-régulière de hautes et de basses mers à l'échelle de la journée et une alternance régulière de faibles et de fortes marées à l'échelle de la quinzaine. En réalité, le phénomène est plus complexe qu'il n'y paraît. Ainsi, certaines côtes ne connaissent qu'une marée par jour ; d'autres ne sont affectées que par de très faibles variations de niveau. Ailleurs, la pleine mer peut être marquée par un double maximum (Southampton), mais un peu plus loin, c'est la basse mer qui est double (Hoek van Holland). Au Havre, l'étale de pleine mer dure près de trois heures alors qu'à La Rochelle cet étale ne dure qu'un petit quart d'heure. Comment alors les calculateurs qui établissent les annuaires de marées peuvent-ils s'y retrouver dans cette complexité ?

Chacun sait que les marées sont dues à l'attraction combinée de la Lune et du Soleil sur les eaux. Contrairement à ce que l'on pense généralement, nos Anciens le savaient et cela bien avant Newton. Posidonius (1 siècle av J-C) et Pytheas (IV siècle av J-C) connaissaient cette influence. Pline l'Ancien, Jules César, Cicéron et Dante sont autant de références littéraires où cette action de la Lune sur les eaux est clairement mentionnée. On sait aussi que Kepler aborda le problème dans son Astronomia Nova. C'est précisément en voulant réfuter cette idée d'une action à distance que Galilée s'enferma sur une erreur de raisonnement qui facilita grandement la tâche de l'Inquisition dans sa lutte contre "l'hérésie galiléenne". Galilée croyait en effet que les marées étaient causées par la composition du mouvement de la Terre autour du Soleil avec sa rotation en 24 heures. Sa conclusion, pour le moins surprenante, étaient que les continents ne se déplaçaient pas comme les eaux, d'où accumulation périodique des eaux océaniques contre les côtes. L'erreur venait de ce que Galilée raisonnait en utilisant deux référentiels différents. Il concluait donc à l'existence d'une marée par 24 heures (ce qui est le cas pour l'Adriatique, encore que celle-ci soit très faible), alors que tout le monde pouvait observer deux pleines mers par jour sur l'Atlantique. Le drame est que Galilée croyait tenir là une preuve du mouvement de la Terre sur son orbite et du même coup, un argument en faveur de Copernic. Il s'entêta donc dans son erreur, ce qui le conduisit à des polémiques de plus en plus violentes et de plus en plus imprudentes avec les conséquences que l'on sait. Newton fut le premier, non à établir l'influence de la Lune, mais à en faire la théorie. En réalité, celle-ci était incomplète et rendait compte de manière imparfaite de certains régimes de marée observables sur certaines côtes. C'était ce que Poincaré appelait, paraît-il, "la marée du baccalauréat", un classique pour les candidats qui avaient le malheur de plancher sur la célèbre Cosmographie. En fait, ce sont Laplace, et plus tard Poincaré, qui mirent

au point une véritable théorie des marées. Actuellement, on considère l'onde de marée comme la superposition de plusieurs pulsations d'amplitudes et de périodes diverses. Le calcul d'une marée est un problème d'analyse harmonique dans lequel on examine la variation de plusieurs ondes.

Une analyse fine du phénomène discerne plus d'une quarantaine de termes, mais en fait les plus importants sont au nombre de sept. Ces sept ondes de marée dont l'addition et la superposition règlent l'amplitude et la période de la marée appartiennent à deux catégories, semi-diurne ou diurne selon leur période. Le tableau suivant rassemble les caractéristiques des principaux termes :

	<u>onde</u>	<u>période</u>	<u>observations</u>
semi-diurne	lunaire moyenne M2	12h 15	calculée sur une lune fictive animée d'un mouvement circulaire uniforme.
	solaire moyenne S2	12h	calculée de façon identique et en théorie 2,17 fois moins importante que M2.
	elliptique lunaire majeure N2	12h40	position de la Lune par rapport au périhélie.
	sidérale K2	11h58	position de la Lune et du Soleil par rapport à l'équateur céleste. Période, le demi jour sidéral.
diurne	sidérale lunisolaire K1	23h56	position de la Lune et du Soleil sur l'écliptique ; période le jour sidéral.
	lunaire O1	25h49	déclinaison de la Lune.
	solaire P1	24h04	déclinaison du Soleil.

Il faudrait ajouter aussi des termes périodiques non négligeables, semi-mensuel (13 jours), mensuel (27 jours) et semi-annuel (environ 182 jours).

En outre, chaque bassin océanique constitue un système oscillant dont la fréquence propre, déterminée par sa configuration géographique, va entrer en résonance avec une ou plusieurs des ondes précédentes. Certaines périodes vont donc être privilégiées par rapport à d'autres. Enfin, selon que telles ondes sont en phase avec d'autres ou en opposition, la marée sera plus ou moins importante et le régime général pourra même en être perturbé (marée de régime mixte).

Par exemple, l'onde N2 est en phase avec l'onde M2 chaque fois que la Lune est à son périhélie et en opposition quand notre satellite est à son apogée. Quand la Lune ou le Soleil ont une déclinaison nulle, l'onde K2 est en phase avec M2 ou S2, et en opposition quand nos deux luminaires ont une forte déclinaison. L'onde O1 est en opposition à la partie lunaire de K1 quand la déclinaison de la Lune est nulle, et elle s'oppose à la partie solaire de K1 aux équinoxes. Le jeu des phases relatives ainsi que la fréquence de résonance des bassins vont finalement déterminer les caractéristiques de la marée. On peut dire, en gros, qu'il existe deux régimes : semi-diurne, bien connu puisque c'est celui qui affecte les côtes françaises, et diurne. Il faudrait ajouter un régime mixte, de caractère très différent selon la région du monde considérée. Malheureusement, il n'existe pas, à ma connaissance, d'atlas classique qui publie une carte mondiale

des régimes de marée. Par contre, on peut bien entendu disposer d'annuaires nationaux qui donnent pour chaque année les heures des marées et leurs coefficients.

En régime semi-diurne, l'onde lunaire moyenne M2 est prédominante. Cependant, si la Lune était seule en cause, la pleine mer devrait suivre son passage au méridien avec un retard constant, ce qui n'est pas le cas, comme on peut aisément le constater en consultant un calendrier de marée. C'est que l'onde solaire moyenne S2, environ deux fois plus faible, joue quand même un rôle en faisant varier ce retard autour d'une valeur moyenne. On notera que les ondes M2 et S2 sont évidemment en phase lors de la Pleine Lune et de la Nouvelle Lune, mais en opposition au Premier et au Dernier Quartier, d'où l'existence de marées de mortes-eaux (PQ et DQ) et de vives-eaux (NL et PL). En outre, aux équinoxes, K2 est sensiblement en phase avec M2 et S2 alors qu'elle est en opposition aux solstices : d'où un renforcement de la marée au voisinage de l'équinoxe. Mais selon que la Lune est au périgée ou non, l'onde N2 vient renforcer les précédentes et comme elle est en général plus forte que K2 (cette dernière liée aux déclinaisons du Soleil et de la Lune), il s'ensuit que 1) les marées d'équinoxe ne se ressemblent pas d'une année à l'autre et 2) elles peuvent s'écarter sensiblement de la date astronomique.

Ainsi, pour 1984, les dates des marées d'équinoxe sont le 19 mars et le 27 septembre (coefficient 117), mais en 1975, ces dates étaient le 27 février et le 7 septembre (respectivement 117 et 116). Ces deux exemples n'ont pas été choisis au hasard : c'est que tous les neuf ans environ les quatre principales ondes semi-diurnes sont en phase, ce qui entraîne une série de commentaires de la part de nos "medias" sur la marée du siècle ! Rendez-vous donc pour la prochaine en 1993, quand se produiront de nouveau les prochaines vives-eaux d'équinoxe et de périgée, les plus fortes possibles sur nos côtes ou sur toute côte soumise au régime semi-diurne.

Les régimes diurnes sont beaucoup plus complexes. Alors qu'en régime semi-diurne, les pleines mers de vives-eaux se décalent très peu d'un cycle à l'autre (par exemple, à La Rochelle en 1984, ces pleines mers se produisent vers 10-11h TU ou tard le soir), ces pleines mers de vives-eaux diurnes se décalent d'environ une heure à chaque cycle. Les plus fortes marées se produisent en général au voisinage des solstices, lorsque l'onde solaire P1 se superpose aux autres ondes diurnes. L'effet sera encore renforcé si en outre la Lune a une forte latitude tropique, c'est à dire si elle se trouve loin de ses noeuds.

On peut alors tenter de dresser un tableau mondial des marées, tableau qui restera nécessairement peu précis, dans la mesure où la situation peut changer du tout au tout en quelques dizaines de kilomètres :

<u>Régime</u>	<u>Localisation</u>	<u>Description</u>
Semi-diurne	Bassin Atlantique Nord: zone Terre Neuve-CapVert-Islande; Atlantique Sud ; Mer du Nord; Océan Indien Nord et Océan Indien Sud: zone Antartique Australie-Madagascar ; Pacifique Nord: Alaska-Philippines Colombie avec prolongement vers côte du Chili ; Pacifique Sud des Nelles Hébrides aux Iles Cook	Deux marées par jour ; amplitude variant sur un cycle de 15j. Cycle parfois altéré par ses singularités locales comme dissymétrie flux-reflux ou double crête de pleine mer ou double creux de basse mer

<u>Régime</u>	<u>Localisation</u>	<u>Description</u>
Diurne	bande allant de l'Australie à la côte des Somalis entre les deux systèmes semi-diurnes de l'Océan Indien; Golfe du Mexique et Mer des Antilles; mer d'Okhotsk ; golfe d'Oman; Mer de Chine et côte du Tonkin; Pacifique Nord entre Hawaï et Aléoutiennes; Pacifique Sud de l'Australie à l'Antarctique; Tahiti.	Une marée par jour avec décalage assez rapide des marées de vives-eaux. Amplitudes plus faibles. Marées de solstices.
Mixte	assez fréquent dans l'Océan Indien et le Pacifique; mer intérieure de l'Insulinde ; côte de l'Amérique du Nord.	Une marée par jour mais à certaines époques de la lunaison intercalation dans le reflux d'une reprise temporaire du flux.
Autres	La Réunion Points amphidromiques des mers.	régime complexe inclassable. aucune variation de niveau.

Les régimes mixtes sont très divers comme le montrent les trois exemples suivants. On note en Indonésie une pleine mer et une basse mer chaque jour, à peu près à la même heure sidérale, mais en avance ou en retard sur la Lune de une à deux heures selon la position de cette dernière par rapport à l'écliptique. En Nouvelle Zélande, les vives-eaux ont lieu une fois par mois seulement quand la Lune est proche de son périégée (les mortes-eaux se produisant quand la Lune est proche de son apogée). A Tahiti, les marées passent pratiquement inaperçues car de faible amplitude. Les seules marées remarquables sont les marées de vives-eaux car alors la mer vient se briser sur les coraux. Ces marées ont toujours lieu entre 11 et 13 heures, d'où l'affirmation fréquemment reprise dans la littérature que les marées ont toujours lieu à la même heure à Tahiti : en fait, ce sont les seules marées de vives-eaux qui surviennent toujours à heure quasiment fixe. Il est vrai que dans un pareil environnement, on doit se soucier fort peu de l'heure exacte de la pleine mer !

Jacques Vialle

Bibliographie :

- Annuaire 1976 du Bureau des Longitudes, Encyclopédie Physique et Spatiale, 2^{ème} partie, chap 2.
- J. Bouteloup : Vagues, marées, courants marins, coll "Que sais-je?" n° 438, chap III et IV.
- A. Koestler : Les Somnambules, livre de poche, pp 539 et 553-556.

Remarque : Les calendriers de marée distribués aux estivants dans les stations balnéaires donnent en général l'heure de la pleine mer (en temps universel) et le coefficient de la marée. Il n'est d'ailleurs pas rare que ces calendriers soient recopiés d'une année sur l'autre ou que leurs indications ne soient pas valables pour la station considérée. Quoi qu'il en soit, il faut savoir qu'en France les marées sont calculées pour le port de Brest et qu'il faut ensuite faire une correction qui dépend de la phase de la Lune. Par exemple, pour La Rochelle la pleine mer de vives-eaux est en avance de 29 minutes sur Brest mais survient avec 37 minutes de retard en mortes-eaux. Cette correction devient importante (plusieurs heures) dès qu'on pénètre dans la Manche. Pour un estivant qui séjourne sur la côte Atlantique elle peut être négligée, à moins qu'elle ne soit déjà faite sur le calendrier. Quant au coefficient, c'est un nombre sans dimension qui décrit l'importance de la marée : le coefficient varie de 20 à 120 ; une forte marée est une marée qui dépasse 110. Cette donnée est primordiale pour le pêcheur à pied qui, au premier coup d'oeil si la mer "découvrira" peu ou beaucoup. Les autres données qui se trouvent dans les annuaires spécialisés, établissement du port, unité de hauteur, etc n'intéressent que les marins ou les plaisanciers.

Chronique du CLEA
oooooooooooooooooooooooooooo

Formiguères 1984

Si l'école d'été 1984, à l'image des sept écoles d'été précédentes, a été aussi animée et enrichissante, elle a eu la particularité d'être intitulée "Université d'Eté d'Astronomie" (UEA) par les services officiels de l'Education Nationale qui reconnaissent ainsi une initiative de formation permanente développée depuis 1977.

L'UEA s'est déroulée du 4 au 13 juillet. Arrivée des participants par un beau soleil et un air très vif : altitude 1500 m, paysage superbe. Les collègues s'installent dans une grande maison où ils sont accueillis par une équipe très sympathique de gérants du centre familial de vacances rurales "le Picpéric", 66210 Formiguères.

Dès le premier soir, prise de contact, organisation de l'emploi du temps et première exploration du ciel étoilé. Les matinées ont été consacrées aux exposés suivants : repérage dans l'espace et le temps, l'observation astronomique (J.Dupré); analyse de la lumière (F.Durret); introduction à la structure interne des étoiles (M.Gerbaldi); les mouvements de la Lune (V.Tryoën); un grand siècle en astronomie, le dix-septième (G.Walusinski); les étoiles variables (G.Paturel); l'Univers extragalactique (L.Bottinelli); les faits d'observation en cosmologie (L.B.); introduction à la cosmologie (B.Sandré); l'Univers dans le modèle du Big Bang (B.S.). La dernière matinée du 13 a permis la mise en commun des travaux d'ateliers et une première évaluation de l'UEA 84.

Durant les après-midis, les 99 participants se sont répartis dans 22 groupes de travail et 24 ateliers, selon une grille soigneusement préparée par l'équipe des astronomes.

La date de l'UEA a posé des problèmes pour certains collègues retenus dans leur académie par les examens du baccalauréat. D'autres ont du choisir entre l'UEA et deux autres universités d'été qui avaient lieu en même temps au Mans (sur l'histoire des mathématiques) ou à Bordeaux (la didactique des mathématiques) ; ne nous plaignons pas d'avoir à choisir entre tant de sujets également passionnants !

Il y aurait beaucoup à dire sur les activités de tous durant l'UEA; soulignons seulement la jubilation des participants après l'exposé de Victor sur les mouvements de la Lune et les deux matinées sur la relativité avec Béatrice. Tous les participants à l'UEA ont d'ailleurs exprimé leur satisfaction pour tout ce qu'ils ont appris ou réalisé et aussi bien pour l'excellent climat convivial de ces journées. L'une des participantes écrit : "Très bonne méthode, efficace, active. Enfin un lieu où on ne passe pas son temps à se poser des questions sur ce qu'on va faire, comment on va le faire... sans le faire ! Ici, les compétences des animateurs et leurs qualités pédagogiques associées à une remarquable disponibilité font de cette école un modèle..."

Les organisateurs sont rouges de confusion de recevoir de tels compliments. Ils y trouvent pourtant la récompense de leur travail et ce qu'il faut de courage pour préparer sans tarder l'UEA 85.

Toulouse 19840919

La rencontre organisée par le CLEA dans le cadre de la huitième assemblée générale de l'UAI a permis, le matin, de présenter les activités de formation par les collègues et associations de Toulouse, l'après-midi de présenter certaines réalisations du CLEA, en particulier les films qui avaient déjà réjouis les collègues à Formiguères. Environ 70 enseignants, principalement de la région, ont participé à cette journée.

Les stages

===== Même si le secrétariat du CLEA n'est pas au courant de tous les stages organisés dans les diverses académies, comment ne serait-il pas impressionné par ceux qu'il peut citer.

- Grenoble : le stage de l'année 83-84 qui fut un grand succès s'est prolongé par une journée et une nuit au CERGA. Le nouveaustage des 26,29septembre a réuni plus de trente collègues et porte les mêmes promesses que le stage précédent, mise en route de clubs et de PAE. Félicitations à l'animatrice infatigable, Andrée Richelme.
- Montpellier : deux stages "astrosec" (donc pour enseignants du secondaire) en 83-84 ; un stage "astrodidacte" en 84-85 ; renseignements auprès de Henri Reboul, labo d'astronomie à l'USTL.
- Nice : le stage d'avril 84 organisé par la délégation CEMEA de Nice a eu lieu mais le stage proposé au rectorat pour 84-85 a été refusé.
- Strasbourg : l'école d'été Nord-Est aura lieu à partir du 7 juillet 1985; elle comportera des séances particulières pour les animateurs de planétarium.
- Limoges : trois journées d'astronomie ont eu lieu à l'Ecole Normale les 15,16 et 17 octobre, dans un climat et avec une efficacité du style des écoles d'été ; félicitations à l'animatrice, Liliane Sarrazin.
- Rochefort : stage prévu les 30 et 31 janvier 1985, la première manifestation officielle du CLEA dans l'Académie de Poitiers.
- Bretagne : une UV de 72 heures d'astronomie pour les normaliens de deuxième année de Quimper ; une journée "astronomie en Quatrième" pour les PEGC de St Briec et environs ; Juin 85, stage de 3 nuits et 2 jours pour les stagiaires de math et physique du CPR ; l'animateur Frédéric Dahringer demande de l'aide.
- Orsay : le premier stage de cette année universitaire a commencé le 17 octobre, réunissant plus de 40 participants.
- Versailles : stage d'initiation à l'astronomie du 7 au 11 janvier 1985 pour les professeurs d'école normale.
- Les journées de Nançay : à des dates qui seront fixées ultérieurement, trois journées ; chaque journée comportera un exposé et un atelier ; repas pris en commun à l'observatoire. Première journée : A (atelier) construction d'un planétaire, E programme d'observations de la comète de Halley par E.Gérard ; deuxième journée : A construction d'un spectroscopie et visite d'un instrument de la station, E la vie dans l'Univers par F.Biraud ; troisième journée : A mise en évidence de l'effet Doppler-Fizeau et applications à l'astronomie, E l'expansion de l'Univers par Lucienne Gouguenheim. Renseignements sur les dates de ces journées auprès de Yolande Leblanc, Observatoire de Paris-Meudon, 92195 MEUDON CEDEX.
- Paris : une série de six mercredis après-midi et de deux mercredis complets a été programmée par le CLEA pour le compte du CRDP de Paris; ce stage comportait en particulier la visite de l'Observatoire de Paris et celui de Nançay. Il a été supprimé car il n'y a eu que 5 inscriptions. L'annonce du stage a-t-elle été bien diffusée ? Les collègues sont-ils indisponibles le mercredi après-midi ? L'attrait pour l'astronomie se raréfie-t-il sous le ciel parisien ?

Le CLEA s'affiche

===== Grâce au talent de notre ami Daniel Bardin (qui dessine chaque année la couverture du compte rendu de l'école d'été), le CLEA va disposer d'une affiche qui servira à la propagande. De format 297/420mm, elle pourra être placée dans les salles de professeurs, dans les universités et les écoles normales. Afin que ceux qui ignorent l'existence du CLEA

RENDEZ-VOUS AVEC LA COMETE DE L'HISTOIRE

MONTAGE AUDIO-VISUEL SUR LA COMÈTE DE HALLEY

Un document de l'Association Astronomique de Franche-Comté

Réalisé par l'Atelier Audio-Visuel de la Citadelle. Ville de BESANCON

Avec le concours de l'Observatoire de Besançon

Intérêt du document

- . Les comètes, éléments du système solaire restés intacts depuis l'origine, peuvent nous apporter des renseignements fondamentaux et inédits sur sa formation.
- . La comète de Halley, observée depuis plus de 2000 ans, revient à notre voisinage tous les 76 ans et passera en 1986 ; elle fournit l'occasion d'une étude approfondie de ce type d'objet.
- . Des sondes seront effectivement lancées à sa rencontre, dont une avec la participation de l'Observatoire de Besançon.
- . Proche de celui-ci, l'Association Astronomique de Franche-Comté a jugé opportun de faire le point des connaissances actuelles sur les comètes et des objectifs visés par les explorations de 1986.
- . Le document est présenté sous une forme vivante et accessible. Il est conçu pour préparer les spectateurs, professionnels ou amateurs de l'Astronomie, à ce grand rendez-vous.

Plan du montage

- . Historique des comètes .
- . Origine et évolution.
- . Structure, Nature, Trajectoires.
- . La comète de Halley
- . Les rendez-vous de 1986 .

Caractéristiques techniques

- . 160 diapositives
- . Sonorisation d'accompagnement
- . Durée : 45 minutes

Conditions

- . Location 1 semaine : 300 F.
- . Location 2 semaines: 500 F.
- . Location 1 mois : 800 F.
- . Frais de port aller et retour en sus.
- . Acquisition : nous consulter .
- . Pour toutes commandes, demandes et renseignements, s'adresser au Secrétaire de l'Association Astronomique de Franche-Comté :
Jean-Pierre MARCHAND
22 Rue Mallarmé . 25000 BESANCON
Tél. (81) 50-25-07 .

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE : LE CIEL INFRAROUGE OBSERVÉ PAR IRAS

L'observation du ciel aux longueurs d'onde infrarouge (domaine allant de $1\mu\text{m}$ à $1000\mu\text{m}$) est fortement limité par l'absorption due à notre atmosphère terrestre; seules quelques fenêtres étroites d'observation sont utilisables au sol en-dessous de $40\mu\text{m}$. Ainsi, seule l'exploration spatiale au-delà de notre atmosphère permet d'accéder à l'ensemble du domaine IR. Une autre difficulté des observations dans ce domaine vient de l'importance du rayonnement parasite dû à l'émission thermique de l'environnement, milieu extérieur lui-même et matériel d'observation. En effet, le maximum d'émission d'un corps chaud se produit à une longueur d'onde qui dépend de sa température (selon la loi de Wien : $\lambda_m T = \text{constante}$) et se situe approximativement à $1\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$ pour des températures qui sont respectivement 3000K, 300K (température ambiante), 30K. Ceci explique que les télescopes et récepteurs IR sont toujours équipés de systèmes de refroidissement pour atteindre les seuils de sensibilité les plus faibles. Ainsi, le système focal du télescope de 57 cm d'ouverture du satellite astronomique infrarouge -dit "IRAS" pour InfraRed Astronomical Satellite- était refroidi à 3K (soit -270°C). La mission IRAS développée en coopération par la Grande-Bretagne, les Pays-Bas et les Etats-Unis, a réalisé de janvier 1983 à novembre 1983 un survol de l'ensemble du ciel aux 4 longueurs d'onde suivantes : $12\mu\text{m}$, $25\mu\text{m}$, $60\mu\text{m}$ et $100\mu\text{m}$, avec une résolution angulaire de $2'$. De plus certaines régions sélectionnées ont été étudiées avec plus de finesse. Rappelons que le pouvoir de résolution théorique θ d'un télescope d'ouverture D, à la longueur d'onde λ est donné par $\theta = 1,22 \lambda/D$; en prenant $D=57\text{ cm}$, on obtient $\theta=4''5$ (à $10\mu\text{m}$) et $\theta=45''$ (à $100\mu\text{m}$). Les principaux résultats préliminaires de cette mission ont été publiés récemment et nous les décrivons brièvement ci-après :

- détection de la queue étendue de poussière de la comète IRAS-Araki-Alcock 1983d, queue non détectée dans le domaine du visible.
 - émission continue intense à $100\mu\text{m}$ due à la poussière interplanétaire tout au long du plan de l'écliptique.
 - présence de plusieurs nuages (de type cirrus) de poussière au voisinage de l'écliptique, probablement associés à la ceinture principale d'astéroïdes.
 - découverte autour de l'étoile Véga (α Lyrae) d'une enveloppe formée de particules solides dont le rayon est au moins 1 mm ; cette enveloppe est située à environ 85 unités astronomiques de l'étoile et est chauffée par le rayonnement de celle-ci. Cette observation montre directement qu'il est possible de fabriquer de grandes particules à partir du résidu du protonage de gaz et de poussière ayant donné naissance à l'étoile, comme dans notre système solaire.
 - découverte d'une étoile en formation analogue au Soleil dans un nuage moléculaire proche et plus largement découverte d'une foule d'objets protostellaires dans les nuages sombres de notre Galaxie.
 - les étoiles très évoluées, connues aussi comme sources d'émission OH, sont bien détectées en IR; ces étoiles ont très probablement atteint le stade de fin d'évolution sur la séquence des géantes.
 - mise en évidence de nouveaux détails de structure autour du centre de notre Galaxie avec une résolution de $4'$.
 - notre proche voisine M31 est une galaxie peu intense en IR (seulement 3% de la puissance lumineuse est émise dans l'IR); outre une émission centrale il y a une émission provenant d'un anneau de poussière de rayon $50'$ en bonne coincidence avec la concentration connue en hydrogène neutre et ionisé, liée à la structure spirale générale.
 - 108 galaxies brillantes ont été détectées comme sources IR avec une proportion de détection qui est fortement corrélée à la morphologie des galaxies; en particulier, le défaut de détection pour les galaxies elliptiques traduit le fait que celles-ci sont les plus pauvres en poussière.
 - la radiogalaxie 3C 390.3 qui est une galaxie active également émetteur X, émet la plus grande partie de son énergie dans l'IR à $25\mu\text{m}$.
 - 5 quasars détectés en IR semblent avoir des propriétés voisines alors que certains sont émetteurs radio et d'autres ne le sont pas.
- Ces résultats préliminaires ouvrent de très riches perspectives à notre compréhension de l'Univers.

L'EQUATION DE KEPLER (suite)

5- Résolution de (EK).

Il existe beaucoup de méthodes pour résoudre l'équation de Kepler, car bon nombre de mathématiciens (les "géomètres" de Kepler) se sont penchés sur le problème. On en présente ici quelques unes.

La fonction $y = u - e \cdot \sin u$ est toujours croissante, donc (EK) possède une racine unique. Cette équation s'écrit:

$u - e \cdot \sin u = M$ (EK)

et les angles sont mesurés en radians. Afin d'utiliser des angles en degrés, (c'est peut-être plus "parlant"), il faut la multiplier par $180/\pi$. Avec $e^\circ = e \cdot 180/\pi$, elle s'écrit:

$u - e^\circ \cdot \sin u = M$

C'est sous cette dernière forme que nous l'utiliserons.

a). Méthode de Kepler

Kepler ne sait pas résoudre "son" équation puisqu'il appelle les "géomètres" à l'aide.

Il a cependant trouvé un moyen, pour le moins laborieux: il dresse une table numérique en se donnant des valeurs de u, et, avec e fixé, il calcule $u - e^\circ \cdot \sin u$. Les tables trigonométriques existaient déjà, avec de nombreuses décimales, comme celle de Joachim Rheticus avec 15 chiffres pour des angles de 10" en 10" !

La lecture "inverse" de la table de Kepler lui fournit u pour M donné. Au besoin, il utilise l'interpolation linéaire.

Ce procédé est long car il faut une table par valeur de e, et e peut prendre bon nombre de valeurs entre 0,093 et 0,094 par exemple ...

Supposons que l'on cherche u tel que M=83,100 avec e=0,093. La table ci-contre permet de situer u entre 88,4 et 88,5. Une interpolation linéaire fournit:

$u = 88,4 + \frac{83,100 - 83,07357}{83,173318 - 83,07357} \times 0,1$
 $= 88,4 + 0,026 496 7$

soit $u = 88,426 50$ à 10^{-5} degré près.

Une autre méthode (plus loin) donnera:

$u = 88,426 498 23$

u	$u - 0,093 \cdot \sin u$
88,0	82,674 738
88,1	82,774 422
88,2	82,874 122
88,3	82,973 838
88,4	83,073 570
88,5	83,173 318
88,6	83,273 083
...	...

A la condition de disposer de très nombreuses tables, cette méthode donne de bons résultats.

b). Méthode graphique.

Considérons la sinusoïde (S) d'équation $y_1 = 180/\pi \cdot \sin u$ et la droite (D) d'équation $y_2 = \frac{u - M}{e}$ (cf fig.5). L'intersection de (S) et (D) fournit la valeur de u cherchée.

On peut facilement s'assurer que (D) passe par le point A de coordonnées $(M^\circ, 0^\circ)$ et par B $(M+100^\circ \cdot e, 100^\circ)$, ou bien qu'elle est parallèle à celle passant par l'origine O et le point C de coordonnées $(100^\circ \cdot e, 100^\circ)$.

Soit par exemple $e=0,5$ et $M=60^\circ$

On lit directement $u=89^\circ$ sur le graphique (à 1° près). Une autre méthode donnera dans ce cas $u=88,639\ 817 \dots$

Si on se contente de 1° de précision, cette méthode est assez rapide, sauf si $M < 10^\circ$ avec e voisin de 1. Ceci correspond aux cas des comètes au voisinage de leur périhélie. Mais hélas, les comètes ne sont visibles de la Terre que quand ces conditions sont remplies.

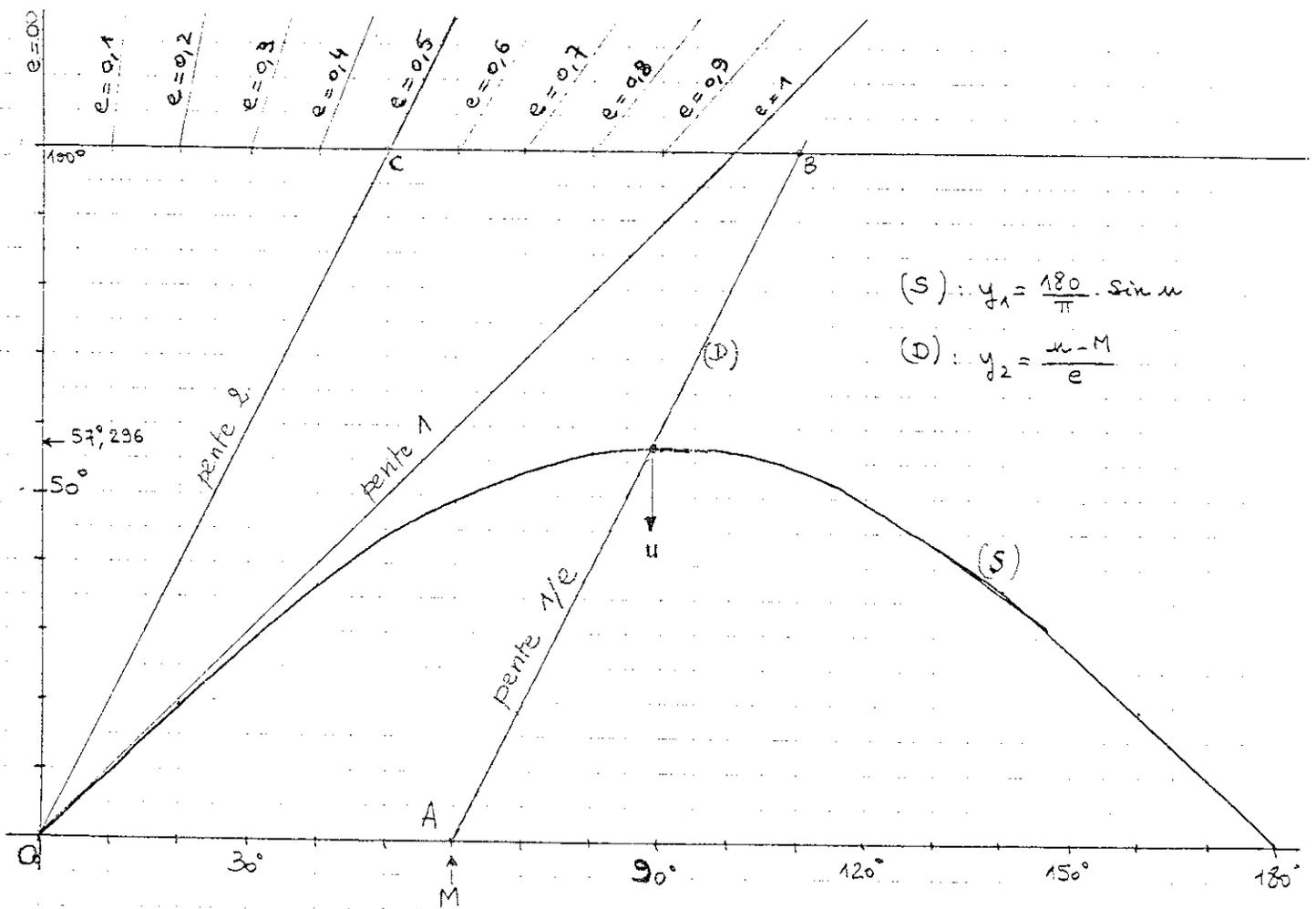


fig.5

c). Méthode d'itération de Newton.

1- Soit u_0 une valeur approchée de la racine u cherchée. On a alors $M_0 = u_0 - e^0 \cdot \sin u_0$, et approximativement:

$$u - u_0 = (M - M_0) \cdot \left(\frac{du}{dM} \right)_{u=u_0} \text{ au 1}^{\text{er}} \text{ ordre, avec } \frac{du}{dM} = \frac{1}{1 - e \cdot \cos u}$$

d'où:

$$u_1 = u_0 + \frac{M - u_0 + e \cdot 180/\pi \cdot \sin u_0}{1 - e \cdot \cos u_0} \quad (N1)$$

Cette valeur u_1 de u est plus approchée que u_0 de la racine cherchée. On obtient par itération une valeur u_2 encore plus approchée en remplaçant u_0 par u_1 dans (N1). Et ainsi de suite jusqu'à ce que $|u_n - u_{n-1}| < 10^{-p}$ où p est un nombre fixé au départ et définissant la précision.

2- Si l'excentricité e est petite devant 1, une première valeur de u_0 peut être $u_0 = M - e^0 \cdot \sin M$ ou même simplement:

$$\begin{aligned} u_0 &= M \text{ puis} \\ u_1 &= M + e^0 \cdot \sin u_0 \\ u_2 &= M + e^0 \cdot \sin u_1 \\ u_3 &= \dots \end{aligned} \quad (N2)$$

jusqu'à obtenir la condition ci-dessus.

3- Voyons des exemples numériques:

.. $e=0,1$ et $M=2^\circ$

On part de $u_0 = M = 2$ puis avec $e^0 = 0,1 \times 180/\pi$, on obtient successivement $u_1 = 2,199\ 96\dots$ $u_2 = 2,219\ 94\dots$ etc.. et après 8 itérations $u_8 = u_7 = 2,222\ 160\ 325\dots$ à 10^{-9} près.

.. $e=0,9$ et $M=2^\circ$

Ici, l'excentricité est forte, et alors la convergence avec (N2) est très lente comme on peut en juger:

$u_0 = 2$	$u_{50} = 17,534\ 3$
$u_1 = 3,799\ 6$	$u_{80} = 17,544\ 014$
$u_2 = 5,417\ 2$	$u_{100} = 17,544\ 125\ 61$
...	$u_{120} = 17,544\ 130\ 07$
$u_{10} = 13,414\ 8$	$u_{130} = 17,544\ 130\ 24$
$u_{20} = 16,593\ 5$	$u_{140} = 17,544\ 130\ 28$
.....	...

et finalement, à 10^{-10} près, $u_{150} = 17,544\ 130\ 283\ 6$

Si on utilise la forme (N1), la convergence est rapide:

$$u_0 = 2 \quad u_1 = 19,898 \quad u_2 = 17,6368 \quad u_3 = 17,544\ 273$$

et $u_4 = 17,544\ 130\ 29$

.. Pour les planètes, $e < 0,1$ sauf Mercure (0,205) et Pluton (0,25)
Avec une précision de 0,0001 (soit 0,4%), il suffit de 2 itérations avec (N1) et au plus 6 avec (N2) bien plus simple.

.. Pour les comètes, d'excentricité généralement voisine de 1, seule la forme (N1) est utilisable:

Ex. Comète de Halley $e=0,9673$ et $M=1^\circ$

(N1) fournit $u_7=u_6=19^\circ,503\ 549\ 320$ à 10^{-10} près et

(N2) donne ... $u_{253}=19^\circ,503\ 549\ 320$

Sans commentaires.

.. On retrouvera plus loin cette méthode. Il n'est d'ailleurs pas certain qu'elle soit due à Newton lui-même, car à la fin du XVII^e siècle, beaucoup de mathématiciens-calculateurs étaient sur la piste. Parmi eux, un peu plus tard, Alexis Clairaut prédit le retour de la comète de Halley pour 1759, à son périhélie.

d). Développements limités.

Pour de plus amples renseignements sur ce paragraphe, on se reportera à la page 172 de "Astronomie Générale" de André Danjon, Ed. Blanchard, 1980. C'est une "bible" ...

Il y démontre les résultats suivants:

On développe u et v en fonction de e et M au moyen de séries de Fourier de M .

$$u = M + \left(e - \frac{e^3}{8} + \frac{e^5}{192} + \dots\right) \cdot \sin M + \left(\frac{e^2}{2} - \frac{e^4}{6} + \dots\right) \cdot \sin 2M + \dots$$

$$v = M + \left(2e - \frac{e^3}{4} + \frac{77}{96} \cdot e^5 + \dots\right) \cdot \sin M + \left(\frac{5}{4}e^2 - \frac{11}{24}e^4 + \frac{17}{192}e^6 + \dots\right) \cdot \sin 2M + \dots$$

Ces développements ne sont vraiment utiles que pour de faibles valeurs de e , car la convergence est assez lente. D'ailleurs, Laplace a montré que si $e > 0,662$, cette convergence peut ne pas exister pour certaines valeurs de M .

Néanmoins, en ne gardant que les premiers termes, le développement de v rendra de bons services pour utiliser un planétaire:

$$v = M + 180/\pi \cdot (2e \cdot \sin M + 1,25 \cdot e^2 \cdot \sin 2M)$$

Voir à ce sujet le modèle proposé dans le C.C. n° 24.

e). Usage de l'informatique.

L'informatique (micro-ordinateurs ou calculatrices programmables) permettent de ne plus faire "à la main" les calculs que l'on disait justement "astronomiques".

Voici un exemple de programme utilisant la méthode d'itération de Newton, adaptable sur des calculatrices du genre (publicité gratuite !) Casio FX 702P ou Sharp PC 1251 ou 1500 ou... ou bien sûr, sur micro-ordinateur, en Basic (ou autre langue).

Les ordinateurs (et non les calculatrices) utilisent les fonctions trigonométriques avec des angles en radians. Le nombre G sert à faire la transformation.

```
10 Input "Excentricité ";E
20 Input " M= "; M
30 G=3.141592653 / 180
40 U=M*G
50 If E<0.5 Then W=M*G + E*Sin(U) : Goto 54
52 W=U+(M*G + E*Sin(U) - U)/(1-E*Cos(U))
54 If ABS(W-U)> (10-6)*G Then U=W : Goto 50
56 U=W
60 Print "U="; U/G
```

Pour les planètes, $e < 0,2$. On peut faire encore plus simple donc avoir une exécution plus rapide: il suffit de remplacer les lignes 50, 52, 54, 56 par une seule:

```
50 For I=1 To 7 : U=M*G + E*Sin(U) : Next I
```

Ainsi (EK) est résolue par une seule ligne de calculs. Ah! si Kepler savait ça....

(... à suivre)

Michel Toulmonde

* * * * *

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLEA

Directeur de la publication: L. Gouguenheim Université Paris Sud

Laboratoire d'Astronomie Bât.426 91405 ORSAY CEDEX

Comité de rédaction: D. Bardin, L. Bottinelli, J. Dupré, M. Gerbaldi, L. Gouguenheim, J.P. Parisot, J. Ripert, D. Toussaint, V. Tryoën, G. Walusinski.

Edité à l'Université Paris Sud, Laboratoire d'Astronomie Bât. 426 91405 ORSAY CEDEX

Prix du numéro: 10f; abonnement annuel (4 numéros) 35 f.

Dépot légal: 1er semestre 1979

Numéro d'inscription à la CPPAP: 61660