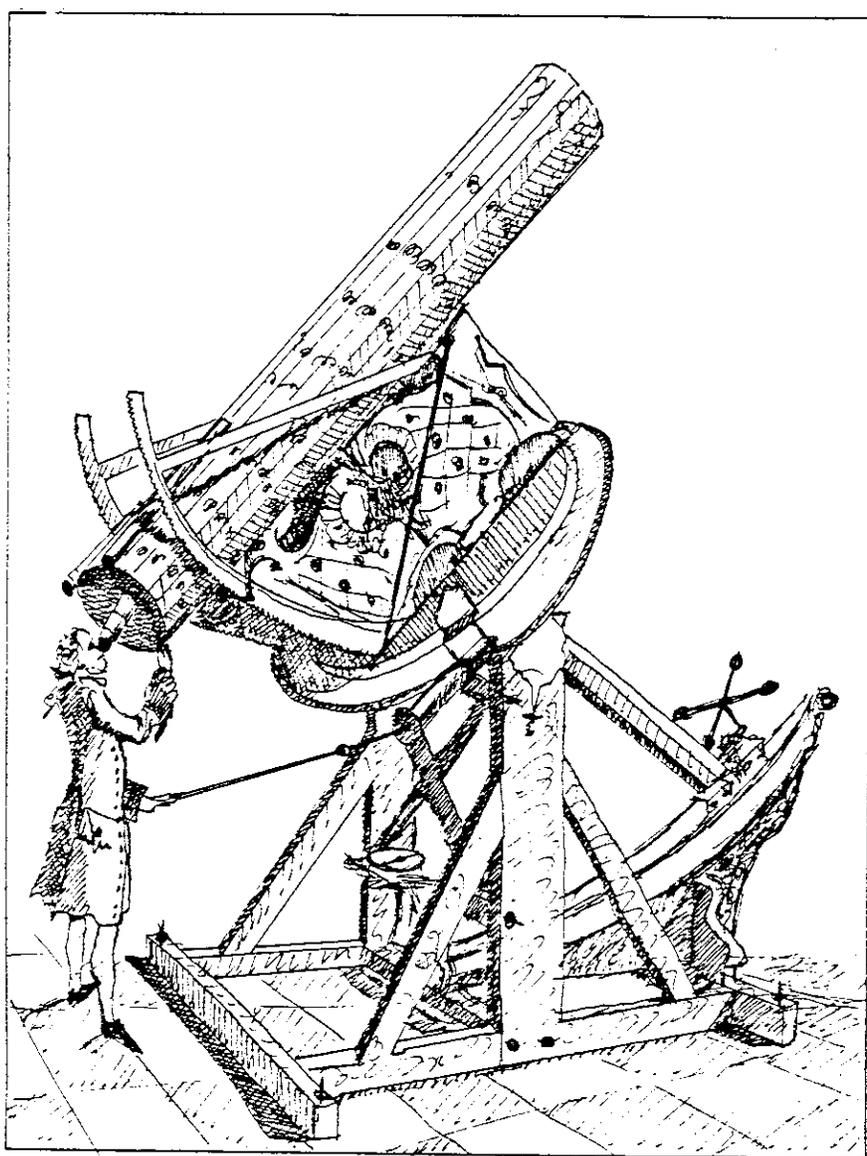


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°17 - été 1982

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 17 Eté 1982

Vers l'est ou vers l'ouest ? .....	p 3
Réunion constitutive du CLEA .....	p 7
A propos du concours du futur Musée des Sciences et Techniques .....	p 8
Un astronome géodésien : Jean Picard .....	p 11
Cadran solaire .....	p 17
Stages CEMEA à Aniane .....	p 21
Lectures pour la Marquise .....	p 22
L'origine du système solaire (fin) .....	p 24
A propos de la lunette astronomique .....	p 27
Courrier des lecteurs .....	p 28
Question aux lecteurs .....	p 30
Compte rendu de l'école d'été 1981 .....	p 30
La puce de la Sainte .....	p 30

EDITORIAL

Le CLAE - devenu CLEA - se constitue (voir p. 7). Nous aurons l'occasion de reparler dans le prochain numéro de tous nos projets destinés à promouvoir l'astronomie dans l'enseignement, en particulier en favorisant les actions locales et régionales et en favorisant la circulation de l'information et la formation continue des maîtres.

En vous réabonnant, vous avez souvent la gentillesse de nous dire ce qui vous plait dans les Cahiers et ce que vous en attendez. Un chaleureux merci à tous.

La Rédaction

DEMANDE D'ABONNEMENT ET DE REABONNEMENT (4 numéros par an)

Mr - Mme - Melle .....

Adresse : .....

Si possible, donner l'adresse de votre Etablissement scolaire afin de pouvoir bénéficier de la franchise postale, mais n'oubliez pas de signaler vos changements.

souhaite :

- s'abonner aux Cahiers Clairaut du numéro 1 au numéro 20
- s'abonner aux Cahiers Clairaut du numéro 17 au numéro 20
- se réabonner du numéro 17 au numéro 20
- ci-joint ma contribution financière :

tarif normal : 25 francs pour les numéros 17 à 20  
120 francs pour les numéros 1 à 20

tarif de soutien : 50 francs pour 4 numéros

Prix du numéro : 8 francs

Chèque à libeller à l'ordre de L.Gouguenheim. Remplir, cocher les cases correspondantes et renvoyer à Mme BOISSINOT, IAP, 98 bis Brd Arago, 75014 Paris.

VERS L'EST OU VERS L'OUEST ?

Qu'on ne voit dans ce titre je ne sais quelle ambiguïté... La réponse est toujours claire, mais varie selon les cas de figures, car notre bonne vieille Terre tourne, on le sait, paisiblement d'ouest en est.

Cette rotation se traduit par des effets de déviation (vers l'est ou vers l'ouest selon les conditions de lancement) lors de la chute des corps. On cite souvent à ce propos les expériences de chute effectuées par Reich (19<sup>ème</sup> siècle) dans un puits de mine (pour éviter les perturbations apportées par le vent). L'effet est minime : pour une hauteur de chute libre de l'ordre de 150 m, la déviation vers l'est reste inférieure à 3 cm sous nos latitudes. Cet effet est habituellement traité dans les cours post-baccalauréat, comme manifestation de la rotation terrestre par l'intermédiaire de la force d'inertie de Coriolis subie par les corps dans le référentiel terrestre. Sans être vraiment difficile, ce calcul est quelque peu formel et présente l'inconvénient, à mon sens, de masquer les explications physiques sous-jacentes. La déviation vers l'est n'est alors que le résultat d'un calcul.

Notre propos est de montrer qu'on peut analyser et faire comprendre le phénomène de manière simple et directe avec un minimum de formalisme du niveau d'élèves de Terminale. C'est aussi un très bon exemple apte à faire réfléchir ces mêmes élèves sur la notion de référentiel.

Rappelons d'abord que la Terre est approximativement une sphère de rayon  $R = 6400$  km et qu'elle effectue un tour sur elle-même en une durée  $T \approx 23\text{h } 56\text{ min} = 86140$  s, soit une vitesse angulaire de rotation  $\omega = 2\pi/T \approx 7,3 \cdot 10^{-5}$  rad.s<sup>-1</sup>. Dans la suite, par seul souci de simplicité, nous nous placerons à l'équateur terrestre; c'est d'ailleurs là, que les effets de rotation sont maximaux, du moins en ce qui concerne notre problème. Aux pôles, au contraire, les effets sont inexistantes, puisqu'en ces lieux privilégiés il n'y a ni est ni ouest... En outre nous négligerons les effets de la résistance de l'air et du vent et nous supposerons la durée  $\Delta t$  de chute très petite devant  $T$ .

I. ATTENTION AU REFERENTIEL !

Une idée fréquente, mais naturelle, dans l'esprit des élèves est que si on lâche sans vitesse initiale un corps A à la hauteur h au-dessus du sol, à l'aplomb du point H du sol, son point de chute sera en B, le point H se trouvant alors à l'est de B du fait de la rotation de la Terre pendant la durée de la chute (Figure 1). On observerait ainsi une notable déviation vers l'ouest!

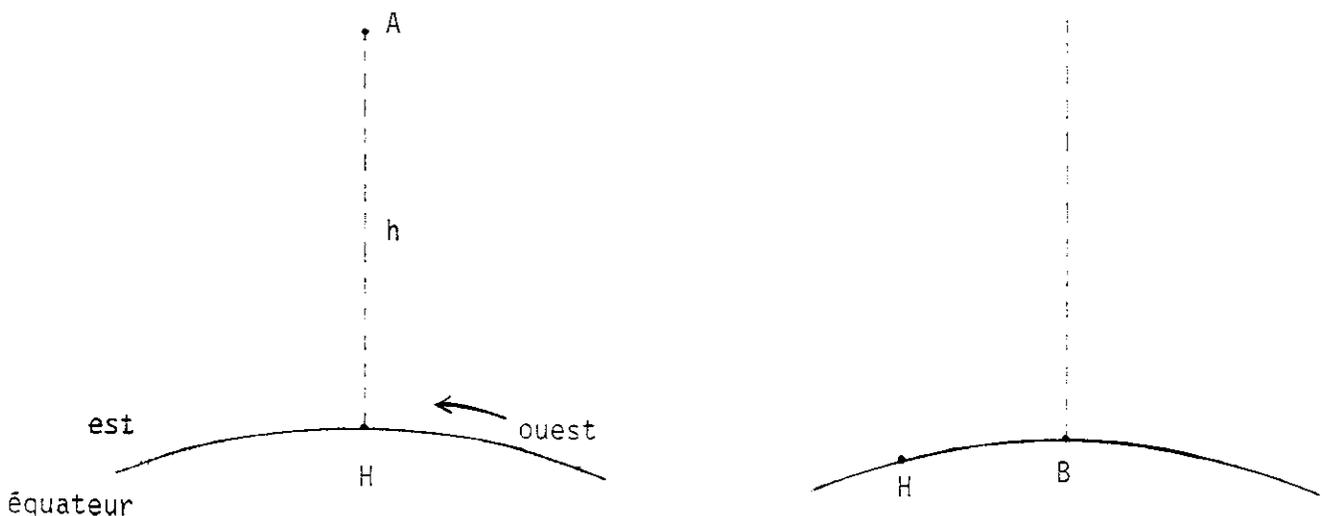


Figure 1

Prenons une durée de chute  $\Delta t$  de l'ordre de 5s ( $h = \frac{1}{2}gt^2 \approx 120$  m); dans ce contexte on trouve :  $HB = R\omega\Delta t = 6,4 \cdot 10^6 \times 7,3 \cdot 10^{-5} \times 5 \approx 2,3 \cdot 10^3$  m soit 2,3 km, c'est-à-dire une impressionnante déviation vers l'ouest. L'erreur est naturellement typique de ce qu'il ne faut pas faire, et très propre à faire réfléchir des élèves : on raisonne à la fois dans deux référentiels différents. Le mouvement de la Terre est repéré par rapport à un référentiel galiléen (le référentiel de Copernic par exemple) alors que le mouvement de chute du corps est repéré (sans le dire) par rapport au référentiel terrestre. Il est plus simple, bien que moins naturel, de raisonner dans le référentiel de Copernic ( $R_C$ ). Mais alors, il faut tenir compte de la vitesse d'entraînement du corps, car à l'instant où on le lâche il est effectivement entraîné vers l'est par la rotation de la Terre. La bonne situation est représentée sur la figure 2. Cette vitesse d'entraînement vers l'est a pour module :  $v = (R+h)\omega$ .

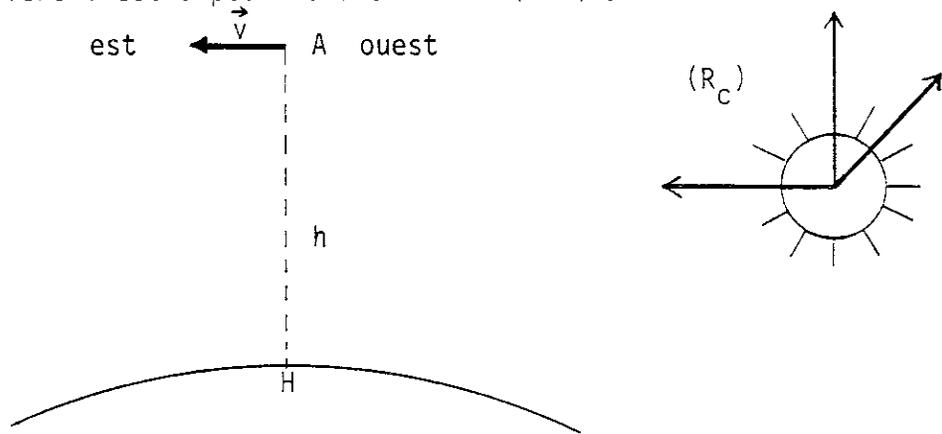


Figure 2

Il faudrait aussi tenir compte de la vitesse d'entraînement due au mouvement translationnel de la Terre autour du Soleil. Cette vitesse, la même pour tous les points, n'intervient pas dans la question qui nous occupe.

## II. DEVIATION VERS L'EST.

Tenons donc compte de cette vitesse d'entraînement  $v$ . Supposons l'intensité de la pesanteur  $\vec{g}$  uniforme (figure 3). On est ainsi ramené dans le référentiel de Copernic ( $R_C$ ), au mouvement classique de la chute parabolique. (Dans ( $R_C$ ) la relation  $\vec{F} = m \vec{a}$  s'applique). Le point de chute B est tel que :

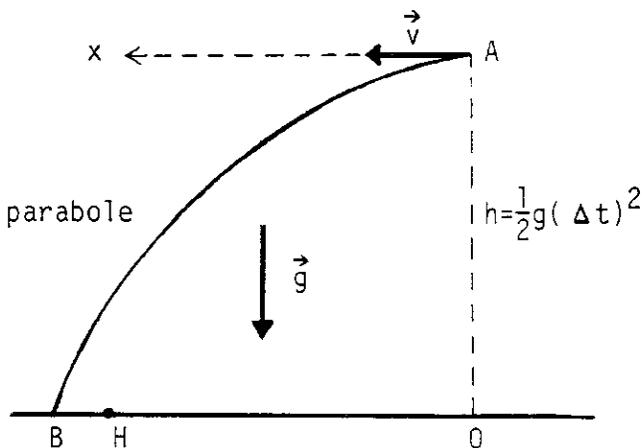


Figure 3

$$OB = (R+h)\omega \Delta t$$

alors que le point H (qui était à l'aplomb de A à l'instant initial de chute) est tel que :

$$OH = R\omega \Delta t$$

Le point B se trouve donc, dans ces conditions, effectivement à l'est de H et la déviation vers l'est a pour valeur :

$$HB = h\omega \Delta t \text{ avec } h = \frac{1}{2}g(\Delta t)^2 \text{ d'où :}$$

$$HB = \frac{1}{2}g\omega(\Delta t)^3$$

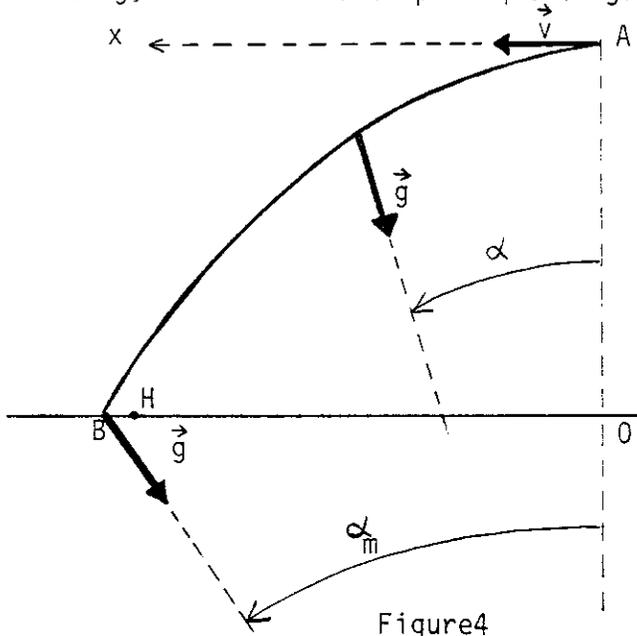
*Remarque : l'hypothèse  $\Delta t \ll T$  fait que l'on peut négliger la courbure des arcs tels que  $\widehat{OB}$  ou  $\widehat{OH}$  pour le calcul de la hauteur de chute.*

Cette expression, obtenue très simplement, donne le bon ordre de grandeur du phénomène. Pour  $\Delta t = 5s$  :  
 $HB = \frac{1}{2} \times 9,8 \times 7,3 \cdot 10^{-5} \times 125 \approx 4,5 \cdot 10^{-2} m$ , la hauteur de chute  $h$  étant de l'ordre de 120 m.

Poussons plus loin l'analyse. Le calcul exact donne en fait :

$$HB = \frac{1}{3} g \omega (\Delta t)^3$$

soit seulement les 2/3 de la valeur que nous avons obtenue. A quoi attribuer cette discordance ? Nous avons supposé dans notre calcul  $\vec{g}$  uniforme. Or  $OH \approx OB \approx 2 km$  : sur une distance de cet ordre, il faut tenir compte de l'obliquité de  $\vec{g}$ , la Terre étant sphérique (Figure 4). La composante  $g_x$  de  $\vec{g}$  sur Ox a un



effet décélérateur sur le mouvement horizontal, ce qui explique pourquoi la déviation observée est plus faible. Montrons que cette décélération est insuffisante pour ramener la déviation vers l'ouest. La composante  $g_x$  est maximale en valeur absolue au point de chute B là où l'angle  $\alpha$  de  $\vec{g}$  avec OA est maximal. En B :

$$g_{x_m} = -g \alpha_m = -g \omega \Delta t \quad (\alpha_m \approx \omega \Delta t).$$

Considérons alors un mouvement fictif sur Ox, de vitesse initiale  $(R+h)\omega$  et uniformément retardé d'accélération  $g_{x_m} = -g\omega\Delta t$ . Pour un tel mouvement on aurait :

$$OB = (R+h)\omega \Delta t + \frac{1}{2} g_{x_m} (\Delta t)^2 \text{ avec}$$

$$h = \frac{1}{2} g (\Delta t)^2, \text{ d'où :}$$

$$HB = (R+h)\omega \Delta t - \frac{1}{2} g \omega (\Delta t)^3 - R \omega \Delta t = h \omega \Delta t - \frac{1}{2} g \omega (\Delta t)^3 = 0$$

Dans cette situation fictive le point de chute serait donc en H (absence de déviation vers l'est ou vers l'ouest). Dans le mouvement réel  $|g_x| < |g_{x_m}|$  ; la décélération est plus faible que dans ce mouvement fictif d'où nécessairement une déviation vers l'est.

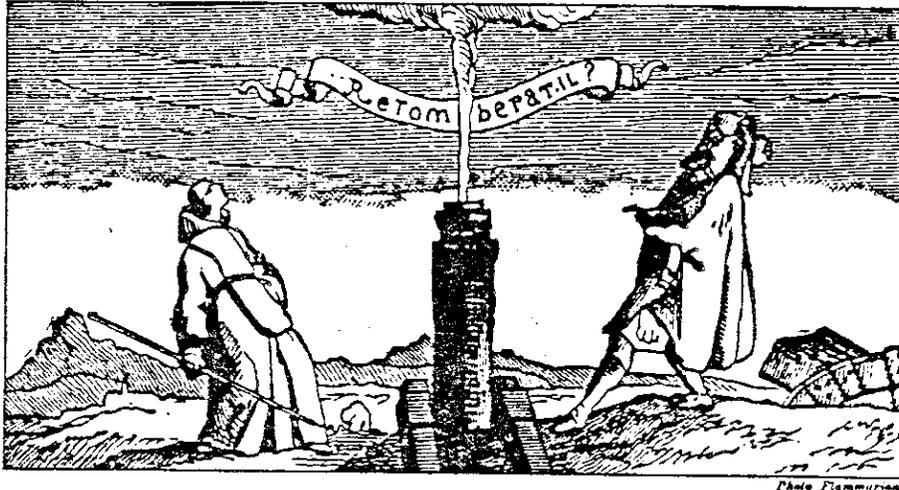
L'obliquité de  $\vec{g}$  a donc en définitive un effet de déviation vers l'ouest égal à :

$$\frac{1}{2} g \omega (\Delta t)^3 - \frac{1}{3} g \omega (\Delta t)^3 = \frac{1}{6} g \omega (\Delta t)^3$$

Ce résultat est très général (nous donnons le calcul exact, très simple, dans la note I en appendice). Il ne fait pas intervenir les conditions initiales de lancement du corps, mais uniquement la durée  $\Delta t$  du mouvement. Notons que dans l'exemple considéré, l'effet d'obliquité de  $\vec{g}$  est du même ordre de grandeur que l'effet dû à la vitesse initiale d'entraînement.

### III. L'EXPERIENCE DE MERSENNE.

Cette expérience fut tentée au XVIIème siècle par le père Mersenne et par Petit, Intendant des fortifications. Il s'agissait de lancer un boulet "à la verticale" (!) et d'observer le point de chute. Mersenne pensait semble-t-il, que le boulet devait retomber sur le canon. Descartes avait prévu, quant à lui, que le boulet ne devait pas retomber ... Le boulet ne fut effectivement pas retrouvé. Nous laissons le lecteur juge d'une explication vraiment cartésienne...



L'OBUS TIRÉ VERTICALEMENT RETOMBERA-T-IL? Gravure du XVII<sup>e</sup> siècle.

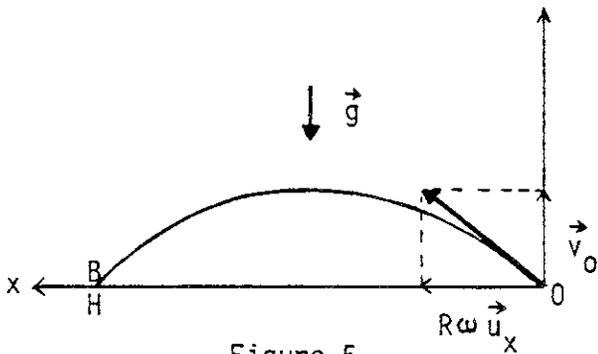


Figure 5

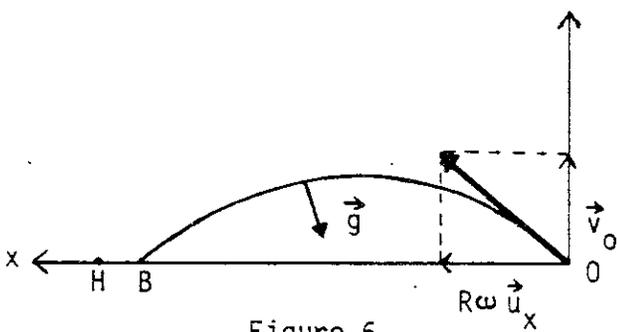


Figure 6

La figure 5 présente le mouvement dans le référentiel ( $R_0$ ) en supposant  $\vec{g}$  uniforme;  $\vec{v}_0$  représente la vitesse verticale de lancement du boulet. Le mouvement est parabolique. La vitesse d'entraînement en O est  $v = R\omega$ , de sorte que :

$$OB = R\omega \Delta t = OH$$

où  $\Delta t$  est la durée du mouvement. Si l'on suppose  $\vec{g}$  uniforme, le point de chute B est donc confondu avec H : le boulet retombe sur le canon ce qui semble donner raison à Mersenne.

En fait, nous devons tenir compte de l'obliquité de  $\vec{g}$  (Figure 6) qui entraîne, par effet décélérateur, une déviation vers l'ouest de valeur :

$$\frac{1}{6} g \omega (\Delta t)^3$$

(nous nous plaçons toujours, pour simplifier, à l'équateur). En définitive, le boulet aurait dû retomber à l'ouest du canon. Mais il était sans doute peu réaliste de supposer le lancement rigoureusement vertical et de négliger la vitesse du vent!

Si on prend par exemple,  $v_0 = 250 \text{ m.s}^{-1}$  :

$$\Delta t = 2v_0/g \approx 50 \text{ s} \text{ et } HB = \frac{1}{6} g \omega (\Delta t)^3 = \frac{1}{6} \times 9,8 \times 7,3 \cdot 10^{-5} \times (50)^3 \approx 15 \text{ m (vers l'ouest)}$$

Pour conclure nous proposons le petit exercice suivant : on lance verticalement vers le haut, à la hauteur  $h$  au-dessus du sol, un corps avec une vitesse  $v_0$ ; comment choisir  $v_0$  pour que le corps retombe à l'ouest de la verticale du point de lancement (on néglige l'influence de l'air et du vent).

Réponse :  $v_0 > (2gh/3)^{\frac{1}{2}}$

NOTES

I. L'effet d'obliquité de  $\vec{g}$  se calcule aisément. Repérant l'instant de lancement par la date  $t = 0$ , à la date  $t$  la composante  $g_x$  a pour valeur :

$$g_x = -g \alpha \quad \text{avec } \alpha \approx \omega t, \text{ soit : } g_x = -g \omega t$$

On en déduit :  $v_x = v - \frac{1}{2} g \omega t^2$  ( $v$ : vitesse initiale d'entraînement)

$$\text{et } x = vt - \frac{1}{6} g \omega t^3$$

et pour la durée  $\Delta t$  de la chute :

$$OB = v \Delta t - \frac{1}{6} g \omega (\Delta t)^3$$

II. En un lieu de latitude  $\lambda$ , il suffit de multiplier tous les résultats par  $\cos \lambda$ . Cela tient à ce que les vitesses d'entraînement sont multipliées par  $\cos \lambda$ . Il est facile de voir, par exemple, qu'un point du sol est animé par rapport à  $(R_c)$  de la vitesse  $R \omega \cos \lambda$ , puisqu'il décrit une circonférence de rayon  $R \cos \lambda$ .

H.GIE (Paris)

REUNION CONSTITUTIVE DU CLEA (Comité de Liaison Enseignants et Astronomes)
-------------------------------------------------------------------------------

Depuis leur origine, les Cahiers Clairaut se sont présentés comme bulletin d'un Comité de Liaison Astronomes et Enseignants. Ce Comité n'avait pas la forme d'une association déclarée ce qui l'empêchait de disposer d'un C.C.P. à son nom; surtout cela ne lui permettait pas d'intervenir auprès des ministères intéressés pour défendre ou promouvoir l'enseignement de l'astronomie. Alors que les correspondants des Cahiers nous pressaient de le faire.

Une action officielle en faveur de l'enseignement de l'astronomie, action s'appuyant sur une association déclarée, nous a parue indispensable. Ainsi avons-nous invité des collègues de bonne volonté à une réunion qui, grâce à l'obligeance de J.C. Pecker, s'est tenue au Collège de France, ce vendredi 7 mai de 15 h à 18 h 30.

Sous la présidence de Jean-Claude Pecker se sont réunis Lucette Bottinelli (Orsay-Meudon), Yves Delaye (AFA), Christian Dumoulin (IREM Limoges) Jacques Dupré (Orsay) Philippe Fleury (Union des Physiciens), Lucienne Gouguenheim (Orsay-Meudon), Daniel-Jean Jay (assoc. prof. Histoire-Géographie), Bruno Morando (Bureau des Longitudes, SAF), Georges Paturel (Obs. Lyon), Bernard Pellequer (AFA), Nicole Sanglerat (groupe Ciel CEMEA), Michel Simondin (Directeur E.N. Versailles), Gilbert Walusinski (assoc. prof. de math.), Françoise Wyns (ANSTJ). Parmi les excusés, citons Agnès Acker (Obs. Strasbourg), Jean-Pierre Brunet (Obs. Toulouse), Michel Charles (Musée de la Villette), Nicole Bel (Meudon, SFP), S. Collin (Meudon), Jean Delhay (Obs. Paris-SFSA), Michèle Gerbaldi (IAP-Orsay), Hubert Gié (I.G. Physique), Francis Gleizes (Montpellier), Pierre Léna (Paris 7-Meudon), Evry Schatzman (Obs. Nice-SFSA) et Marie-France Duval (Obs. Marseille).

Les Cahiers publieront dans leur prochain numéro les textes rédigés à la suite de la réunion et rendront compte de l'activité du CLEA. Faute de place pour aujourd'hui:

- Au lieu de "Comité de Liaison Astronomes et Enseignants", pour éviter la confusion avec "Centre de Loisir Associé à l'Ecole", nous devenons le "CLEA" par interversion des deux derniers mots.
- L'action qui sera proposée à l'Education Nationale consiste à mettre en avant l'astronomie dans la formation initiale et continuée des enseignants, en ne s'adressant, en toutes circonstances qu'à des enseignants volontaires. Un plan de 4 ans qui sera présenté au M.E.N. comportera des stages régionaux de sensibilisation et des stages de formation.
- Un effort de diffusion des Cahiers Clairaut sera entrepris afin que l'action du CLEA soit connue dans tous les milieux de l'enseignement.
- Le premier objectif du CLEA est de favoriser toutes les initiatives locales.
- Un bureau provisoire a été constitué; adresser toute correspondance ou demande de renseignement à: Gilbert Walusinski, secrétaire, 26, Bérengère, 92210 St CLOUD

A PROPOS DU CONCOURS DU FUTUR MUSEE  
DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU PARC DE LA VILLETTE

La Mission du futur Musée des Sciences et Techniques du Parc de la Villette a organisé en 1981 (voir les Cahiers n°14) un concours dont les résultats viennent d'être proclamés. Parmi les objectifs visés par ce concours, donner le goût d'observer et réaliser des observations avec des moyens simples figuraient en bonne place.

Le jury s'est félicité de la qualité des dossiers présentés. Au cours de la petite exposition qui a précédé la remise des prix, on a pu apprécier l'ingéniosité de beaucoup de ces projets, généralement très bien insérés dans un objectif pédagogique. Nous avons eu en particulier la joie de découvrir parmi les premiers prix les noms de collègues du secondaire qui depuis maintenant cinq années collaborent aux Ecoles d'été d'Astronomie. animateurs ayant le souci de mettre à la portée de tous leurs découvertes, il font chaque année partager leur enthousiasme à leurs collègues. Leur but est de faire comprendre certains mécanismes fondamentaux en astronomie à partir de maquettes qui deviennent à leur tour point de départ d'observations futures.

C'est ainsi que le lycée Saint-Exupéry de Lyon, où enseigne Claude Piguet, présente une maquette de notre système solaire mettant bien en évidence notre point de vue géocentrique et permettant de déterminer à quelle date on peut observer telle ou telle planète et réciproquement. Cette maquette peut être réalisée à divers degrés de complexité, la plus simple étant en carton, et peut faire l'objet d'un travail collectif d'une classe de l'enseignement primaire, comme nous avons eu récemment l'occasion d'en discuter avec des élèves-instituteurs.

Les trois maquettes présentées par les Centres d'Entraînement aux méthodes d'Education Active (C.E.M.E.A.) - toise à Soleil - sphère armillaire - cadrans solaires - mettent l'accent sur des réalisations permettant de se familiariser avec des méthodes simples d'observation conduisant à une exploitation collective des résultats dans la perspective d'une retransmission en milieu scolaire ou de clubs... La fabrication de ces maquettes fait appel au travail manuel par l'intermédiaire du bois et la sphère armillaire qui fut présentée peut, par bien des égards, rivaliser en qualité d'ébénisterie avec celle des musées. Claude Lamot, Alphonse Delavergne, Jeanine Chappellet et Victor Aguerre savent nous retransmettre le savoir-faire des C.E.M.E.A. suscitant l'admiration de leurs collègues pour ces réalisations, aussi simples que possible dans leur principe, et aussi riches de résultats (voir C.C.n°7).

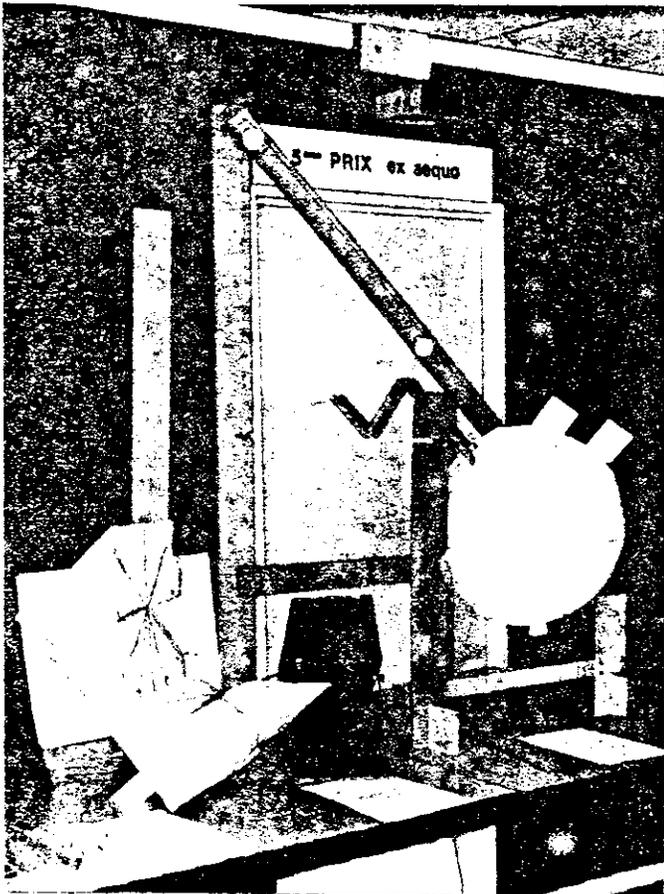
Daniel Toussaint, passionné par la découverte des cadrans solaires répartis sur tout notre territoire national, a résolu le problème de la construction d'un cadran solaire, sans aucun calcul et surtout sans trigonométrie. Un cube de polystyrène, des idées, faisant suite à l'observation attentive du mouvement du Soleil, et voilà votre cadran solaire réalisé. Mais tout n'est pas là, comment faire un cadran solaire sur un mur à l'orientation quelconque et qui peut même être tordu ? Utilisez les principes de la projection suggère Daniel Toussaint, en la réalisant concrètement avec une lampe, et un cadran solaire peut y être dessiné. L'ingéniosité de ces deux réalisations suscite aux Ecoles d'été et parmi les lecteurs des cahiers (voir C.C. n°11) des vocations pour la fabrication de cadrans solaires enfin accessibles sans l'usage de ces petites calculatrices électroniques dont les publicités veulent trop souvent nous faire croire qu'elles sont devenues la panacée universelle pour l'astronome amateur.

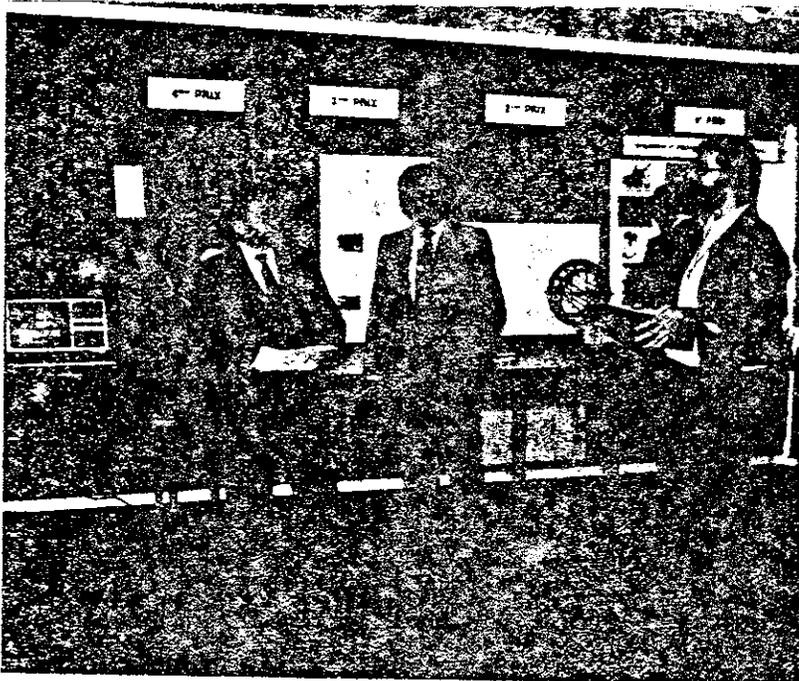
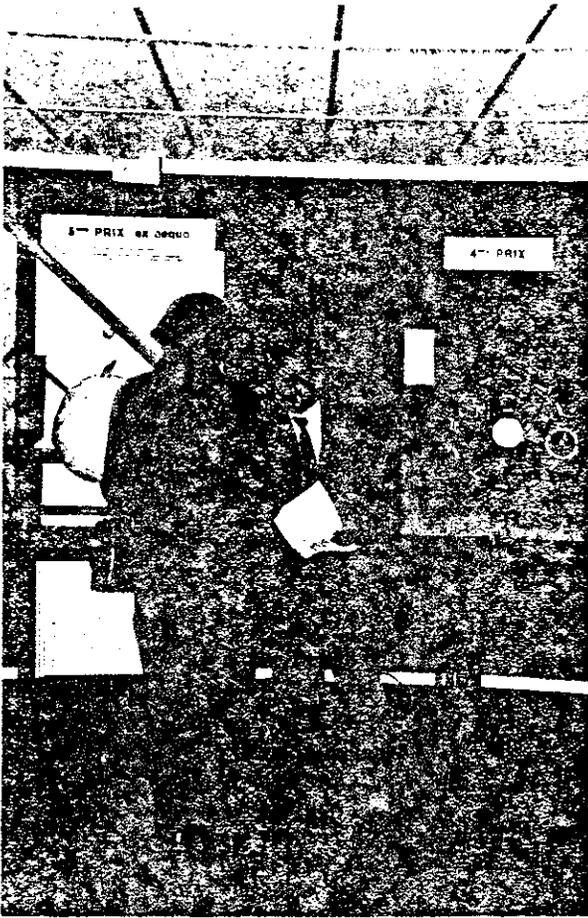
Qui d'entre nous n'a pas dû faire face aux remarques désabusées quant-aux moyens énormes (grand télescope) nécessaires pour réaliser une photographie de la galaxie d'Andromède ou bien un spectre de la nébuleuse d'Orion? Daniel Bardin nous prouve, chaque année, le contraire, en photographiant Andromède le plus naturellement du monde avec un simple appareil photo, monté sur un équatorial de sa fabrication ne nécessitant que deux planchettes de bois, une charnière et une tige filetée. Que Daniel Bardin ait obtenu le premier prix de ce concours et ait suscité l'étonnement du jury devant la qualité de ses réalisations à partir de moyens ultra-simples ne nous a pas étonnés. Nous connaissons bien l'enthousiasme (et le mot n'est pas trop fort) que Daniel Bardin suscite parmi ses collègues pour la fabrication de cet équatorial qui permet d'obtenir de tels résultats. L'atelier de l'Ecole d'été en devient tout embouteillé... Mais, savez-vous que Daniel Bardin est l'auteur des couvertures des compte-rendus des trois dernières Ecoles d'été ?

Michèle GERBALDI

*Note de la Rédaction: Plusieurs des lauréats de ce concours nous ont promis un article pour les Cahiers, décrivant leur réalisation. Nous commençons dans ce numéro par celui de notre collègue et fidèle lecteur Jacques Ollier qui enseigne au C.E.S. de Saint Brice où il anime un club et qui a réalisé un très beau cadran solaire.*

*Nous publions également quelques photos prises sur le site du futur Musée de la Villette lors de l'exposition des projets primés: on y voit quelques uns des lauréats, le professeur J.C. Pecker, président du jury, le responsable du Musée, Mr Lebeau et plusieurs des réalisations primées.*





Un astronome géodésien

Jean PICARD (1620-1682)

Ayant soutenu la thèse qu'en histoire des sciences il faut préférer l'histoire des grands problèmes à celle des savants célèbres, j'éprouve qu'il est bien difficile de ne pas, souvent, revenir à ceux-ci. La science, fait de société, est oeuvre humaine ; ce sont des individus qui se sont posé les bonnes questions, un grand savant a souvent axé sa recherche sur un grand problème. Et puis, les circonstances ont leur prix : cette année marque le trois centième anniversaire de la mort de Jean Picard.

L'astronome Il était né à La Flèche le 21 juillet 1620. On sait peu de choses sur sa jeunesse sinon qu'entré au service d'un duc de Créqui, un astronome, Jacques de Valois, le conduisit à faire des observations et à compléter sa formation scientifique. Sans doute parce que c'était alors le seul moyen de réaliser ce programme à qui ne disposait ni de fortune ni de titre, il entra au séminaire et devint abbé. A la fin de sa vie, il était prieur de l'abbaye de Rillé, en Anjou. Mais l'essentiel de son activité fut scientifique.

Le premier témoignage de cette activité nous est donné par Pingré dans ses Annales célestes du dix-septième siècle. A l'occasion de l'éclipse de Soleil du 20 août 1645, il note que Gassendi était assisté par Jean Picard, "Angevin très studieux et très-instruit...C'est ici la première mention que je trouve du célèbre abbé Picard, qui depuis a bien confirmé le jugement qu'en avait porté Gassendi." A l'époque, les observations d'éclipses ou d'occultations font partie du travail habituel des astronomes. Le ciel de Paris est encore assez peu pollué et peu illuminé. Ainsi, c'est du haut des tours de Notre-Dame que Picard observe une éclipse de Lune le 30 janvier 1646 alors que la Seine vient de rester gelée pendant plus d'un mois : en haut des tours, j'espère que Picard était bien emmitoufflé !

Dans ses débuts, Picard est donc souvent l'assistant de Gassendi. On a même prétendu qu'il avait suppléé Gassendi au Collège royal, notre actuel Collège de France. Peut-être l'a-t-il fait occasionnellement, Gassendi ayant peu d'ardeur à remplir la charge de cette chaire d'enseignement mais les archives ne portent aucune trace de la nomination de Picard au Collège Royal.

Picard a été un astronome chercheur et pourtant on ne lui doit aucune grande découverte. Il a noté, le 13 avril 1674, que le disque de Jupiter est fortement aplati. Il a observé l'aberration annuelle de la Polaire mais ses recherches en ce domaine ont été interrompues par sa mort et tant la découverte générale de l'aberration et son explication devaient être l'oeuvre de Bradley plus de quarante ans plus tard. Mais Picard fut l'un des premiers à comprendre toute la portée des observations à la lunette. Ainsi signale-t-il qu'avec sa lunette il peut distinguer les étoiles en plein jour.

Le micromètre d'Auzout Le grand mérite de Picard est d'avoir compris les avantages qu'apportait la substitution de la lunette à l'alidade à pinnules dans les mesures de visée. Les progrès de l'astronomie de position qui marquent cette époque sont en grande partie son oeuvre.

Première étape du perfectionnement de la lunette de Galilée, l'invention de l'oculaire convergent par Kepler, son perfectionnement et sa mise en pratique par Huygens (vers 1659) : l'oculaire à plusieurs lentilles corrige des aberrations chromatiques. Seconde étape, le réticule dont Pingré attribue l'invention à un certain marquis de Malvasia de Modène : "c'était un treillis de fils d'argent très fins, se coupant à angles droits, formant par leurs intersections des quarrés parfaits, divisant le champ de la lunette en 12 parties égales, tant de bas en haut que de gauche à droite. Quelques quarrés, les plus éloignés du centre étaient subdivisés en plusieurs quarrés plus petits, par des fils plus déliés. Ce treillis ou réticule était mobile. On le faisait rourner circulairement, jusqu'à ce qu'une étoile voisine de l'équateur suivît exactement l'un des fils, et le temps qu'elle employait à passer d'un fil perpendiculaire à un des fils suivants, faisait connaître l'intervalle des fils en minutes et secondes de degré. Rendant ensuite un des fils parallèle à l'horizon ou à l'équateur ou à l'écliptique, il était facile de juger combien la différence de deux astres en hauteur, en longitude, en latitude, etc comprenait de divisions et de fractions de division et conséquemment de minutes et de secondes de degré."

Troisième étape, décisive, la réalisation du micromètre à vis par Auzout, en 1666. Le modèle de micromètre inventé par l'Anglais Gascoigne vers 1640 était resté inconnu des astronomes français et c'est le modèle d'Auzout que Picard utilisa en 1667 pour mesurer le diamètre apparent du Soleil : il le trouve un peu supérieur à  $31' 35''$  à  $3$  ou  $4''$  près (alors que Gascoigne faisait ses mesures à  $30''$  près). C'est d'ailleurs le micromètre d'Auzout que Römer perfectionnera encore en supprimant le "temps perdu" de la vis au moyen d'un ressort. Le micromètre a atteint sa forme définitive.

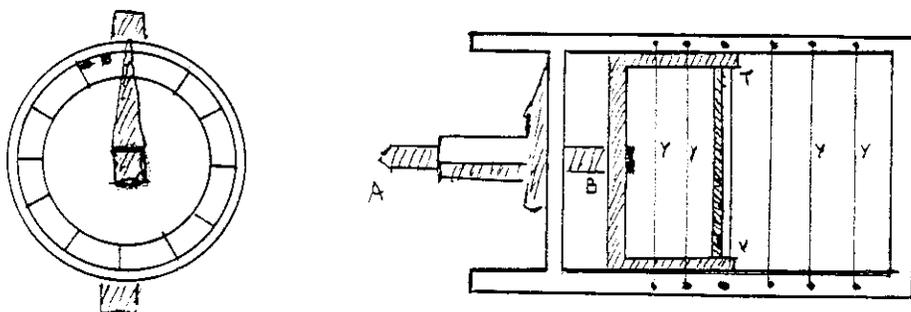


Fig 1 - Le micromètre d'Auzout d'après le schéma de l'époque reproduit p.627 de Lunettes et Télescopes, le livre de A.Danjon et A.Couder. Les fils Y sont fixes ainsi que le cadre sur lequel glisse le chariot mobile(ici hachuré) porteur d'un fil VT. AB est la vis micrométrique dont la rotation est repérée sur un cadran gradué (vu de face, à gauche sur la figure).

La méridienne de France En 1667, Picard est donc en possession des bons instruments de visée qui vont lui être utiles dans sa grande tâche de géodésien. Auparavant, il devait toutefois participer à un événement social de grande portée scientifique, la création de l'Académie des Sciences par Colbert, en 1666.

Depuis plus d'un quart de siècle, le Père Marin Mersenne avait compris l'intérêt de réunir les grands savants de l'époque ; Descartes, Fermat, Desargues, Roberval, Gassendi se retrouvaient chez lui pour échanger des idées, discuter des théories nouvelles. Mersenne prouvait l'existence du besoin des contacts entre savants en montrant l'exemple.

Colbert reprend l'idée et fonde l'institution, ce qui est bien la tâche d'un ministre. Quand il fonde l'Académie des Sciences, le nom de Picard figure dans la liste des "mathématiciens" avec Auzout, Carcavi, Huygens, Roberval, Buot et Frenicle. On notera en passant que l'un de ces académiciens n'était pas Français, Huygens, et que plusieurs autres étaient peut-être inconnus de beaucoup de lecteurs (la gloire s'use vite, même chez les académiciens). Cassini sera joint à cette liste un peu plus tard, en 1666, il n'est pas encore venu d'Italie.

Dans l'esprit pratique de Colbert, l'Académie des Sciences devait essentiellement favoriser le développement de l'économie du pays. La recherche scientifique - on n'employait d'ailleurs encore pas l'expression - n'était considérée par lui que comme un moyen. Cela explique quelles furent les premières tâches que l'Académie mit à son programme : la mesure d'un arc de méridien, la réalisation d'une première carte de France, toutes opérations qui correspondaient bien aux capacités de Picard et à ses goûts.

Ce fut donc lui qui fut chargé de mesurer un arc de méridien. Il choisit un arc qui allait de Sourdon, près d'Amiens, à Malvoisine, près de Corbeil. La méthode utilisée fut celle de la triangulation qui venait d'être inventée et expérimentée par Snellius, en Hollande. [ Ce même Snellius qui savait composer des forces par la règle du parallélogramme et qui venait d'inventer la notation décimale ou, si vous préférez, les nombres à virgule ]. Picard fit mieux que Snellius : pour effectuer les visées, il utilisa des lunettes à réticule et il choisit une base beaucoup plus longue que n'avait fait Snellius ; une base longue de 5 663 toises [ une toise = 1,949 m ] alors que Snellius était parti d'une base de 168 toises. La triangulation comportait treize triangles (Cf fig 2). Ce sont surtout les visées à la lunette qui améliorèrent les mesures et firent gagner une précision trente fois supérieure à celle des mesures précédentes.

Le résultat, 57 060 toises par degré de méridien fut publié en 1670. Événement déterminant dans l'histoire de l'astronomie et de la mécanique puisque c'est à partir de la valeur correspondante du rayon de la Terre (soit 6 371 860 m) que Newton put formuler complètement la théorie de la gravitation universelle. Toutes choses que Colbert n'avait pas prévu. En tout cas les mesures de Picard restèrent longtemps les meilleures et Delambre, en 1798, en trouvant 57074 toises par degré n'y apporte qu'une minime correction.

AB: "base fondamentale"

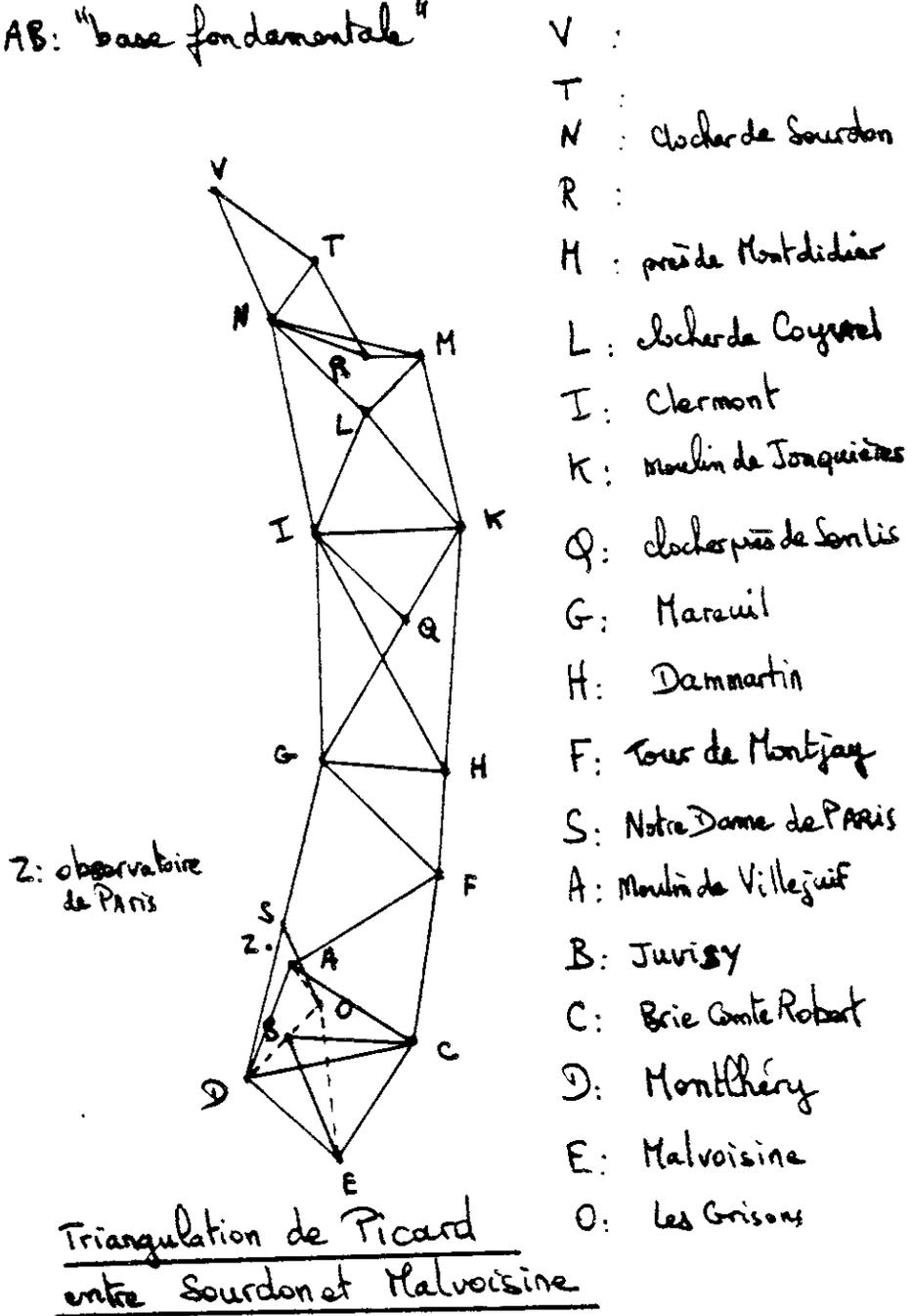


fig 2 Triangulation de Picard entre Sourdon et Malvoisine.

(d'après un article paru dans La Gazette d'Uranie)

La construction de l'Observatoire de Paris s'achève en 1670, Picard s'y installe seulement en 1673 mais dès 1671 y fait des observations intéressantes comme celle du passage de la Terre dans le plan des anneaux de Saturne (Huygens ayant découvert les anneaux en 1659 avait prévu pour 1671 la disparition apparente de ces objets minces). Pourtant Picard est l'homme des mesures sur le terrain et son voyage au Danemark aura de multiples conséquences.

Le voyage d'Uraniborg En 1671, Picard reçoit la mission d'aller à Copenhague pour retrouver les traces de l'oeuvre de Tycho Brahé. Retrouver les traces et plus précisément mesurer avec les instruments modernes les coordonnées géographiques de l'observatoire de Tycho.

On sait que celui-ci, bénéficiant de la protection du roi Frédéric de Danemark, avait pu construire un observatoire, Uraniborg, dans l'île de Huene, à dix lieues de Copenhague. De ce château voué à l'observation astronomique il avait accumulé observations et mesures, ces documents qui furent si précieux pour Kepler quand il étudia les mouvements de Mars. Le successeur de Ferdinand avait chassé Tycho ; il fit aussi raser Uraniborg. Le petit-fils de Frédéric, le roi Christian IV, voulut réparer le dommage et fit édifier une tour astronomique à Copenhague même, la confiant au plus fidèle disciple de Tycho, l'astronome Longomontanus (lequel, dans son Astronomia Danica est sans doute l'un des derniers à défendre le système de Tycho où les orbites des planètes sont contrées sur le Soleil, celui-ci ayant une orbite centrée autour de la Terre qui n'est donc pas une planète comme les autres).

En arrivant à Copenhague, Picard savait tout cela, les surprises vinrent d'ailleurs. Heureuse surprise de rencontrer Erasme Bartholin, professeur de mathématiques et de médecine, qui détenait tous les manuscrits de Tycho et regrettait de ne pouvoir les publier. Picard obtint que ces précieux documents lui soient confiés, promettant de les faire éditer par l'Académie des Sciences de Paris.

Passons sur les péripéties du voyage, les traversées maritimes étaient alors pleines d'imprévu. Quant au but de la mission, l'île de Huene, elle était devenue suédoise, difficulté supplémentaire ; les ruines d'Uraniborg servaient de dépotoir. Picard avait besoin d'aide ; Bartholin lui conseille d'embaucher un jeune astronome encore étudiant, Olaus Römer et cette rencontre de Picard et de Römer fut l'un des résultats importants de ce voyage. Ils se partagèrent les tâches.

Pour la différence des latitudes entre l'observatoire de Paris et Uraniborg, aucune difficulté ; la valeur trouvée est  $7^{\circ} 04' 05''$ . Pour la mesure des longitudes, l'observation simultanée d'un même événement dans les deux lieux était indispensable à cette époque, faute de garde-temps suffisamment fiables. L'observation d'une éclipse de Lune est manquée du fait du mauvais temps. Römer réussit plusieurs observations des phénomènes de Io, le premier des gros satellites de Jupiter.

Suivons d'ailleurs les explications que donne Picard lui-même dans le récit de son voyage publié par l'Académie en 1693 :

"Lorsqu'on veut déterminer exactement la différence de longitude qu'il y a entre les méridiens de deux lieux éloignés tels que Paris et Uraniborg, il est nécessaire en cette occasion que le ciel fournisse à deux observateurs quelque spectacle subit qui leur serve comme de signal, au moment duquel chacun d'eux remarque précisément l'heure du lieu où il est : ce qui se doit entendre ou de l'heure du Soleil ou de l'heure de quelque étoile fixe dont on serait convenu."

Picard et Römer trouvent ainsi que l'immersion de Io s'est produite, le 25 octobre 1671, 42 mn 20 s plus tard à Uraniborg qu'à Paris (alors que Kepler avait donné des valeurs correspondant à 40 mn et Longomontanus 49 mn).

La mission de Picard au Danemark était ainsi remplie. Deux circonstances devaient pourtant la marquer encore. D'abord, Römer accompagne Picard à Paris ; Cassini l'embauche aussitôt et lui demande de suivre les mouvements des satellites de Jupiter. On sait ce qui devait en résulter : la première mesure de la vitesse de la lumière en 1676 par ce même Römer. Ce que Colbert n'avait nullement prévu en créant l'Académie. Avant de quitter Römer qui devait rejoindre Copenhague lors de la Révocation de l'Edit de Nantes, disons que l'influence de Picard ne fut sans doute pas négligeable dans les travaux ultérieurs de Römer, la mise au point de la lunette méridienne en particulier.

Picard, lui, fut fort absorbé par de nouveaux travaux ce qui lui fit retarder la publication des documents de Tycho et rien n'était fait quand il mourut en 1682. Colbert étant mort en 1683, rien ne fut fait dans la suite. Bartholin s'en inquiéta et obtint que les manuscrits lui soient rendus. Ce fut un grand malheur car ils furent détruits à jamais dans un grand incendie qui ravagea Copenhague et en particulier sa tour astronomique. Ce qui nous inspire quelques réflexions : sur la négligence des savants de l'époque, des académiciens en premier ; sur l'insuffisance des moyens de secrétariat dont la recherche savante a toujours souffert [ et Picard ne disposait pas de Photocopieuse ] Quelques réflexions et même une moralité : quand on détient de précieux documents, ne pas attendre au lendemain pour en préparer l'édition.

Ce n'est pas sur cet incident fâcheux que je veux terminer cet hommage à Picard. Mais je remets au prochain numéro des Cahiers d'évoquer son étonnant travail sur la carte de France.

(à suivre)

K.Mizar

"Les conjectures, les opinions doivent avoir une place dans les connaissances des hommes ; elles font la nuance entre les fables et les vérités : elles appartiennent aux unes par le défaut de preuves suffisantes ; elles approchent plus ou moins des autres par leur vraisemblance. Si on retranchait ces rameaux naissans sur l'arbre de nos connaissances, on priverait l'avenir des fruits que plusieurs de ces rameaux peuvent produire"

M.Bailly (Histoire de l'astronomie moderne)

CADRAN SOLAIRE

Note de la Rédaction: Ce texte de Jacques Ollier accompagnait le Cadran Solaire qu'il a présenté au concours du Musée de la Villette et qui lui a valu un prix. Ce cadran solaire est destiné au club qu'il anime avec une collègue, également professeur de Mathématiques, dans son C.E.S. de Saint Brice. Ce club existe depuis trois ans. Malgré les conditions météorologiques médiocres, les membres du club, très fidèles, se réunissent régulièrement, au moins une fois par mois. Il s'est construit 3 lunettes simples et la coopérative du C.E.S. a financé l'achat d'un télescope de 115 mm.

1- Temps solaire et temps moyen légal:

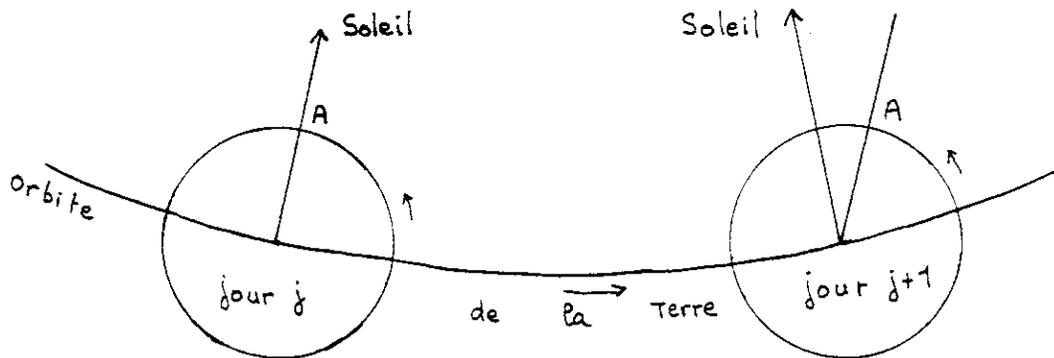
Un cadran solaire est un instrument qui permet de déterminer l'heure qu'il est, simplement en observant l'ombre d'un bâton (ou style) se déplaçant devant une graduation.

C'est un instrument optimiste, car le Soleil ne doit pas être caché par des nuages (mais est-il bien utile de savoir l'heure quand il pleut ?)

La Terre tourne sur elle-même autour de l'axe des pôles, donc le Soleil décrit un cercle autour de cet axe\* et le temps qu'il met pour cela est appelé jour solaire, lui-même divisé en 24 heures. Le Soleil avance donc de  $360^\circ/24 = 15^\circ$  en une heure, autour de l'axe des pôles.

Remarque 1: le jour sidéral :

Le jour solaire, intervalle de temps entre deux midi consécutifs, n'est pas la durée d'une rotation de la Terre sur elle-même, pour la raison expliquée par le dessin suivant:



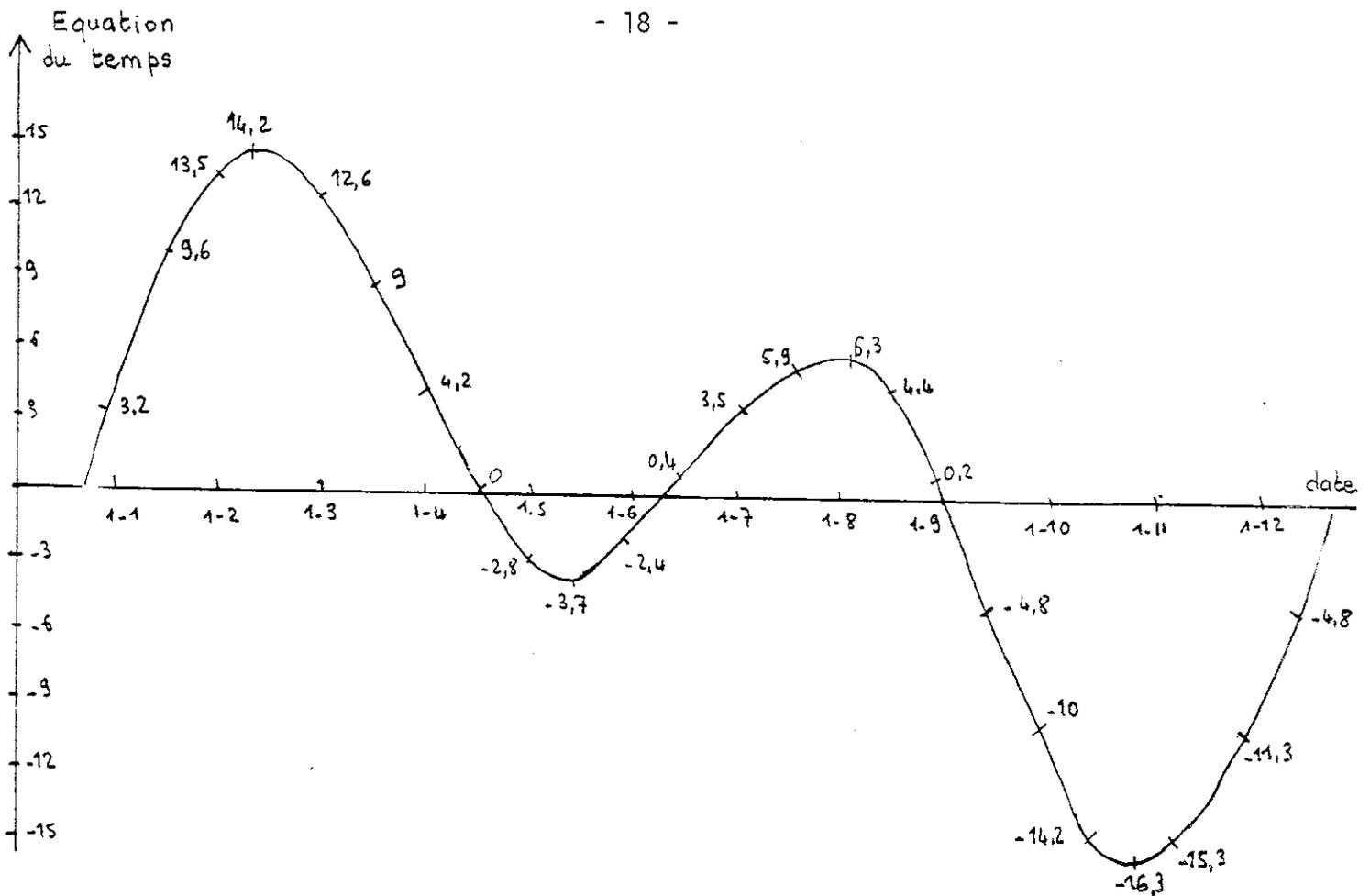
En un jour, la Terre avance sur son orbite autour du Soleil, et pour que le point A revienne devant le Soleil, il faut que la Terre effectue une rotation complète et continue de tourner un tout petit peu (pendant 3 min 56s). La durée de rotation de la Terre n'est donc pas 24 h, mais  $24 \text{ h} - 3 \text{ min } 56 \text{ s} = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 04 \text{ s}$ . Cette durée est appelée jour sidéral (c'est l'intervalle de temps qui sépare deux passages consécutifs dans le même demi-plan méridien d'une étoile autre que le Soleil).

Remarque 2 : l'équation du temps.

En outre, la Terre ne va pas toujours à la même vitesse sur son orbite (loi des aires). L'intervalle de temps entre deux midis solaires n'est donc pas toujours le même. Comme il serait désagréable de faire subir aux horloges, jour après jour, cette variation, on a défini un jour solaire moyen, basé sur un Soleil fictif qui serait régulier.

L'écart entre le temps moyen et le temps solaire vrai est appelé "équation du temps" qu'on peut lire sur la courbe suivante:

\* si bien entendu, on considère que c'est la Terre qui est fixe, ce qui dans un premier temps est tout de même l'attitude la plus naturelle.



Remarque 3 : autres corrections.

De plus, le temps légal à l'intérieur d'un pays est uniformisé (au moins par fuseau horaire). En France, c'est le temps moyen de Greenwich augmenté de 1 h ou 2 h suivant la saison (ce dernier point étant fixé par décret gouvernemental). Il faut donc tenir compte pour lire l'heure sur le cadran solaire de la longitude du lieu où il est situé. On a donc la formule:

TM	=	TS	+	E	+	L	+	1h ou 2h
↓ temps moyen légal donné par la montre		↓ lu sur le cadran solaire		↓ équation du temps		↓ longitude Paris: -9min 26s (2° 20' 09" Est)		

2- Principe du cadran solaire.

Comme le Soleil tourne autour de l'axe des pôles, il est logique\* de chercher la direction de l'ombre de cet axe dans un plan qui lui soit perpendiculaire (équatorial).

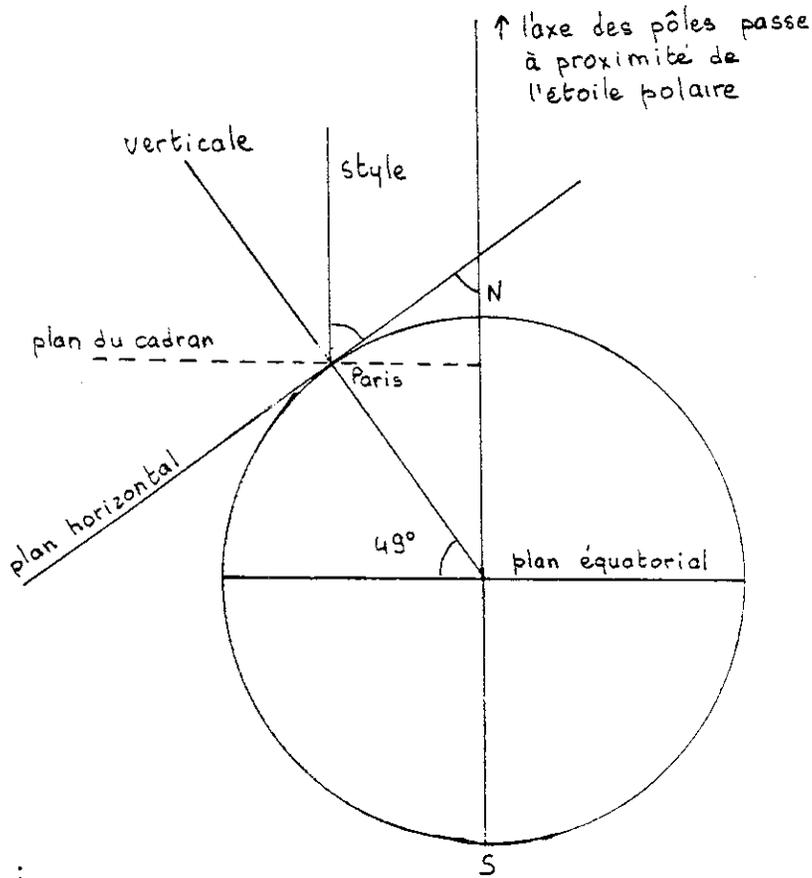
On utilise donc un style parallèle à l'axe des pôles et on regarde son ombre dans un plan équatorial divisé en secteurs de 15° (pour 1h).

Si on utilisait un simple bâton planté dans le sol verticalement on pourrait voir que selon la date, par exemple en juin, septembre ou décembre, l'ombre de ce bâton à une heure autre que midi, par exemple 9 h, n'a pas la même direction.

Un cadran portant un style vertical doit donc porter une graduation variable selon la date, ou alors c'est la place du style qui doit être variable (solution parfois adoptée).

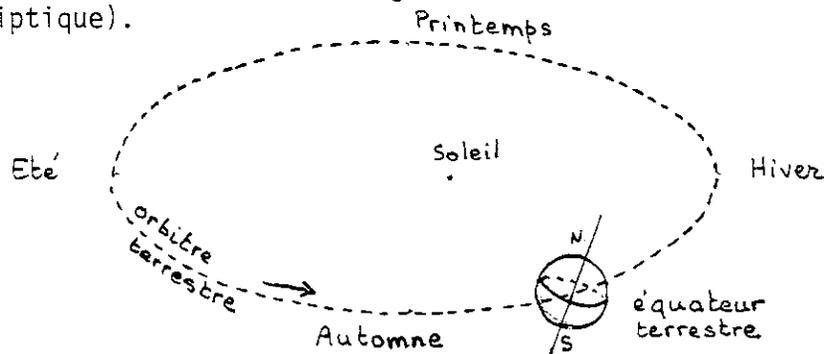
A Paris, le style pour être parallèle à l'axe des pôles doit faire un angle de 49° (latitude de Paris à moins de 15' près par excès) avec le plan horizontal, en étant dirigé vers le Nord.

\* Pour des raisons de symétrie. Mais attention, la Terre étant supposée fixe, le centre du cercle décrit par le Soleil un jour donné n'est pas forcément le centre de la Terre. C'est un point de l'axe des pôles variable selon la date (voir le paragraphe suivant).



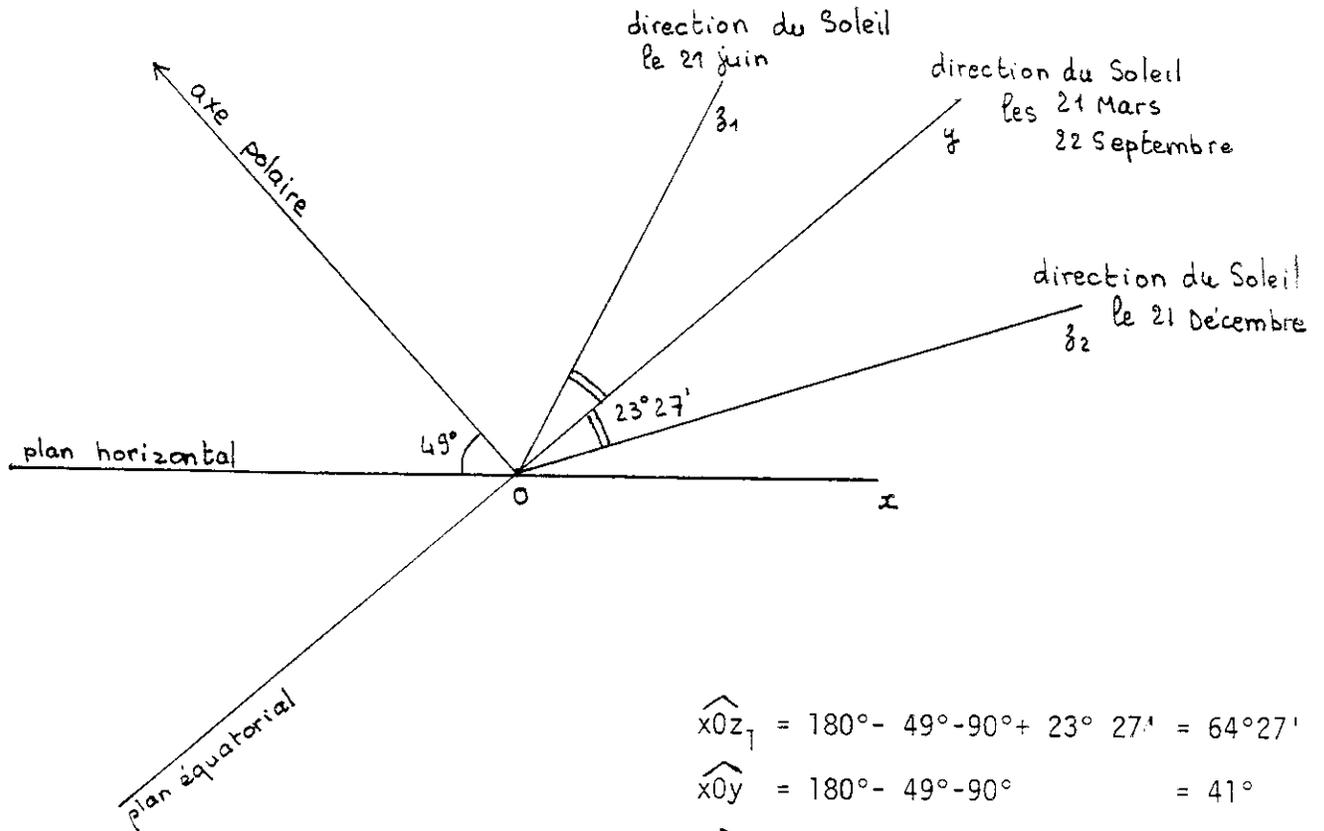
3- Dates :

Le plan de l'équateur terrestre ne coïncide pas avec le plan de l'orbite terrestre, mais fait un angle de  $23^\circ 27'$  avec celui-ci (qui est appelé plan de l'écliptique).



C'est à cause de cela qu'on observe des saisons à la surface de la Terre. Il en résulte aussi que la direction du Soleil ne peut pas faire un angle de plus de  $23^\circ 27'$  avec le plan équatorial, au-dessus en été, au dessous en hiver pour l'hémisphère Nord.

On peut graduer expérimentalement de 15 jours en 15 jours la ligne marquant midi sur le cadran en y notant le sommet de l'ombre du style, ce qui permet de mettre en évidence les solstices et les équinoxes. Si en même temps on porte à droite ou à gauche, des points à une distance donnée par l'équation du temps on obtient une courbe ayant la forme d'un 8, appelée "méridienne de temps moyen". Cette courbe est donnée sur certains cadrans solaires.



$$\widehat{xOz_1} = 180^\circ - 49^\circ - 90^\circ + 23^\circ 27' = 64^\circ 27'$$

$$\widehat{xOy} = 180^\circ - 49^\circ - 90^\circ = 41^\circ$$

$$\widehat{xOz_2} = 180^\circ - 49^\circ - 90^\circ - 23^\circ 27' = 17^\circ 33'$$

Ces angles mesurent les hauteurs du Soleil à midi aux dates indiquées

Sept questions pour être sûr d'avoir bien compris:

- 1) Pourquoi le style fait-il un angle de  $49^\circ$  avec le plan horizontal ?
  - A) par hasard
  - B) pour qu'il soit parallèle à l'axe des pôles
  - C) pour qu'il soit parallèle au plan équatorial
- 2) Que se passerait-il si le style était vertical ?
  - A) son ombre à une heure autre que midi n'aurait pas la même direction selon les jours de l'année
  - B) on ne pourrait pas voir son ombre sur un plan horizontal
  - C) son ombre se réduirait à un point le jour du solstice d'été
- 3) Quel angle fait la direction du Soleil à midi avec le plan équatorial ?
  - a) le jour du solstice d'hiver
  - b) le jour des équinoxes
  - c) le jour du solstice d'été

A)  $49^\circ$       B)  $23^\circ 27'$       C)  $41^\circ$
- 4) Ces mêmes jours, quel est l'angle que fait cette direction avec le plan horizontal ? (autrement dit: à quelle hauteur le Soleil monte-t-il dans le ciel ces jours là)  
A)  $64^\circ 27'$       B)  $23^\circ 27'$       C)  $17^\circ 33'$       D)  $41^\circ$
- 5) Pourquoi faut-il faire une correction variable selon la date? Qu'appelle-t-on "équation du temps" ?
  - A) Parce que le Soleil ne monte pas toujours à la même hauteur dans le ciel. L'équation du temps est la mesure des variations de la hauteur du Soleil dans le ciel selon la date
  - B) Parce que le Soleil ne va pas toujours à la même vitesse sur son orbite. L'équation du temps est la mesure de l'écart entre le temps solaire vrai et le temps moyen correspondant

- à un Soleil fictif qui serait régulier
- C) Parce que le temps ne se mesure pas de la même façon en hiver et en été. L'équation du temps est l'écart entre l'heure d'été et l'heure d'hiver.
- 6) Comment peut-on repérer sur le cadran les jours des solstices et des équinoxes ?
- A) en regardant quels jours le temps vrai et le temps moyen coïncident
- B) en graduant la ligne marquée midi sur le cadran
- 7) Qu'appelle-t-on "jour sidéral" ?
- A) C'est l'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs d'une étoile autre que le Soleil dans le même demi plan méridien
- B) C'est le temps que met la Terre pour faire un tour complet sur elle-même
- C) C'est l'intervalle de temps qui sépare deux passages successifs du Soleil dans le même demi plan méridien.

Bibliographie utilisée pour ce travail: "Astronomie Populaire" (C. Flammarion)  
Compte rendu de l'école d'été de Grasse 1979

Jacques OLLIER

STAGES C.E.M.E.A. à ANIANE (hérault)  
du 20 au 29 août 1982

- Découverte du Ciel: Familiarisation avec des méthodes simples d'observation. Compréhension des phénomènes météorologiques et astronomiques.

- Soleil : Ce stage permettra de situer l'astre dans l'espace par la construction d'appareils simples: cadrans solaires, toises à Soleil, théodolites, héliolabes...  
-d'analyser et de capter l'énergie solaire: spectrographe, four ou capteur solaire, photopile etc...  
-de comprendre l'influence du Soleil sur le milieu naturel et humain.

Ces deux stages ont pour but une familiarisation avec des méthodes simples d'observation. Ils sont l'occasion de vivre et d'analyser une démarche scientifique et pédagogique.

Ils s'adressent à tous pour une initiation personnelle et à tout enseignant, animateur, éducateur spécialisé, parent désireux de faire partager ses connaissances à des enfants, jeunes ou adultes.

Aucune formation préalable spécialisée n'est demandée.

Le prix de ces stages est de 150 f par jour, non compris les frais de voyage.



S'adresser au C.E.M.E.A., bureau des stages:  
55 rue Saint Placide 75279 PARIS CEDEX 06  
tel: 544 38 59

+++++  
+ Lectures pour la Marquise et pour ses amis +  
+++++

Noyaux et particules

===== Sous le titre Physique subatomique, Luc Valentin avait publié en 1975 un fort volume de 600 pages. Il l'a complètement refondu, en modifiant le plan, en actualisant le contenu, en donnant à l'ensemble une forme qui doit retenir notre attention.

D'abord à cause du sujet. Par physique subatomique il faut entendre ici l'étude des noyaux atomiques et des particules. Domaines particulièrement mouvants de la recherche la plus avancée ; ce qui n'est pas sans charme (si j'ose dire) pour le lecteur aux difficultés près qu'il ne manque pas de rencontrer. Heureusement, et c'est une seconde raison d'apprécier l'ouvrage, son auteur a fait un effort évident de présentation graduée : "Pour atteindre des lecteurs de niveaux et d'esprits divers, nous avons eu recours à une présentation par approximations successives et à quatre parties distinctes reflétant des points de vue (épistémologiques et pédagogiques) complémentaires." Ainsi, dans la première partie, l'introduction "de façon heuristique, voire intuitive, des idées directrices de la physique subatomique" convient-elle remarquablement à ces lecteurs, dont je suis, qui n'étant pas physiciens de formation, ont besoin d'être pris par la main. On n'a pas vécu dans un espace presque euclidien et dans un monde presque newtonien sans en avoir pris certaines habitudes d'esprit. Il est certes salutaire de remettre en question ces conceptions commodes mais particulières. Encore faut-il qu'on nous y aide sans trop nous bousculer, ce que Luc Valentin réussit fort bien, me semble-t-il.

Pour illustrer sa méthode, cette citation dès la première page : "Après la découverte du noyau atomique (1911 - Rutherford), la succession d'hypothèses incorrectes sur la nature de ses constituants a été un facteur essentiel de progrès." N'est-ce pas Kepler qui disait "Ce sont les erreurs qui nous indiquent le chemin de la vérité."

La première partie est donc une présentation qualitative de la physique subatomique : comment observer les objets subatomiques, puis comment étudier les interactions fortes et faibles, ce qui passe par leur définition. Des annexes traitent des sujets particuliers, je relève celle sur le rayonnement cosmique.

La deuxième partie s'intitule "Quelques applications de la physique subatomique". Elle est astucieusement placée sous une citation de C.P.Snow : "Ils étaient naturellement portés à postuler ... que la science appliquée est un domaine réservé aux esprits médiocres... Plus on était en mesure d'affirmer qu'on ne servait à rien et plus on se sentait supérieur." Parmi les applications étudiées, il y a, bien sûr, l'énergie nucléaire et les armes nucléaires mais nous nous intéresserons plus encore au chapitre VIII sur l'astrophysique nucléaire : les faits expérimentaux, la nucléosynthèse et la vie des étoiles, les objets "froids" ; enfin l'annexe sur le Soleil, la cosmochronologie, les catalyses de l'hélium et le problème des neutrinos solaires.

Le second volume contient la partie III sur les modèles et la physique du noyau, la partie IV sur les lois de conservation et les particules fondamentales. On y aborde donc les questions les plus difficiles et le non spécialiste doit, comme on dit familièrement s'accrocher. Mais le sujet en vaut la peine et l'auteur continue à nous faciliter la tâche autant qu'il le peut grâce à la clarté de son exposé.

G.W.

(\*) Luc Valentin : Physique subatomique : noyaux et particules  
Tome I, Approche élémentaire, 312 p - II, Développements, 336p  
Collection "Enseignement des Sciences" - Edition Hermann.

#### Aux confins de l'Univers

===== Sous ce titre et sous la forme d'un nouveau numéro spécial de Science et Vie, par conséquent pour un prix modeste (14 F), nous trouvons une documentation d'actualité sur quelques grands problèmes de l'astronomie. Exemples : Comment l'énergie a pu créer les mondes par Jean Heidmann ; un ensemble de textes sur des problèmes de dynamique, la rotation différentielle du Soleil par Pierre Mein, les chocs de galaxies par Françoise Combes, comment les collisions ont modelé les planètes par André Brahic. Une autre série de textes sur la matière dans l'Univers dont Galaxies de Seyfert, des quasars proches par Danielle Alloin, Du vide interstellaire à la matière ultradense par Lucette Bottinelli.

Ce dernier exemple pour souligner l'intérêt que les lecteurs des Cahiers Clairaut trouveront à lire ce numéro spécial bien illustré de photos en noir et en couleurs.

#### L'observation de la Terre par les satellites

===== La télédétection à partir des satellites apporte aux géographes une abondance étonnante de données. Comment les obtient-on, comment on les classe, comment on les traite, comment on les utilise, tel est le sujet de ce nouveau "Que sais-je ?". Il nous rappelle opportunément que dans l'astronomie, il y a aussi l'étude de cette petite planète qui a été longtemps le seul observatoire astronomique connu et qui est la seule à ne pas porter le nom d'une déesse ou d'un dieu ou d'un héros (un nom qui devient même commun quand on pense à ce qu'il y a au fond d'un pot de fleur).

L'Auteur, F. Verger est un géographe bien placé pour regretter l'insuffisance de la culture astronomique du grand public et même des étudiants de géographie à l'Université. Son livre peut nous aider à répondre à beaucoup de questions sur les applications pratiques des sciences et des techniques spatiales.

(\*) Fernand Verger : L'observation de la Terre par les satellites - "Que sais-je ?" n°1989 - Edition PUF.

#### Dans les revues

===== A lire absolument, dans L'Astronomie (avril 1982) : L'accélération séculaire de la Lune et le ralentissement de la rotation de la Terre par François Mignard. Une présentation historique très remarquable d'un grand problème classique.

L'ORIGINE DU SYSTEME SOLAIRE (fin)

V - EVOLUTION DES ATMOSPHERES

Une planète acquiert une atmosphère par accretion avec une composition similaire à celle de la nébuleuse primitive : elle est estimée en fonction de ce que l'on sait sur le soleil et la matière interstellaire.

Elément	Terre totale a	Système solaire b
H	250	$2.6 \times 10^8$
He	$3.5 \times 10^{-7}$	$2.1 \times 10^7$
C	14	135 000
N	0.21	24 400
O	35 000	236 000
Ne	$1.2 \times 10^{-6}$	23 000
Na	460	632
Mg	8 900	10 500
Al	940	851
Si	10 000	10 000
A <sup>36</sup>	$5.9 \times 10^{-4}$	2 280
Kr	$6 \times 10^{-8}$	0.69
Xe	$5 \times 10^{-9}$	0.07

Tableau numéro 1 : comparaison entre la composition de la Terre et du Soleil  
(Unités : Si :  $10^4$ )

Dans le soleil, H et He sont au moins 1000 fois plus abondants que les éléments suivants (C, N, O). Les éléments lourds tels Fe, Si, Mg qui constituent l'essentiel du globe terrestre ont une concentration inférieure à 1 %. Si à l'époque de sa formation, l'atmosphère de la Terre avait une composition chimique identique à celle du soleil, elle aurait été 400 fois plus massive qu'à l'heure actuelle pour que l'on puisse retrouver les différents éléments dans les mêmes proportions.

Ceci suggère que la Terre ainsi que les autres planètes telluriques ont perdu les éléments légers plus volatils. L'atmosphère de la Terre s'est alors développée suivant les deux processus suivants :

- échappement des composés légers
- volcanisme avec dégagement d'eau et de gaz carbonique.

1. Echappement des composés légers

Considérons un atome ou une molécule de masse  $m$  se déplaçant à la vitesse  $v$ . Son énergie cinétique est égale à :

$$(1) \quad E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Elle est plongée dans le champ d'attraction de la Terre et elle possède aussi une certaine énergie potentielle.

Ces phénomènes d'échappement se produisent à des altitudes très basses et on peut considérer localement que la Terre est plate. Si  $g$  est l'accélération de la pesanteur, l'énergie solaire potentielle de la particule est simplement :

$$(2) \quad E_p = -m g (R+Z) - m g R$$

où  $R$  est le rayon de la planète.

La particule pourra s'échapper si son énergie totale ( $E_c + E_p$ ) est positive. Elle pourra monter tout en transformant son énergie cinétique en énergie potentielle et elle sortira du champ d'attraction de la planète avant que sa vitesse ne soit nulle sinon elle va «retomber». La vitesse minimum telle que  $E_c = E_p$  est appelée vitesse critique. Elle est telle que :

$$(3) \quad \frac{1}{2} m v_c^2 = m g R$$

$$(4) \quad v_c = \sqrt{2 g R}$$

On doit remarquer que cette vitesse est indépendante de la masse : elle est aussi bien valable pour un atome d'hydrogène que pour une fusée.

Planète	$g$ (cm sec. <sup>2</sup> )	Rayon (km)	$V_c$ (km sec. <sup>1</sup> )
Mercure	376	2,439	4,3
Venus	888	6,049	10,3
Terre	981	6,371	11,2
Lune	162	1,738	2,3
Mars	373	3,390	5,0
Jupiter	2,620	69,500	60
Saturne	1,120	58,100	36
Uranus	975	24,500	22
Neptune	1,134	24,600	24

Tableau numéro 2 : vitesses critiques

Dans un gaz la vitesse moyenne des composants est reliée à la température par une relation très simple :

$$(5) \quad \frac{1}{2} m v^2 = k T$$

où  $k$  est la constante de Boltzmann ( $k = 1,38 \cdot 10^{-16}$  erg deg<sup>-1</sup>) ;  $T$  la température en d° kelvin, et  $m$  la masse de la particule

$$(6) \quad v_0 = \sqrt{\frac{2 k T}{m}}$$

Quelques valeurs et  $v_0$  sont données dans la table 3.

Atome	Mass at.	Vitesse (kms <sup>-1</sup> )		
		Température (° k)		
		300	600	900
H	1	2.24	3.16	3.87
He	4	1.12	1.58	1.94
O	16	0.56	0.79	0.97

Tableau numéro 3 : vitesse moyenne en fonction de la température

Une comparaison entre les valeurs de  $v_o$  (tableau 3) et  $v_c$  (tableau 2) montre que :

- les atomes légers s'échappent plus facilement que les atomes lourds : l'agitation thermique répartit l'énergie équitablement entre toutes les particules indépendamment de leur masse. A énergie égale, la vitesse varie en fonction inverse de la masse. On comprend ainsi pourquoi les planètes telluriques ont perdu leur hydrogène et leur hélium ;

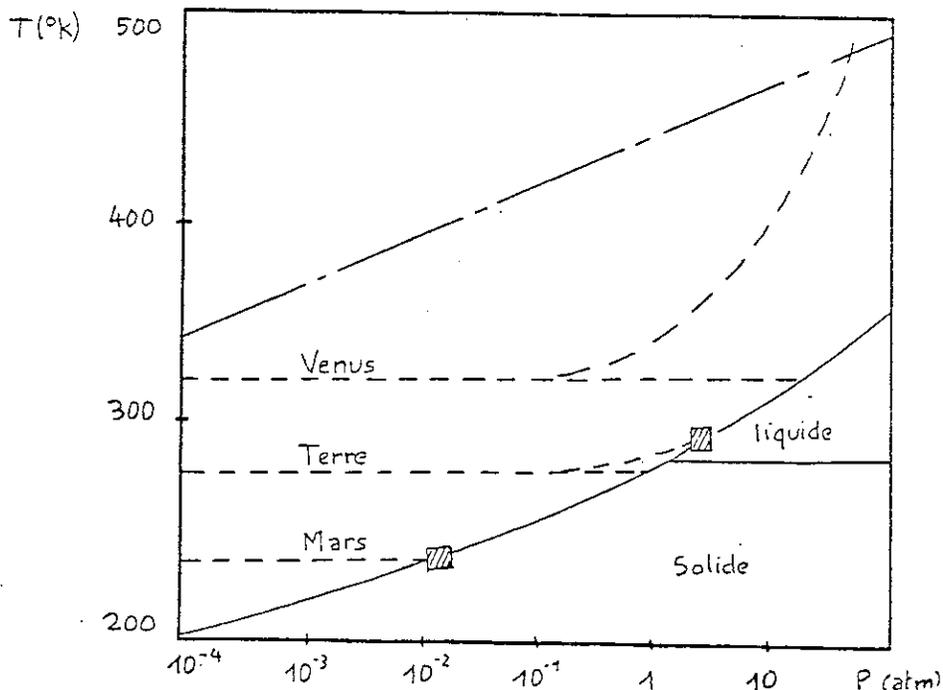
- dans le cas de la Lune, les vitesses moyennes sont toutes proches de la vitesse d'érosion et le champ d'attraction n'a pu retenir l'atmosphère primitive de la Lune.

## 2. Dégazage d'eau et de gaz carbonique

On fait l'hypothèse que l'origine des atmosphères de Venus, la Terre et Mars est la même : leur atmosphère primitive s'est évaporée et elle est lentement remplacée par des dégazages provenant de l'intérieur du globe : la composition de cet atmosphère est de 1/4 de gaz carbonique et de 3/4 de vapeur d'eau (c'est la composition moyenne des émanations volcaniques).

A mesure que l'atmosphère se forme, la température au sol augmente petit à petit par effet de serre (le rayonnement infra-rouge de la surface est piégé par l'atmosphère).

Nous allons représenter l'évolution de chacune des trois planètes dans le diagramme d'état de la vapeur d'eau. Chaque tracé part de la gauche du diagramme (pression  $\rightarrow$  0) à des températures dépendant de la distance de la planète au soleil : 216° K pour Mars, 260 pour la Terre et 320 pour Venus.

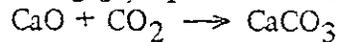


A mesure que l'atmosphère se forme, les points se déplacent vers la gauche ( $T \sim$  constant et pression augmente). Quand la pression est de l'ordre de 1/100 d'atmosphère, l'effet de serre commence à agir et les courbes bifurquent très lentement vers le haut car la température augmente. Nous allons regarder en détail ce que devient chaque planète.

- 1) MARS : très rapidement la courbe atteint l'équilibre glace-vapeur et à mesure que la vapeur d'eau et le gaz carbonique sont produits, ils sont aussitôt transformés en glace, bloquant ainsi toute augmentation de température par effet de serre.
- 2) TERRE : l'augmentation a été juste suffisante pour atteindre l'équilibre gaz-liquide. Dans ces conditions, les océans servent de réservoirs où gaz carbonique et vapeur d'eau sont dissous prévenant ainsi toute augmentation de la masse atmosphérique.
- 3) VENUS : la bifurcation a empêché l'atmosphère de Venus d'atteindre un équilibre. Les températures ont toujours été trop élevées pour que de l'eau puisse exister à l'état liquide qui agit comme un puissant stabilisateur.

La masse atmosphérique toujours plus importante a vu sa température augmenter de manière catastrophique par un effet de serre de plus en plus marqué :

quand le gaz carbonique se dégage, il peut être tamponné par des réactions du type :



Si la température dépasse un certain seuil, la réaction se produit vers la gauche en libérant du gaz carbonique et de la chaux (principe des fours à chaux !). C'est ce qui s'est produit sur Venus où les températures ont été suffisamment élevées.

Le gaz carbonique de l'atmosphère de Venus est identique à celui enterré sur Terre dans les carbonates.

J. P. PARISOT

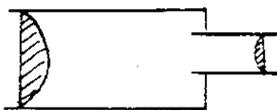
Astronome à l'Observatoire de Besançon

§ § § § § § § § § § § § § § §

A PROPOS DE LA LUNETTE ASTRONOMIQUE

Nous avons reçu de notre collègue M. Wiatrowski la remarque suivante:

"Vous publiez dans le numéro 16 des Cahiers le plan d'une lunette astronomique ainsi (a):



(a)



(b)

c'est-à-dire avec des lentilles plan convexe montées à l'envers puisqu'il faut les monter ainsi (b) pour diminuer toutes les incidences des rayons lumineux sur les différents dioptries, et ainsi réduire l'aberration sphérique. Je sais bien que dans cet instrument c'est le chromatisme qui domine, mais je pense qu'il ne faut pas tromper de jeunes lecteurs éventuels sur les principes de base de la réalisation d'un instrument optique."

Il a bien raison, et nous le remercions de sa mise au point.

COURRIER DES LECTEURS

L'âge du capitaine

=====  
Le problème posé dans le Cahier 16 a été résolu rapidement par notre Ami Bruno Morando, Astronome au Bureau des Longitudes qui nous écrit : "Le Bureau des Longitudes s'est penché sur le problème de la page 31 du n°16 des CC. Nous pensons l'avoir résolu. Le journal de décembre 1935 annonçant la mort du capitaine pour "dans quelques mois", on peut penser que le brave homme a rendu l'âme en 1936. Or 1936 est le carré de 44. Le capitaine serait donc né en 1849, carré de 43. Il avait donc 87 ans quand il est mort."

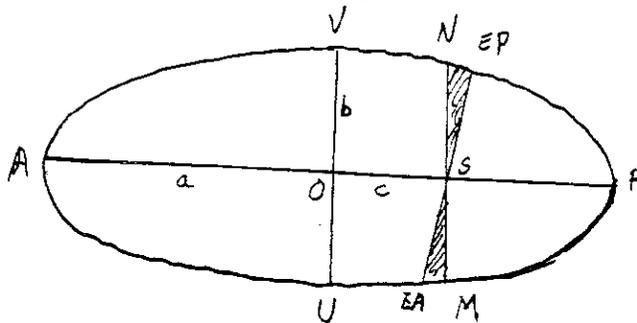
Nous ne pouvons qu'applaudir à la sagacité de nos amis du Bureau des Longitudes.

Les marées

=====  
André Debackère (de Monistrol sur Loire) nous avait demandé de publier un article sur les marées. Nous ne l'avons pas oublié, l'article est en préparation...

L'inégalité des saisons

=====  
K.Mizar continue à ranger ses vieux papiers. Il retrouve une lettre de son ami J-C.Herz sur le sujet "inégalité des saisons et excentricité de l'orbite terrestre". Voici cette lettre : "La figure explique les calculs déduits de la loi des aires. AP est la ligne des apsides, A aphélie, P périhélie, EP-EA est la ligne des équinoxes. Soit MN la perpendiculaire en S à la ligne des apsides.



Nous faisons deux approximations :  
1°) confondre l'aire UVNM avec celle d'un rectangle (UV est le petit axe de l'orbite terrestre) ;  
2°) négliger la différence des aires des deux triangles curvilignes hachurés.

Le rapport entre les aires des portions de l'ellipse séparées par le segment MN est

$$r = \frac{\pi ab/2 - 2bc}{\pi ab/2 + 2bc} = \frac{\pi - 4e}{\pi + 4e}$$

Si nous désignons par H la durée automne + hiver et P la durée printemps + été, on déduit du calcul précédent

$$\frac{P-H}{P+H} = \frac{4e}{\pi} \quad \text{soit avec } e = 0,01675 \text{ et } P+H = 365$$

$$H = 179 \text{ jours, } P = 186 \text{ jours}$$

en bon accord avec les Ephémérides 1982."

Une simple remarque : les approximations sont justifiées

parce qu'à notre époque MN et la ligne des équinoxes sont peu écartées l'une de l'autre. Dans quelques siècles, cela ne sera plus vrai, les lecteurs des Cahiers devront en tenir compte.

### "Les gens d'ici"

===== Au cours d'une émission de cette série, sur A2, un sympathique paysan périgourdin a raconté que lors de son voyage à Paris pour le salon de l'agriculture, il en avait profité pour aller au Planétarium du Palais de la Découverte. A la suite de quoi il s'est acheté une carte du ciel. "Maintenant, dit-il, quand je vais voir mes moutons, la nuit, je regarde les étoiles, je reconnais les constellations, c'est rassurant !"

### Avis de recherche

===== En parlant de ses propres travaux, Nils Bohr aurait écrit : "Pourquoi avons-nous si bien réussi ? Parce que nous n'avons jamais été prudents, parce que nous n'avons jamais craint de paraître fou aux yeux de nos étudiants."

Cette citation est-elle exacte ? Un lecteur peut-il en donner la référence. Nous ignorons les réponses.

### La lune des moissons

===== Une question posée par W. Mountebank qui se réfère à une page du tome I de l'Astronomie par Russell, Dugan et Stewart que Paul Couderc lui avait recommandé de garder sous la main.

Dans certaines régions, on a coutume d'appeler lune des moissons la pleine lune qui précède l'équinoxe d'automne et lune des chasseurs la pleine lune qui suit. Qu'ont-elles donc de particulier ? Comment expliquer ces particularités ?

### Encore un petit problème

===== Celui-ci pour les amateurs de calcul ; d'après un énoncé pris dans "Elementary Astronomy" par Otto Struve :

Un premier observateur A voit une "étoile filante" se consumer juste au zénith. Il est en liaison téléphonique permanente avec un second observateur B installé à 30 km au nord de A. L'observateur B voit la même "étoile filante" se consumer à 5° de son zénith. Ne discutez pas comment A et B sont assurés d'avoir observé le même phénomène. Acceptez leur affirmation et calculez à quelle altitude au-dessus de A l'"étoile filante" s'est consumée.

"Le problème de l'origine du Monde a de tout temps préoccupé tous les hommes qui réfléchissent... Nous devrions peut-être attendre pour chercher une solution que nous en ayons patiemment rassemblé les éléments, et que nous ayons acquis par là quelque espoir sérieux de la trouver ; mais si nous étions si raisonnables, si nous étions curieux sans impatience, il est probable que nous n'aurions jamais créé la Science et que nous nous serions toujours contentés de vivre notre petite vie." Henri Poincaré (Leçons sur les hypothèses cosmogoniques)

QUESTION AUX LECTEURS

Vous connaissez tous les quatre gros satellites de Jupiter dont la période de révolution autour de Jupiter est de quelques jours. Si vous les avez observés, vous avez vu quatre points lumineux évoluant approximativement sur une ligne passant par l'équateur de Jupiter. Les configurations de ces satellites, publiées dans les éphémérides, vous permettent de distinguer ces satellites les uns des autres. Ne connaissant rien de leurs mouvements et disposant d'un instrument de faible ouverture, comment feriez-vous pour arriver, après quelques observations, à les différencier à coup sûr ?

J.E. ARLOT

*Les auteurs des meilleures réponses recevront une reproduction du "jovilabe" de Cassini qui servait au XVIII<sup>ème</sup> siècle à déterminer des positions approchées des satellites afin de les distinguer les uns des autres.*

COMPTE RENDU DE L'ECOLE D'ETE 1981

Le compte rendu de l'Ecole d'été de Grasse 1981 vient de sortir: on peut se le procurer en s'adressant à L. Gouguenheim DERADN, Observatoire de Meudon 92190 MEUDON. Il est vendu 45 francs. Si vous le pouvez, donnez l'adresse de votre établissement, ce qui permet de bénéficier de la franchise postale.

Il contient, comme les précédents, les textes intégraux des enseignements théoriques (Repérage spatial et temporel; Kepler et ses lois; le milieu interstellaire; formation des étoiles; structure interne et énergie des étoiles; la vie des étoiles; étapes ultimes de la vie des étoiles). Il contient aussi les textes des groupes de travail nouveaux par rapport aux années précédentes, avec pour certains le compte rendu, ainsi que les compte rendus des divers Ateliers faits, comme d'habitude par les participants à ces Ateliers.

LA PUCE DE LA SAINTE

Réponse à la question posée dans le précédent numéro:

La première réponse avait été donnée par Camille Flammarion qui l'expliquait par le fait que c'est le 13 décembre, jour de la Sainte Luce que le Soleil se couche le plus tôt. A partir de cette date, on serait tenté de dire que les jours vont augmenter. En réalité, cette avance du coucher du Soleil est compensée par un retard du lever et en conséquence la durée du jour diminue jusqu'au solstice.

L'autre interprétation (Fichot, l'Astronomie 1931, p.523-528) repose sur le souvenir du calendrier julien dans les traditions populaires. Ce dicton serait une survivance de ce calendrier qui a été réformé en 1582 et a donné naissance au calendrier grégorien. Les fêtes des saints ne furent pas décalées mais cette année là une dizaine de jours disparurent. Avec 10 jours de décalage sur le Soleil, le calendrier julien ramenait le solstice d'hiver non pas aux alentours du 21-22 décembre, mais le 13, jour de la Sainte Luce.

J.P. Parisot.

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLAE

Directeur de la Publication: L. Gouguenheim Université Paris-Sud

Laboratoire d'Astronomie Bât. 426 91405 ORSAY CEDEX

Comité de rédaction:

L. Bottinelli, J. Dupré, M. Gerbaldi, L. Gouguenheim, G. Walusinski.

Edité à l'Université Paris-Sud Labo. d'Astronomie Bât. 426 91405 ORSAY CEDEX

Prix du numéro: 8f; abonnement annuel (4 numéros) 25 f

Dépot légal: 1<sup>er</sup> trimestre 1979: numéro d'inscription à la CPPAP: 61660