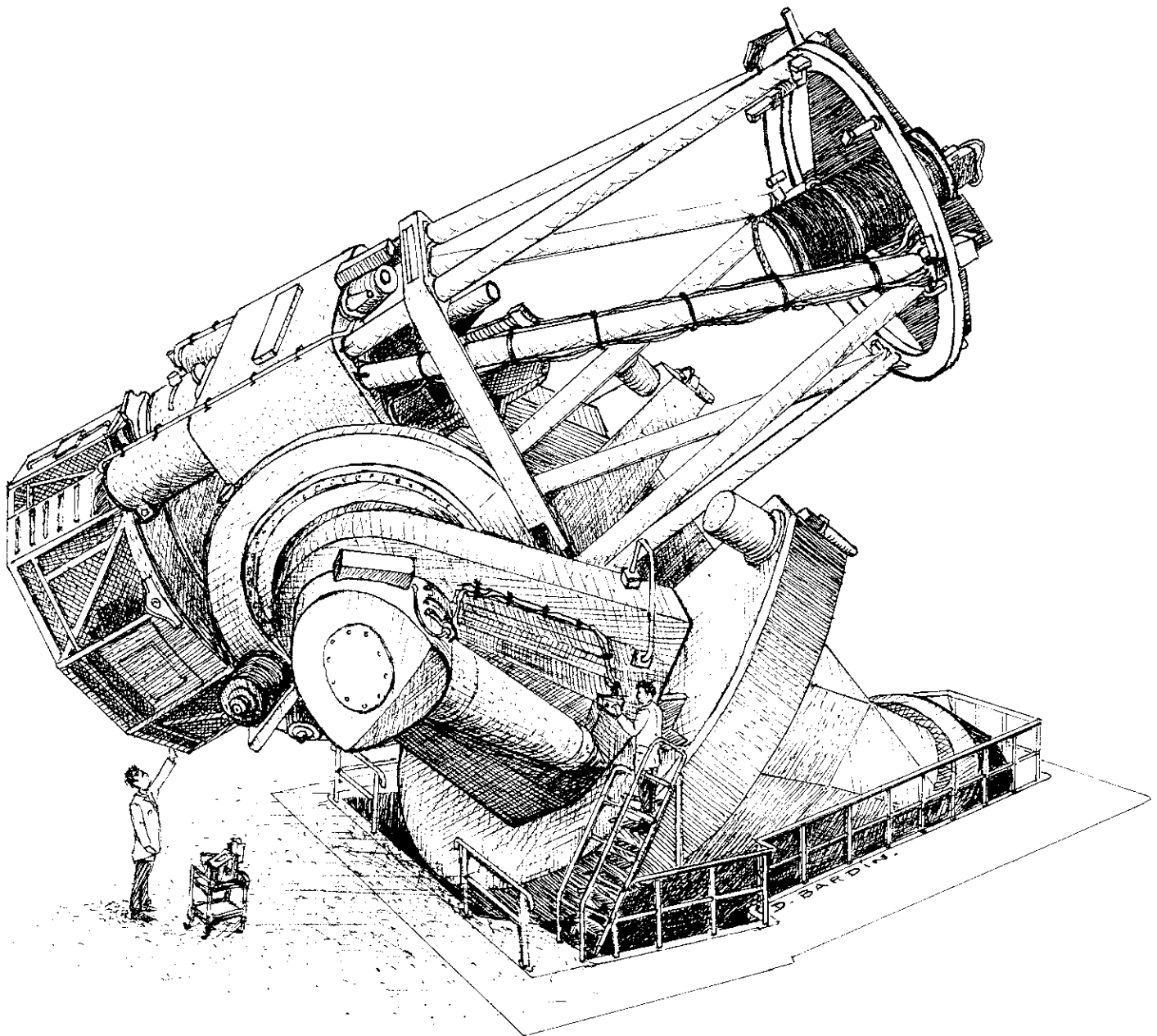


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



n°43 - automne 1988

ISSN 0758-234 X

Le Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

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

Le CLEA intervient par l'organisation de stages et diverses publications.

Le CLEA organise des stages nationaux (universités d'été) et régionaux, éventuellement en liaison avec les Missions Académiques de Formation ou tous organismes de formation des enseignants. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège, du lycée et de l'école normale. On s'efforce d'y conjuguer information théorique indispensable et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et bon usage de ces matériels).

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

La liste des publications du CLEA figure en page 3 de la couverture.

Bureau du CLEA pour 1988

Présidents d'honneur : Jean-Claude Pecker

Evry Schatzman

Présidente : Lucienne Gouguenheim

Vice-Présidents : Agnès Acker

Alain Dargencourt

Hubert Gié

Jean Ripert

Catherine Vignon

Secrétaire-trésorier : Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST-CLOUD
tél (1) 47 71 69 09

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

LES CAHIERS CLAIRAUT

n° 43 - Automne 1988

Astronomie et variations climatiques	2
Hommage à Jean-Claude Pecker	21
Un outil d'apprentissage critique	24
La bonne étoile de James Bradley	25
Lectures pour la Marquise	30
Les potins de la Voie Lactée	33
L'année des 13 lunes	34
Une journée de Deimosthène	38
Courrier CLEA	39

EDITORIAL

Avec la rentrée, nous commençons à préparer l'Assemblée Générale du CLEA. Retenez déjà la date du 12 novembre.

Un colloque international sur l'enseignement de l'Astronomie, organisé sous l'égide de l'Union Astronomique Internationale s'est déroulé cet été à Williamstown, aux Etats-Unis. Une équipe du CLEA, comprenant Lucette Bottinelli, Marie France Duval, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim et Jean-Claude Pecker y a participé. Ce colloque a été l'occasion pour le CLEA de se faire connaître et de rencontrer d'autres équipes, travaillant dans un état d'esprit similaire. Cette rencontre a fait naître des projets de collaboration, encore à l'état d'ébauche.

Nous avons invité Cecylia Iwaniszewska à participer à la prochaine Assemblée Générale du CLEA. Elle a accepté de nous relater le colloque de Williamstown; nous espérons une ou deux autres participations de collègues étrangers (voir le courrier CLEA).

Nous avons aussi le projet de rencontrer un membre de l'équipe américaine STAR (voir page 24) pour confronter nos expériences et envisager un travail en commun. Andrew Fraknoi, de la Société Astronomique du Pacifique nous a aussi proposé un échange entre les Cahiers Clairaut et la publication qu'il édite pour les enseignants "The Universe in the Classroom". Nous aurons l'occasion d'en reparler.

Nous publions dans ce numéro la première partie de l'article de J.P. Parisot et B. Mazodier sur les variations climatiques, un nouvel article historique de K. Mizar et nous remercions notre Président d'Honneur, Evry Schatzman, de nous avoir autorisés à reproduire la belle allocution qu'il a prononcée le 28 juin dernier à l'occasion du départ en retraite de notre autre Président d'Honneur, Jean-Claude Pecker.

Caroline Bardin a réalisé une belle affiche publicitaire pour les CC (à afficher en salle des professeurs!). N'hésitez pas à en demander **tous les exemplaires que vous voulez** à notre secrétaire. Merci !

La Rédaction

ASTRONOMIE ET VARIATIONS CLIMATIQUES

par

Jean-Paul PARISOT et Bernard MAZODIER

Observatoire de Besançon

I - FAITS ET METHODES

1. Les âges glaciaires
2. Les glaciations
3. Les petits âges glaciaires

II - BILANS ENERGETIQUES

1. L'insolation
2. Rôle de l'atmosphère

III - VARIATIONS DE LA CONSTANTE SOLAIRE

1. Distance Terre-Soleil
2. Activité solaire
3. Evolution du Soleil
4. Traversée de nuages galactiques
5. Action de la Lune

IV - VARIATIONS DES ELEMENTS ELLIPTIQUES TERRESTRES

1. Méthode
2. Evolution de l'obliquité ϵ
3. Evolution de ω
4. Evolution de l'excentricité e

V - LA THEORIE DE MILANKOVITCH

VI - CONCLUSION

1. Précambrien ; variations à long terme
2. Glaciations et stades glaciaires
3. Climat actuel

Appendice : A1. Les thermomètres géologiques

A2. Notation des années

A3. Périodes géologiques

A4. Les glaciations du quaternaire

A5. Programme de calcul des éléments orbitaux de la Terre

BIBLIOGRAPHIE GENERALE

La France au temps des mammoths (collectif, Hachette 1969, 249 pages)

Labeyrie J. L'homme et le climat (Denoel, Paris 1985, 281pages)

Bernard E.A. (1974-1975) Les bases énergétiques de la paléoclimatologie théorique et l'évolution des climats, 160 pages publiées dans Ciel et Terre 90(6)p413 ; 91(1)p41,89 et 161.

Berger A. (1979) La théorie astronomique des paléoclimats. La Météorologie VIème série n°16 p9.

Berger A. (1976) Obliquity and Precession for the last 5 000 000 years. Astronomy and Astrophysics n°51 p 127.

Berger A. Long-term variations of daily. Insolation and Quaterny climatic changes. Journal of the atmospheric sciences 35(12)p 2362.

Parmi la cinquantaine de causes (astronomiques, géodynamiques, chimiques, géologiques,...) susceptibles d'agir sur le climat à long ou court terme, les phénomènes astronomiques ont l'avantage d'être calculables et prévisibles. En particulier les éléments positionnant la Terre dans l'espace (distance au soleil, inclinaison de l'axe,...) qui jouent un rôle central dans le mécanisme des saisons ont, en raison de leur variabilité, modulé la climatologie terrestre depuis toujours.

C'est le but de cet exposé de faire le point sur l'évolution des éléments orbitaux de la Terre en liaison avec le rôle climatique qu'ils ont joué. Ces idées ne sont pas nouvelles car elles ont été diffusées par le mathématicien Milankovitch dès 1931. Actuellement la communauté climatologique et astronomique est partagée sur l'efficacité de tels mécanismes pour lesquels on trouve tantôt des arguments convaincants, ou inversement des contre-exemples évidents. Après une présentation rapide des données paléoclimatiques on trouvera l'exposé détaillé du rôle de chacun des éléments orbitaux en terme d'insolation semestrielle qui s'avère être le paramètre essentiel. Un programme en Basic donne au lecteur la possibilité de reconstituer et de prédire en détails l'évolution orbitale de la Terre.

INTRODUCTION :

Il y a une vingtaine d'années, plusieurs rapports émanant de l'O.M.M. (Organisation Météorologique Mondiale) lançaient la première mise en garde : "Attention l'homme est en train de modifier le climat de manière irréversible". Les rapports faisaient état de l'imminence d'une glaciation dont l'accélération serait induite par l'homme : industrialisation, urbanisme, désertification intense, rejet de polluants... Depuis, cette thèse a été largement combattue et l'O.M.M. a rappelé à plusieurs reprises qu'il fallait accepter avec beaucoup de prudence ces prévisions de catastrophes climatiques. Premier signal d'alarme, une brume étrange qui flotte depuis une vingtaine d'années au-dessus de l'Arctique : un brouillard qui n'a rien de naturel puisqu'il est constitué de gouttelettes d'acide sulfurique dérivant lentement depuis les grands centres industriels de l'hémisphère Nord et qui viennent s'accumuler au-dessus de la banquise. Ce brouillard pollué joue le rôle de la vitre d'une serre de jardinier en emprisonnant la chaleur au-dessus de la banquise. Quelques degrés supplémentaires, il n'en faudrait pas plus pour qu'en de multiples points du globe, l'aventure biblique de Noé se renouvelle.

Partout sur terre, le climat fluctue non seulement d'années en années mais il change graduellement de siècles en siècles. La principale difficulté est d'estimer objectivement ces fluctuations mais notre mémoire est fort courte et nous avons tendance à oublier les faits semblables du passé et à nous alarmer quand un hiver trop sévère ou une sécheresse prolongée s'installe. Les fluctuations et changements à long terme sont les résultats de processus naturels qui agissent sur le système climatique très complexe : atmosphère, océans, continents. Jusqu'à présent ces processus étaient liés à des facteurs intrinsèques du système ou à des facteurs externes tels que les événements astronomiques. A l'heure actuelle, il apparaît très nettement que l'homme lui-même devient un facteur d'influence dans la balance climatologique.

Les variations de température à la surface de la terre au cours de son histoire constituent une donnée importante pour la compréhension de l'évolution de la Terre. De nombreux faits attestent une évolution (souvent catastrophique) des climats à la surface de la terre. Par exemple, les études géologiques et paléontologiques prouvent qu'au début du carbonifère (il y a environ 390 millions d'années) régnait sur l'Europe

un climat tropical (présence d'évaporites en Belgique) qui, peu à peu, a évolué vers un climat équatorial attesté par les grands gisements de houille de la fin du carbonifère. Depuis cette époque, le climat européen n'a cessé d'évoluer et de se dégrader pour parvenir à son stade actuel.

C'est le but de la climatologie de définir les causes principales de ces modifications et de rechercher les phénomènes susceptibles de les expliquer (l'imagination féconde des astronomes et géologues a fourni environ une soixantaine de mécanismes). Le but de cette étude est de présenter les liens (souvent qualitatifs) entre l'évolution paléoclimatique et celle des phénomènes astronomiques depuis la formation de la Terre. On insistera plus particulièrement sur les variations induites par l'évolution de l'orbite de la Terre autour du Soleil.

I - FAITS ET METHODES

Déjà dans la première moitié du XXe siècle, on avait acquis la certitude de ces bouleversements climatiques et très tôt deux grandes écoles s'affrontent :

- 1) les partisans de la dérive des continents pour qui l'explication est très simple : les continents sont animés de mouvements de grandes envergures en latitude et ils se trouvent alternativement dans des régions froides et dans des régions chaudes.
- 2) Les fixistes : les continents sont immobiles, et les variations de température observées sont simplement causées par des sursauts ou au contraire par des baisses de l'activité solaire.

Avec le succès remporté par la dérive des continents dans les années 60, les partisans de cette théorie remportent la première manche. Mais, malgré tout, des études soigneuses font apparaître les faiblesses de la théorie de la tectonique des plaques dans l'interprétation de certaines paléotempératures. On peut rapporter de nombreuses anomalies comme par exemple la présence de magnolias en Alaska à une époque où elle se trouvait à une latitude de 70°N ! Ceci suggère que des facteurs autres que la dérive des continents affectent sérieusement les paramètres climatiques.

I - 1 LES AGES GLACIAIRES

La figure 1 donne une idée des tendances générales du climat depuis l'antécambrien. Les 3 courbes mises en parallèle nous révèlent le climat passé à partir de 3 méthodes différentes (cf. appendice "les thermomètres géologiques"). De cette figure se dégage l'idée d'une alternance "presque cyclique" de périodes chaudes (vers - 150 et - 500 millions d'années) et de périodes froides (comme celle que nous connaissons depuis le début du quaternaire). Ces fluctuations climatiques à long terme se succèdent avec une échelle de temps de l'ordre de 100 millions d'années et s'accompagnent de variations de température de l'ordre de 20°. Ce sont les phases froides qui ont reçu le nom d'âge glaciaire : on en a dénombré 3 avec certitude depuis l'ère primaire et 5 non datées dans le précambrien (durant cette époque les indices utilisables sont pratiquement inexistants).

LES AGES GLACIAIRES

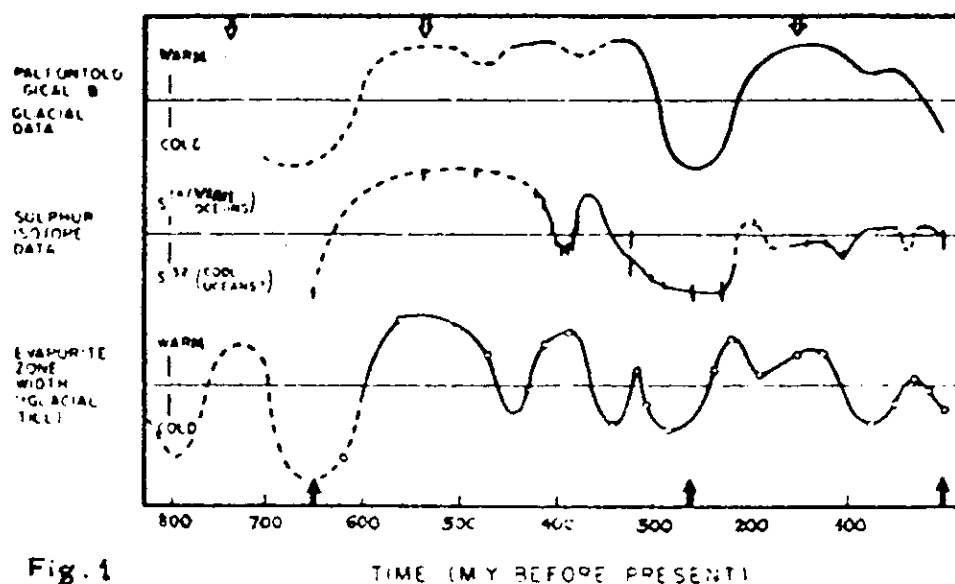


Fig. 1

3 exemples de données paléoclimatiques suggérant des fluctuations sur des échelles de l'ordre de 100 millions d'années. Les flèches indiquent les périodes chaudes (blanches) et froides (noires)

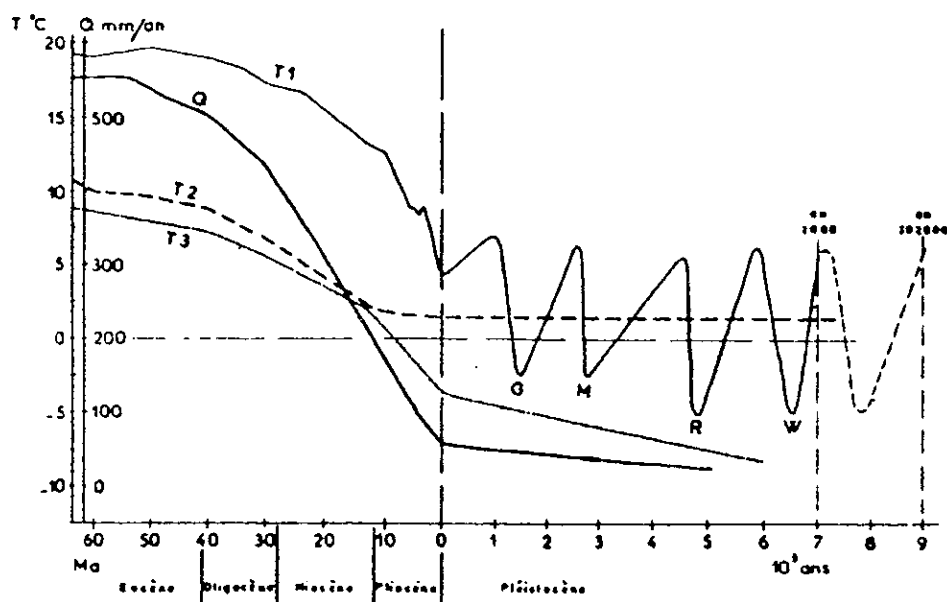


Fig. 2. — Températures et précipitations entre — 60 Ma et — 7.10^6 ans à l'échelle des Ma et depuis cette époque (0) à l'échelle de 10^5 ans, d'après P.M. Borisov.

T1 : Température moyenne annuelle en Europe occidentale
 T2 : Température des eaux abyssales équatoriales dans le Pacifique
 T3 : Température du mois le plus froid dans les déserts de l'Asie Centrale
 Q : Précipitations dans le désert du Kyzylkum
 G : Gunz ; M : Mindel ; R : Riss, W : Würm.

I-2 LES GLACIATIONS :

Comme on peut le constater sur la figure 2, le climat européen n'a cessé de se dégrader depuis le début du quaternaire. Cet âge glaciaire dans lequel nous vivons actuellement se présente comme une suite pseudo-périodique de phases chaudes et de phases froides. La période est d'environ 200 000 ans et les variations de température induites sont de l'ordre de 10°.

L'alternance de périodes chaudes et froides durant le quaternaire a été mise en évidence au début du siècle par BRUCKNER et PENCK en 1905. L'étude des moraines alpines dans les vallées des affluents du Danube leur a permis de montrer des avances et des reculs considérables du glacier alpin. Ils ont ainsi proposé le découpage du quaternaire (appelé chronologie alpine) en 4 glaciations portant le nom des affluents du Danube où ces optimums climatiques ont été soupçonnés (Gunz, Mindel, Riss et Würm). Cette évolution "en dent de scie" des climats récents a été non seulement précisée sur le continent européen par l'utilisation de "thermomètres géologiques" nouveaux mais elle a été mise en évidence sur d'autres continents (Amérique du Nord, Afrique). Une analyse plus fine permet de découper chaque glaciation en stades et interstades glaciaires (durée de l'ordre de 50 000 ans). Par exemple, le mammouth a vécu en "France" durant la glaciation du Würm et sa disparition a coïncidé avec le retour d'un climat plus chaud à la fin du Würm IV (4e stade du Würm qui s'est terminé il y a environ 10 000 ans).

L'optimum climatique le plus froid du quaternaire s'est produit durant la glaciation du Riss il y a environ 200 000 ans. Les Alpes disparaissaient complètement sous une calotte de glace qui recouvrait tout le Nord de l'Europe, calotte qui pouvait atteindre une épaisseur de l'ordre de 2 000 m. On a l'habitude d'estimer l'importance des retenues d'eau sous forme de glace par l'équivalent en eau : c'est la hauteur dont varierait le niveau mondial des mers si on faisait fondre cette glace en la répartissant uniformément sur toutes les mers. Les estimations actuelles de la calotte rissienne donnent une valeur proche de 150 m, équivalente à la calotte polaire antarctique (100 m) et au glacier du Groenland (50 m) réunis. La banquise arctique est négligeable car quelque soit la quantité d'eau incorporée sous forme de glace dans l'Arctique, quand elle fond le niveau de la mer ne varie pas en vertu du principe d'Archimède (Faites l'expérience dans un verre ; des glaçons qui fondent ne font pas varier le niveau !)

Il est bien évident que ces variations s'accompagnent d'une profonde modification de la physionomie des continents actuels : la fonte des glaces provoque la remontée des continents allégés par cette perte de poids (la Norvège s'est élevée de presque 100 m depuis 10 000 ans). L'abaissement considérable du niveau des mers a provoqué la disparition de nombreux bras de mers comme la Manche. La création de ces ponts a rendu possible l'implantation de l'homme dans des îles comme l'Australie et la Grande-Bretagne.

I-3 PETITS AGES GLACIAIRES :

Depuis environ 2000 ans (Figure 3) , on a mis en évidence une alternance d'épisodes chauds et froids (petits âges glaciaires). Actuellement on se situe dans une phase descendante : avancée des glaces du Groenland, décroissance de la température de l'eau de mer. Des minimums ont été observés vers l'an 1000 et vers 1580. Le dernier maximum date de 1940 et depuis, les températures moyennes diminuent d'environ

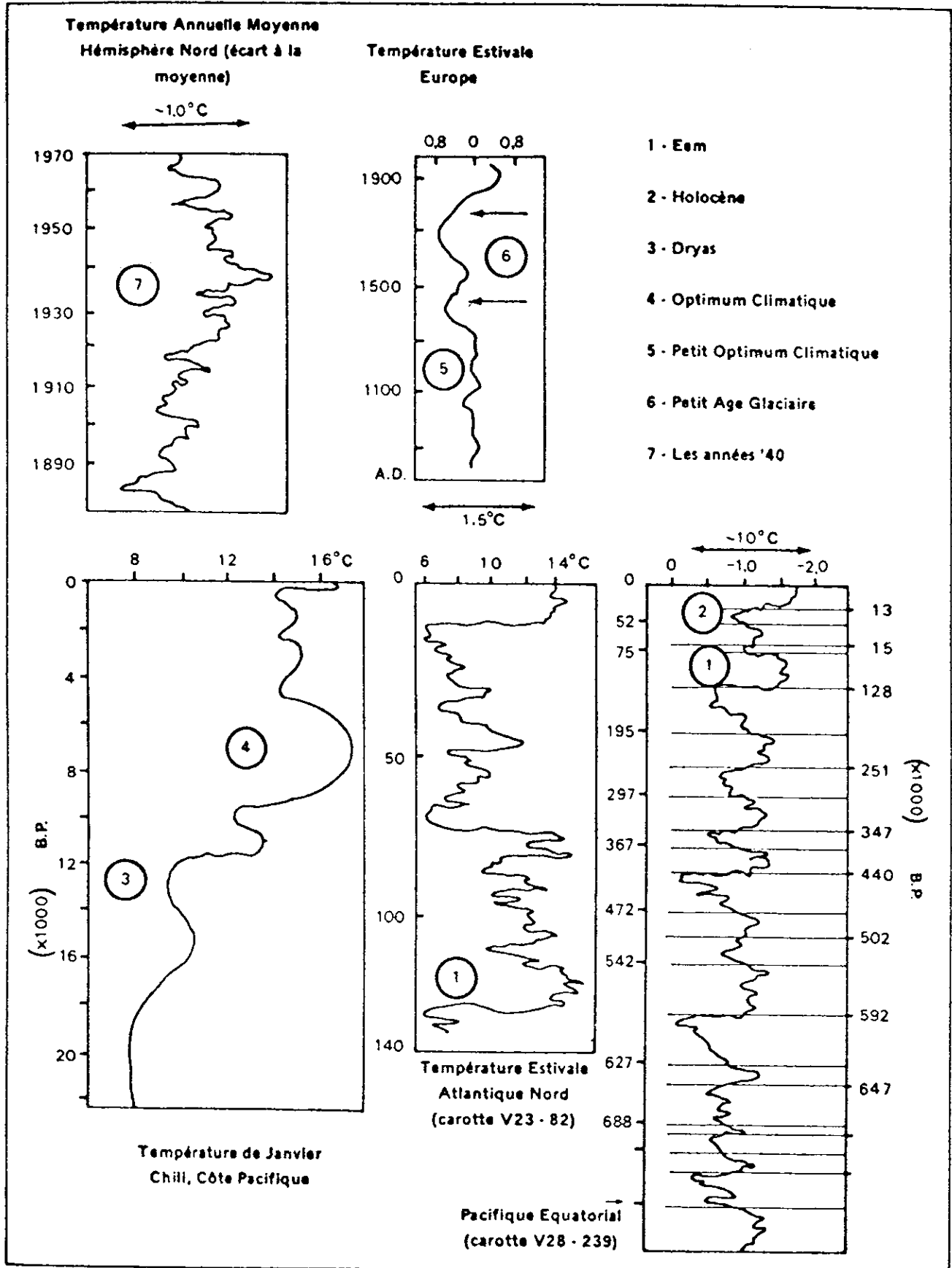


Fig. 3 : Changements climatiques au Quaternaire.

0,05 % : la série d'hivers doux observés depuis 1970 en Europe constitue une anomalie locale et ne reflète pas un renversement de la tendance générale (Fig. 3). Dans le même ordre d'idées, les variations actuelles des glaciers alpins paraissent inexplicables : de 1880 à 1892, le glacier du Rhône a avancé de plusieurs mètres par an. La décrue fut tout aussi rapide. On a l'impression de se trouver devant un équilibre instable qu'un rien suffit à détruire, de telle sorte qu'on ne puisse pas déduire grand chose des faits actuels, simples accidents dans l'évolution générale.

Tableau 1 : Les grandes phases climatiques

Phase climatique	Echelle de temps (an)	Variations de température induites (°C)
Age glaciaire	200×10^6	20°
Glaciation	200 000	10°
Stade glaciaire	50 000	5°
Petit âge glaciaire	100	1°

Si la variabilité des climats est bien établie à la surface de la Terre, on a des certitudes sur l'existence de phénomènes analogues sur les autres planètes. Les photographies prises par Mariner 9 de la surface de Mars ont montré l'existence de vallées fluviales asséchées. L'eau a certainement coulé à la surface de Mars à une époque inconnue. A l'heure actuelle, on aurait de grosses difficultés à y trouver de l'eau sous forme liquide car en plein été, il règne une température de l'ordre de - 20° C sous les tropiques. Des phénomènes de grande envergure agissent sur les paramètres climatiques et produisent à la surface des planètes des bouleversements importants.

Après une présentation de l'insolation, paramètre climatique fondamental, nous examinerons rapidement les phénomènes astronomiques susceptibles de faire évoluer ce paramètre. L'accent sera mis sur le rôle des éléments orbitaux de la Terre : méthodes de calcul, variations des éléments, conséquences climatiques,...

II - BILANS ENERGETIQUES

II - 1 L'INSOLATION

La quantité fondamentale qui intervient dans le processus de chauffage de la Terre par le Soleil est la constante solaire I_0 . Actuellement elle vaut :

$$I_0 = 1.92 \text{ cal/mn/cm}^2 = 1340 \text{ W/m}^2$$

Elle mesure l'énergie totale arrivant en haut de l'atmosphère. Localement, sans tenir compte de l'absorption atmosphérique, l'efficacité de cette énergie reçue dépend de 2 facteurs :

- de la distance Terre-Soleil (la constante est définie à 1 unité astronomique (U.A.))
- de l'orientation de la surface du sol par rapport aux rayons du soleil ; elle est directement liée à la latitude.

Si on appelle r la distance Terre-Soleil et h la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon, l'insolation instantanée est égale à :

$$I = \frac{I_0 \sin h}{r^2} \quad (1)$$

La hauteur h du soleil à un instant déterminé dépend de la latitude du lieu (φ) et des coordonnées équatoriales du soleil (α et δ) suivant la relation :

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H \quad (2)$$

où H est l'angle horaire du soleil.

L'un des paramètres fondamentaux de la climatologie est l'insolation semestrielle, c'est-à-dire la quantité d'énergie reçue durant chaque semestre. On parle d'insolation d'été I_e en regroupant l'été et le printemps et d'insolation d'hiver I_h qui englobe l'automne et l'hiver. Pour calculer chacun de ces paramètres on doit intégrer la relation (1) sur toute une journée entre le lever et le coucher puis additionner les insolutions journalières du semestre. Ce calcul se complique car on doit introduire la distance au soleil r qui dépend de la position de la Terre sur son orbite. En particulier l'angle ω (longitude du périhélie) mesure la position du point le plus proche par rapport au point γ (direction du soleil à l'équinoxe de printemps). Ainsi pour que les équations soient complètes il faut adjoindre à (1) et (2) la relation

$$r = \frac{1 - e^2}{1 - e \cos (\omega - \lambda)}$$

avec $\sin \delta = \sin \lambda \sin \varepsilon$

ω = longitude du périhélie

ε = inclinaison de l'équateur sur l'écliptique

e = excentricité de l'orbite terrestre

λ = longitude de la Terre autour du soleil mesurée depuis le point γ .

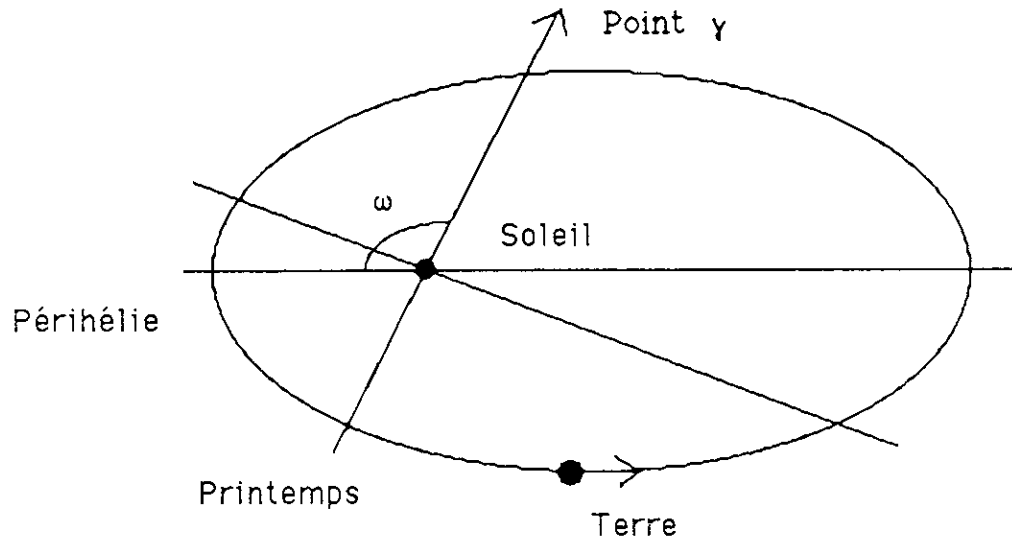
L'étude détaillée de ces intégrations a été faite par Milankovitch qui a obtenu les insolutions semestrielles sous une forme approchée car un calcul analytique n'est pas possible complètement :

$$\begin{aligned} I_{\text{été}} &= \frac{I_0}{\pi} \left(S + \sin \varepsilon \sin \varphi - \frac{4}{\pi} e \sin \omega \cos \varphi \right) \\ I_{\text{hiver}} &= \frac{I_0}{\pi} \left(S - \sin \varepsilon \sin \varphi + \frac{4}{\pi} e \sin \omega \cos \varphi \right) \end{aligned} \quad (4)$$
$$\text{avec } S = \left(1 - \frac{\sin^2 \varepsilon}{4} \right) - \sin^2 \varphi \left(1 - \frac{\sin^2 \varepsilon}{4} - \sin \varepsilon \right)$$

Il existe une latitude privilégiée pour laquelle le contraste saisonnier est nul. ($I_e = I_h$). Elle est définie par :

$$\operatorname{tg} \varphi_e = \frac{4e}{\pi} \frac{\sin \omega}{\sin \varepsilon} \quad (5)$$

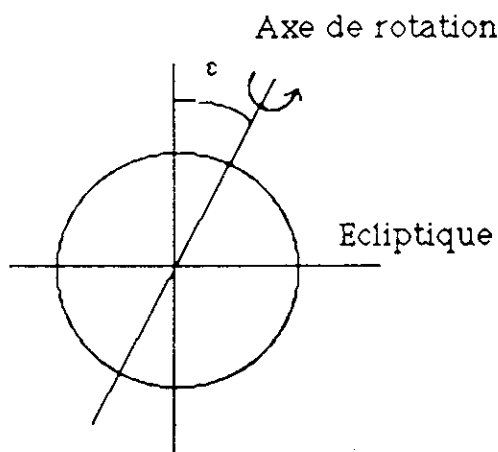
Cet équateur calorifique a actuellement une valeur de 3° ($e = 0.017$, $\omega = 107^\circ$, $\varepsilon = 23^\circ$). Il oscille de 12° de part et d'autre de l'équateur avec une période de l'ordre de 10 à 20 000 ans.



Eléments de l'orbite de la Terre

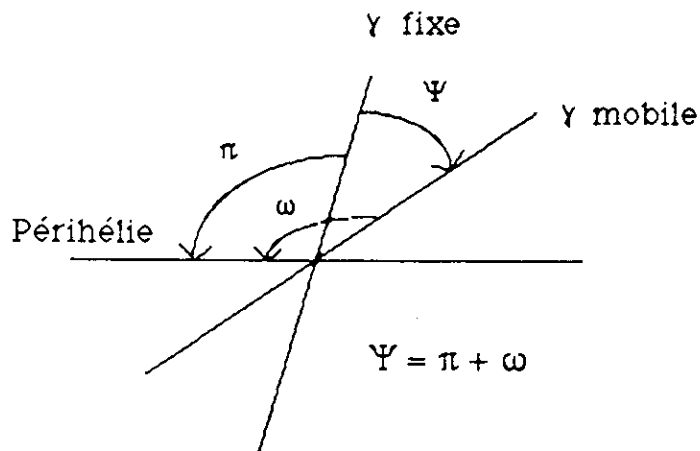
L'orbite de la Terre autour du soleil est représentée par une ellipse dont le périhélie correspond au point le plus proche du soleil. L'excentricité est donnée par $e = (a^2 - b^2)^{1/2}$ où a et b sont les demi-axes de l'ellipse.

Au début du printemps, vu depuis la Terre, le soleil se trouve dans la direction du point γ . On repère la position du périhélie par rapport à cette direction avec l'angle ω appelé longitude du périhélie. Il vaut actuellement 102° , signifiant que la Terre passe au périhélie le 3 janvier.



Le 3ème élément qui définit complètement la position de la Terre dans l'espace est ε , l'inclinaison de l'équateur sur l'écliptique. C'est cette inclinaison qui est responsable des saisons et ses variations (22° à 25°) entraînent des modifications importantes des zones climatiques terrestres.

Sous l'effet de perturbations variées, chacun de ces éléments évolue avec des périodes moyennes de 40 000 (ϵ), 100 000 (e) et 21 000 (ω). A ces évolutions, il faut ajouter la précession qui entraîne le point γ à raison d'un tour tous les 26 000 ans.



En réalité, du point de vue climatique le paramètre essentiel est la position relative du périhélie par rapport au point γ . En première approximation :

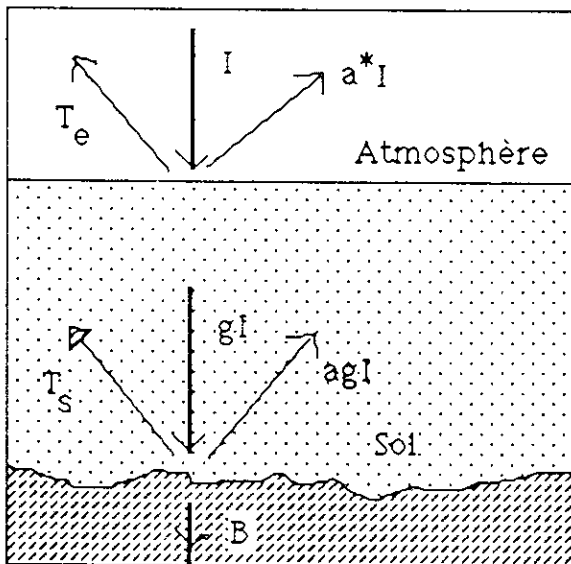
- le point γ tourne dans le sens retrograde à raison d'un tour en 26 000 ans.
- Le périhélie effectue un tour dans le sens direct en 100 000 ans.

T, la période du mouvement relatif est donnée par :

$$1/T = 1/100\,000 + 1/26\,000 \approx 1/21\,000.$$

D'où cette période fondamentale de 21 000 ans attribuée à la précession dont la valeur est différente de 26 000 ans.

II - 2 ROLE DE L'ATMOSPHERE



De l'énergie I qui arrive en haut de l'atmosphère, seule une fraction g parvient au niveau du sol. Le sol en réfléchit directement une fraction a (albedo planétaire) et le reste maintient la surface du sol à une température de l'ordre de 250 à 310°K. Dans cet intervalle de températures, le rayonnement se situe dans l'infrarouge (4 à 100 μ m) et il est en grande partie absorbé par l'eau et le gaz carbonique de l'air (le méthane a joué un rôle identique dans l'atmosphère primitive de la Terre). C'est cet "effet de serre" qui rend critique les rejets de gaz carbonique auxquels nous assistons depuis le début de l'ère industrielle.

De même qu'on a défini un albedo planétaire a , on définit l'albedo atmosphérique a^* : la réflexion est principalement due aux nuages. L'augmentation de

la couverture nuageuse agit sur la température au niveau du sol par deux processus antagonistes :

- elle contribue à diminuer cette température par une réflexion plus importante du rayonnement solaire (a^* augmente) ;
- elle accentue l'effet de serre par la présence d'une quantité d'eau plus importante dans l'atmosphère.

En réalité, le deuxième processus est le plus efficace et une augmentation de la nébulosité provoque un réchauffement global malgré une valeur plus importante de l'albedo a^* .

Tableau 2 : Paramètres atmosphériques moyens
(l'intensité I est exprimée en (cal/mn/cm²))

Zone	I	g	a	a^*	B	Ts(°C)
Polaire	0.249	0.476	0.61	0.50	0.01	- 15
40 - 50° lat.	0.440	0.531	0.12	0.35	0.09	8
Equatoriale	0.593	0.537	0.08	0.25	0.19	26

Du point de vue dynamique, les mouvements de l'atmosphère se traduisent par une circulation complexe entre l'équateur et le pôle due au gradient de température (elle passa de -15 à +25°C). Les masses d'air chaud enrichies en vapeur d'eau sont transportées dans les régions de hautes latitudes où elles provoquent des chutes de neige qui viennent alimenter la calotte polaire. Ce modèle simplifié de la circulation atmosphérique nous permet de comprendre que trois conditions sont nécessaires pour l'installation d'un climat froid :

- la présence de terre dans les régions polaires (de grandes quantités de glace ne peuvent s'étendre sur la mer. Ex la banquise : de l'eau plus chaude est transportée des régions tropicales bloquant le développement de la glace),
- une insolation tropicale excédentaire,
- une insolation polaire déficitaire.

III VARIATIONS DE LA CONSTANTE SOLAIRE I_0

Le soleil rayonne de l'énergie comme un corps noir porté à une température T_s de l'ordre de 5770 K. La constante solaire s'écrit sous la forme générale

$$I_0 = \sigma \frac{R^2}{a^2} T_s^4 \quad (6)$$

R = Rayon du soleil

a = Distance Terre-Soleil exprimée en unités astronomiques.

T_s = Température de surface du soleil.

σ = Constante de Stephan = $5,67 \cdot 10^{-34}$ SI

A partir de cette relation, on peut facilement en tirer la sensibilité de la constante solaire aux différents paramètres. On différencie (6) :

$$\frac{\Delta I_0}{I_0} = 2 \frac{\Delta R}{R} + 4 \frac{\Delta T_s}{T_s} \quad (7)$$

Ainsi pour obtenir une variation de 1% de la constante solaire il suffit de faire varier le rayon du soleil de 3400 km (sur 690 000 km) et la température de surface du soleil de 15°. Pour évaluer les effets de cette variation au niveau de la terre, on écrit la relation qui lie la température effective de la Terre à la constante solaire I_0 .

$$I_0 = 4 \sigma T_e^4 (1-A) \quad (8)$$

A : albedo terrestre ($\approx 0,3$)

T_e : Température effective de la Terre

En différenciant (on néglige les variations de l'albédo A)

$$4 \frac{\Delta T_e}{T_e} = \frac{\Delta I_0}{I_0}$$

En prenant une température effective de l'ordre de 300 K, on aboutit au résultat qu'une variation de 1% de la constante solaire entraîne une variation de la température effective à la surface de la terre de près de 1°. D'où le lien étroit entre les températures T_s et T_e :

$$\Delta T_s = 15^\circ \text{ ---> } \Delta I \approx 1\% \text{ ---> } \Delta T_e = 1^\circ$$

Il suffit que le soleil se réchauffe ou se refroidisse seulement de 15° pour que sur terre l'effet soit de 1°.

III - 1 VARIATIONS DE LA DISTANCE TERRE-SOLEIL :

On peut montrer que dans un système binaire (Terre-Soleil) le produit (demi-grand axe) $\times (M_{\text{soleil}} + m_{\text{terre}})$ reste constant quand les masses varient. Le soleil perdant de la masse par l'intermédiaire du vent solaire, on doit s'attendre à une augmentation systématique de la distance moyenne Terre-Soleil. Les calculs montrent que cet effet est négligeable sur des échelles de temps de l'ordre de l'histoire du système solaire.

III - 2 ACTIVITE SOLAIRE

L'activité solaire liée aux mouvements dans l'atmosphère du soleil obéit à d'étonnantes périodicités. Elle se manifeste par la présence de taches à la surface du soleil, par des éruptions et par des sursauts de rayonnement ($\Delta T_s \approx 30^\circ \text{ ---> } \Delta T_e \approx 2^\circ\text{C}$). Son étude menée depuis 1749 a mis en évidence deux périodes de 11 et de 200 ans (le pôle nord et le pôle sud du soleil s'inversant tous les 11 ans). Cette activité pourrait jouer un grand rôle dans les variations climatiques sur des échelles de temps de l'ordre de 10 ans : elle pourrait par exemple expliquer les sécheresses de 1910 et 1976. Des corrélations évidentes n'ont jamais été clairement montrées.

III - 3 EVOLUTION DU SOLEIL

Les modèles de structure interne du soleil permettent de suivre assez bien l'évolution d'une étoile du type du soleil. Toutes les études montrent un accroissement de la luminosité solaire d'environ 40 % depuis sa formation jusqu'à l'époque actuelle. Cette faible luminosité à l'époque de la formation de la Terre, a peut-être entraîné des températures négatives à la surface de la terre durant l'antécambrien. Mais, par ailleurs, des évidences géologiques suggèrent l'existence de grandes étendues d'eau à des époques aussi reculées que 3,7 milliards d'années. Deux mécanismes sont susceptibles de corriger cette température trop basse :

- 1) l'augmentation de l'effet de serre dû au dégazage plus important de la croûte terrestre avec en particulier de grandes quantités de H_2O et CO_2 dans les premiers stades de l'atmosphère terrestre.
- 2) la vitesse de rotation de la terre plus élevée : au moment de la formation de la terre, le jour a pu descendre à une durée inférieure à deux heures. Dans ce cas, la portion d'atmosphère chauffée par le soleil est plus importante et l'atmosphère se stabilise à une température plus élevée.

La pseudo-période de 250 millions d'années des âges glaciaires a poussé certains à la justifier par un cycle de variations des réactions nucléaires au sein du noyau solaire. Les modèles à mélange renaissent actuellement sous une forme nouvelle à la faveur du problème préoccupant des neutrinos solaires. Le soleil tire son énergie de réactions nucléaires de fusion (principe de la bombe à hydrogène) se produisant en son centre. Mais, pour que cette énergie produite atteigne la surface du soleil, il faut attendre plusieurs millions d'années : l'énergie solaire que nous recevons aujourd'hui a été "fabriquée" dans le soleil il y a peut-être un million d'années ! La seule observation qui permette un accès direct à l'activité instantanée du soleil est la mesure du flux des neutrinos solaires. Ces particules sont fabriquées au cours des réactions nucléaires et elles ont la propriété de sortir très vite du soleil et elles atteignent ainsi la terre quelques minutes après leur synthèse. Or, actuellement, toutes les tentatives de mesure du flux de neutrinos donnent des valeurs bien inférieures aux résultats théoriques (environ 10 fois moins). On est contraint à envisager la possibilité d'un soleil intermittent envoyant des bouffées d'énergie de temps à autre, créant à retardement des réchauffements et des refroidissements. La matière centrale du soleil serait brassée par convection produisant un rythme thermique du noyau : celui-ci serait actuellement dans une phase de minimum promettant un âge glaciaire dans un ou 2 millions d'années.

III - 4 TRAVERSEE DE NUAGES INTERSTELLAIRES :

Le soleil décrit une orbite pratiquement circulaire autour du centre galactique qu'il parcourt en 250 millions d'années. A chaque passage dans les bras spiraux, le soleil rencontre des nuages de matière interstellaire : les particules le composant tombent sur le soleil et le réchauffent si toute leur énergie est convertie en chaleur. Avec les nuages classiques (10 atomes/cm^3), on peut s'attendre à une augmentation de la constante solaire de l'ordre de 1 % et à un accroissement de la température à la surface de la terre de l'ordre de 1°C . Cette estimation n'est qu'une valeur supérieure de

l'effet que l'on peut attendre de ce phénomène. Par ailleurs, en vertu de la théorie des ondes spirales, le soleil ne traverse par les bras spiraux à chaque tour de galaxie car les bras sont à considérer comme des ondes de densité qui tournent autour du centre galactique avec une vitesse (différente de celle du soleil) totalement inconnue actuellement. Par exemple, si au niveau du soleil, les bras effectuent 1 tour en 250 millions d'années, le soleil ne les traversera jamais.

III-5 ACTION DE LA LUNE :

Le bourrelet équatorial dû aux marées n'a pas son grand axe confondu avec la ligne des centres de masse car le globe terrestre n'est pas un fluide parfait. La dissymétrie introduite provoque une accélération fictive de la lune qui s'éloigne de la Terre de près de 3 cm par an. Dans ce processus la conservation du moment cinétique du système Terre-Lune est assurée par un gain de la part de la lune par une perte de la part Terre qui ralentit son mouvement de rotation. Ainsi les deux astres s'éloigneront l'un de l'autre jusqu'à ce que les périodes de rotation soient les mêmes (modèle d'une haltère). La théorie de l'évolution du système Terre-Lune a été étudiée par Darwin (fils) dès 1873. Quand on remonte le temps, les principaux résultats sont :

- diminution de la durée du jour : cette variation a été confirmée par les observations d'éclipses durant l'Antiquité et par l'étude de coraux fossiles qui développent des sillons sous l'influence des rythmes du jour, du mois lunaire et des saisons ;
- diminution de la distance Terre-Lune a_L et augmentation de l'aplatissement de la Terre (marées plus fortes) ;
- accélération de la précession des équinoxes ;
- amortissement des variations périodiques de e et $e \sin \Pi$;
- redressement de l'axe polaire : un pôle toujours froid et un fort gradient de température Equateur-Pôle favorisant l'extension de la calotte polaire donc état glaciaire.

IV - VARIATIONS SECUAIRES DE e , ω et ε

IV - 1 METHODE

En vertu de la loi de Newton, chaque planète (i) subit de la part du soleil et des 8 autres planètes une force d'attraction de la forme

$$F_i = G m_i \sum_{j=1}^8 \frac{m_j}{r_{ij}^2} + G m_i \frac{M_s}{r_{is}^2} \quad (9)$$

où m_i = masse de la planete i

M_s = masse du soleil

r_{ij} = distance de i à j

L'ordre de grandeur des masses planétaires étant 10^{-3} à 10^{-7} fois plus faible que la masse du soleil, la force F_i (9) se réduit en première approximation au 2ème terme.

Dans ces conditions, le problème est séparé en 8 problèmes des 2 corps obéissant aux lois de Kepler. En ce qui concerne la Terre, ses éléments elliptiques définissant son orbite autour du soleil

$$\begin{cases} \text{excentricité : } e = 0.012 \\ \text{longitude : } \omega = 102^\circ \\ \text{inclinaison : } \varepsilon = 23^\circ 27' \end{cases}$$

sont fixés dans la mesure où l'on néglige l'effet des autres planètes, de la Lune ainsi que l'écart à la sphéricité de la distribution des masses à l'intérieur du globe terrestre.

En réalité, les planètes sont des sphéroïdes aplatis par rotation. Pour la Terre par exemple, l'action conjuguée de la Lune et du soleil sur le globe non sphérique entraîne l'équateur dans un mouvement de précession au cours duquel l'axe de rotation terrestre décrit un cône d'angle constant ε avec une période de l'ordre de 26 000 ans. Si du point de vue climatique il n'y a pas de modifications des saisons car l'angle ε reste constant, il y a néanmoins une légère modulation causée par le passage au périhélie à des dates différentes de l'année. Actuellement, le passage au périhélie le 3 janvier tempère légèrement l'hiver de l'hémisphère nord (on y gagne environ 1° en raison de la proximité du soleil).

Si on s'intéresse à l'évolution à long terme des mouvements planétaires, les éléments elliptiques vont être sujets à des variations lentes sous l'effet des perturbations planétaires. On appelle ainsi perturbations, les effets faibles que font subir les autres planètes au mouvement képlérien de l'une d'entre elles. La théorie de ces variations "dites séculaires" a été établie par les fondateurs de la mécanique céleste, Laplace et Lagrange entre 1773 et 1784.

Tableau 3 : études des variations à long terme des éléments orbitaux de la Terre.

Ordre des masses	Degrés des excentricités et inclinaisons	
	1	2
1	Lagrange (1781)	Anolick (1969)
	Laplace (1798)	Bretagnon (1974)
	Pontécoulant (1834)	
	Stockel (1870)	
	Harzer (1895)	
	Milankovitch (1920)	
	Anolick (1969)	
	Bretagnon (1974)	
2	Brouwer	Bretagnon (1971)
	Van-Woerkom (1950)	Berger (1978)
	Sharaf-Bovdnikova (1969)	
	Vernekar (1972)	

Les travaux sont classés selon la précision des développements en séries utilisés dans les calculs. Les séries obtenues au 1er ordre des masses ne permettent pas de pousser les prévisions au-delà de 100 000 ans.

En prenant comme point de départ des conditions déterminées (l'année 1950 par exemple), l'évolution des éléments (e , ε et ω pour la Terre) est obtenue à partir de développements mathématiques de forme simple masquant les calculs théoriques fastidieux ! Sans rentrer dans le détail de la validité des améliorations ultérieures, nous pouvons citer les travaux récents qui ont conduit aux développements utilisés dans ce travail. Ils sont rassemblés dans le tableau 3 en fonction de l'ordre des termes perturbateurs.

A partir des développements les plus poussés, on peut déduire les éléments de l'orbite terrestre sur une durée de plus de 5 millions d'années. Les solutions s'écrivent sous la forme suivante :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_0 + \sum_i A_{1i} \cos (A_{2i} t + A_{3i}) \\ e \sin \Pi &= \sum_i B_{1i} \sin (B_{2i} t + B_{3i}) \\ e \cos \Pi &= \sum_i B_{1i} \cos (B_{2i} t + B_{3i}) \\ \psi &= \psi_0 + \sum_i C_{1i} \sin (C_{2i} t + C_{3i})\end{aligned}\quad (10)$$

où les constantes sont données dans les tableaux 4, 5 et 6

avec $\omega = \Pi + \psi$

$$\varepsilon_0 = 23.320556^\circ$$

$$\psi_0 = 3.392506^\circ + 50''.439\,273\,t$$

t = la variable t est exprimée en années comptées depuis 1950

On décompose ω en 2 parties

. ψ = précession générale rapportée au point γ de référence (1950.0)

. Π = longitude du périhélie par rapport au point γ de référence (fixe).

Tableau 4 : DEVELOPPEMENT DE L'OBLIQUITE ϵ
 Amplitude (") Vitesse ("/an) Phase ($\frac{\circ}{\text{an}}$)
 A1 A2 A3

-2462.22	31.609970	251.90
-857.32	32.620499	280.83
-629.32	24.172195	128.30
-414.28	31.983780	292.72
-311.76	44.828339	15.00
308.94	30.973251	263.79
-162.55	43.668243	308.42
-116.11	42.246689	240.00
101.12	30.599442	222.97
-67.69	42.681320	268.78
24.91	43.836456	316.79
22.58	47.439438	319.60
-21.16	63.219955	143.80
-15.65	64.230484	172.73
15.39	1.010530	28.93
14.67	7.437771	123.59
-11.73	55.782181	20.20
10.27	0.373813	40.82
6.49	13.218362	123.47
5.85	62.583237	155.69
-5.49	63.593765	184.62
-5.43	76.438309	267.27
5.16	45.815262	55.01
5.08	8.448301	152.52
-4.07	56.792709	49.13
3.72	49.747849	204.66
3.40	12.058272	56.52
-2.83	75.278214	200.32
-2.66	65.241013	201.66
-2.57	64.604294	213.55

Tableau 5 : DEVELOPPEMENT DE $e \sin \pi$
 Amplitude (") Vitesse ("/an) Phase (°)
 B1 B2 B3

0.01860798	4.2072050	23.62
0.01627522	7.3460910	193.78
-0.01300660	17.8572630	308.30
0.00988829	17.2205460	320.19
-0.00336700	16.8467330	279.37
0.00333077	5.1990790	87.19
-0.00235400	18.2310760	349.12
0.00140015	26.2167580	128.44
0.00100700	6.3591690	154.14
0.00085700	16.2100160	291.16
0.00064990	3.0651810	114.86
0.00059900	16.5838920	332.09
0.00037800	18.4939800	296.41
-0.00033700	6.1909530	145.76
0.00027600	18.8677930	337.23
0.00018200	17.4255670	152.09
-0.00017400	6.1860010	126.83
-0.00012400	18.4174410	210.66
0.00001250	0.6678630	72.10

Tableau 6 : DEVELOPPEMENT DE ψ
 Amplitude (") Vitesse ("/an) Phase (°)
 C1 C2 C3

7391.02	31.609970	251.90
2555.15	32.620499	280.83
2022.76	24.172195	128.30
-1973.65	0.636717	348.10
1240.33	31.983780	292.72
953.87	3.138886	165.16
-931.75	30.973251	263.79
872.38	44.828339	15.37
606.35	0.991874	58.57
-496.03	0.373813	40.82

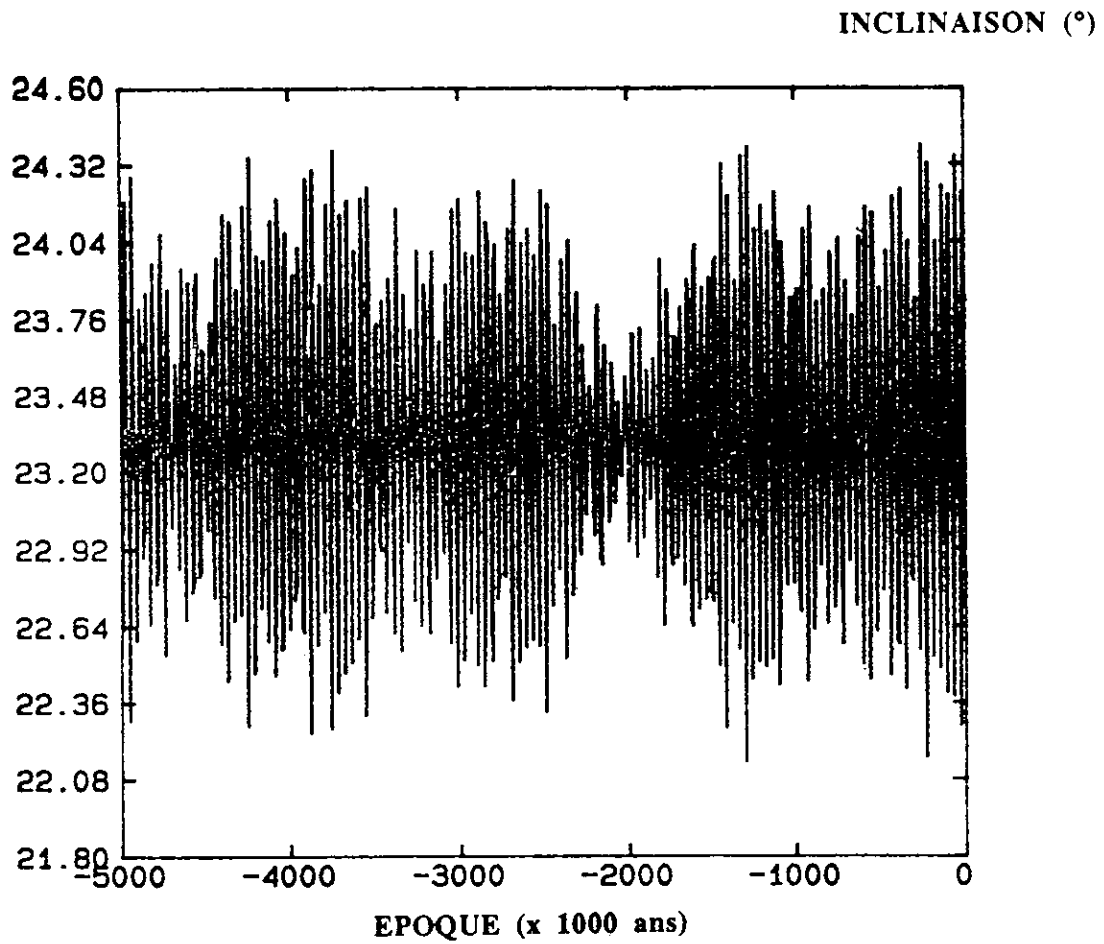
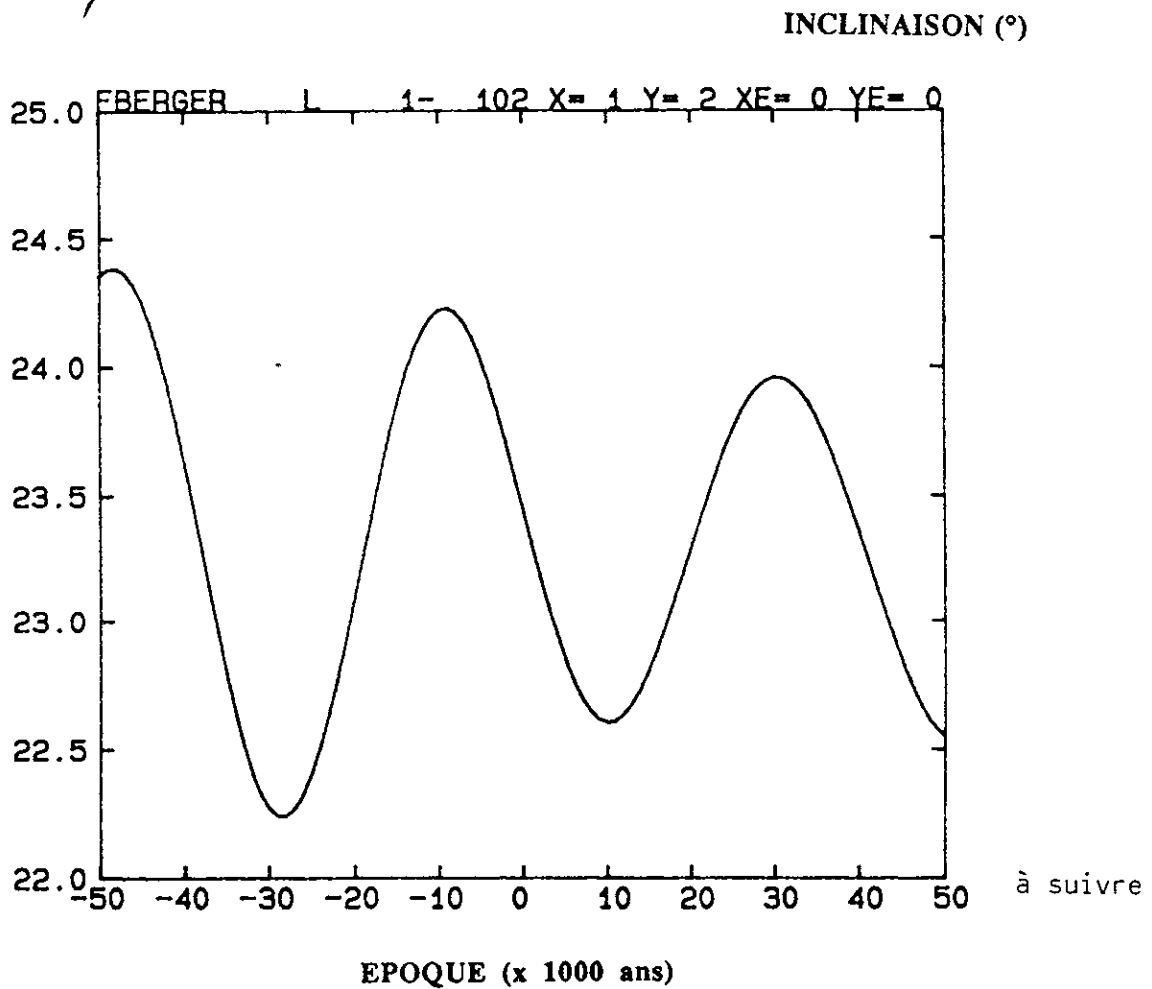


Fig 5



HOMMAGE A JEAN-CLAUDE PECKER

Notre Président d'Honneur Jean-Claude Pecker prend sa retraite de la chaire d'astrophysique où il enseignait au Collège de France. A cette occasion, un colloque sur le thème "Modélisation de l'environnement stellaire" a réuni, les 28-29-30 juin 1988 des spécialistes internationaux. Cette réunion savante a été accompagnée de diverses manifestations témoignant toutes de l'étendue des activités de Jean-Claude Pecker : un colloque "Voyage autour de la science", le 1er juillet à l'UNESCO, sur les déboires et les délices de la vulgarisation scientifique ; une exposition de livres de vulgarisation et une table ronde de journalistes scientifiques, le 2 juillet à la Cité des Sciences et de l'Industrie ; un concert, le 29 juin ; une exposition des oeuvres, dessins et peintures, de Jean-Claude Pecker, au Foyer d'accueil de la Ville de Paris. Enfin une réception à l'Observatoire de Paris, le 28 juin, a permis à tous ses amis de dire à Jean-Claude Pecker leur estime et leur affection. Des membres du CLEA ont pu se joindre à cette manifestation d'amitié et remercier une nouvelle fois Jean-Claude Pecker de l'aide et du soutien qu'il a toujours apportés à notre association. Au cours de cette réception, Evry Schatzman a prononcé l'allocution que nous sommes heureux de publier ici.

Cher Jean-Claude,

Il y aura bientôt 44 ans que nous avons fait connaissance dans les couloirs de l'Ecole. Les murs qui nous entouraient avaient abrité aussi bien ceux qui avaient traversé l'occupation sans la voir que ceux qui avaient donné leur vie. Bruhat avait été déporté peu avant la libération de Paris ; le drame qui nous avait frappés chacun de notre côté nous rapprochait. Nous n'osions pas croire à l'extermination, à la Shoah ; cependant la douleur était tellement vive qu'il fallait bien la cacher, en retenir l'expression, pour pouvoir vivre. La vie reprenait pour nous en 1944 et si la France délivrée nous invitait à retrouver notre place dans la société, nous étions comme un peu éblouis, comme on peut l'être dans la pleine lumière qu'on trouve à la sortie d'un long tunnel.

Pour moi, l'agrégation de physique paraissait située dans un futur si éloigné que je consacrais tout mon temps à la recherche que j'avais commencée en Haute Provence, et je me souviens avoir passé des heures à te parler du ciel, des étoiles et des merveilleux processus physiques dont elles sont le siège. Mon orientation était due à un accident de l'histoire, mais si je crois à ce que tu m'as toujours dit, la tienne a été quelque peu influencée par mes discours enthousiastes et enflammés. C'est ; si je ne me trompe, en 1946 que nous avons commencé à travailler ensemble, découvrant non seulement la physique des astres, mais aussi une astronomie de base que nous avions bien des excuses d'ignorer. C'est ainsi que nous avons appris que Alpha Canis Majoris et Sirius ne faisaient qu'une seule et même étoile...

Tu as vite commencé à faire des séjours à l'étranger, puisqu'à cette époque, la formation d'astrophysicien ne pouvait guère se faire en France. C'est très beau d'être autodidacte, mais il y a un certain type de savoir-faire, l'apprentissage d'une certaine finalité de la recherche et d'une certaine connaissance de base qui ne s'invente pas et qui bénéficie grandement de l'expérience de nos prédécesseurs et du grand mouvement international dans lequel ils sont plongés. Tu es allé dans beaucoup d'endroits, Hollande, Danemark, Etats-Unis, en attendant bien d'autres séjours au cours desquels tu as été alternativement missionnaire d'une science nouvelle, un apprenti attentif de maîtres incontestés, ou frère d'armes dans une recherche menée avec des astrophysiciens de la même génération.

Le goût du savoir, le plaisir de la découverte ont guidé tes recherches, dont je me garderai bien de faire ici la liste impressionnante. Quelques uns de tes résultats ont marqué notre époque et ton nom y restera attaché. Certains de tes combats sont moins connus et je rappellerai seulement ta longue bataille pour convaincre les théoriciens des atmosphères stellaires de l'importance de l'écart à l'équilibre thermodynamique. Le résultat est aujourd'hui si évident qu'on en a oublié à quel point il a pu être contesté. Je ne ferai pas la liste des nombreux élèves que tu as formés, avides de la même rigueur qui a guidé tes recherches. Ta conviction profonde que la recherche est la recherche d'une vérité, vérité incomplète, jamais définitive, sur un univers réel, connaissable, est aussi l'expression de toute une philosophie de la connaissance. Et cette philosophie, associée aux conclusions à tirer des épreuves de la guerre, est à l'origine d'un sens des responsabilités dont tu ne t'es jamais écarté. Responsabilité en tant que dépositaire d'une certaine connaissance : il est impossible, dans une société changeante, de laisser les citoyens ignorants de notre nouvelle connaissance du monde. Dans le domaine de la science, tout se tient, et si la découverte scientifique permet de nouvelles percées technologiques, il n'est pas un fragment de la connaissance scientifique qui, tôt ou tard, ne joue un rôle. Dans ces conditions, tu t'es trouvé très vite engagé dans une oeuvre de popularisation de la Science dont l'un des premiers épisodes a été cette suite d'émissions radio avec Paul Couderc, publiées ensuite dans une collection qui hélas n'a pas eu beaucoup de succès. Sont venus ensuite conférences, ouvrages de tous niveaux, responsabilités, où tu t'es donné avec coeur, avec conviction, avec sincérité. Je ne saurai pas dire si le but que tu t'étais proposé a été atteint. Tu as vécu, comme moi, cet effort de diffusion de l'information scientifique dans le sillage d'une certaine conception de la science, celle de la science triomphante. Tes dernières responsabilités dans le domaine de la diffusion de l'information scientifique t'ont fait prendre contact avec de nouvelles réalités sociales.

La science n'est plus accueillie comme elle l'était encore il y a trente ans. Le public est plus nombreux, il est différent, sa demande est difficile à percevoir comme il est difficile de déterminer les objectifs de diffusion de la science. Il existe un bruit de fond d'anti-science. Il ne s'agit pas seulement des fausses-sciences que tu as combattues avec énergie, conviction et même érudition depuis de nombreuses années. Il s'agit d'une critique dont le niveau sonore augmente régulièrement depuis quelques années, apparaissant bruyamment aux endroits les plus inattendus, et prenant la forme d'une popularisation des idées philosophiques les plus réactionnaires, voyant la science comme synonyme de barbarie, affirmant que la science est la négation de la vie, comme s'il y avait conflit entre la science et l'art, entre la science et le monde des émotions, entre la rationalité et les sentiments. Ta vie même démontre l'absurdité de telles affirmations.

Il reste une oeuvre nouvelle à accomplir. Il reste à faire comprendre à nos concitoyens la différence entre l'acquisition d'un nouveau savoir sur la nature et sa mise en oeuvre dans des développements technologiques nouveaux dont la réalisation peut mettre en jeu de gigantesques intérêts industriels, militaires, financiers, politiques, influencer notre société et mettre en cause jusqu'à la vie la plus intime des citoyens. Nous devons nous interroger plus que nous ne l'avons fait sur la relation entre la Science et l'Etat ; nous devons nous interroger plus que nous ne l'avons fait sur le contrôle démocratique des applications de la Science, et sur son rôle dans la prévention de nuisances irréparables ; nous devons nous interroger plus que nous ne l'avons fait sur les objectifs de la vulgarisation scientifique dans la formation d'une attitude responsable des citoyens.

Mon cher Jean-Claude, je n'évoque pas gratuitement ces questions, car je souhaite que dans ta retraite de l'île d'Yeu, tu contribues à y donner réponse. Et que l'on te voie souvent au milieu de nous tous, militant incontesté et incontestable de notre avenir scientifique.

Evry SCHATZMAN

Observatoire de Paris

Le 28 juin 1988

Samedi 12 novembre 1988 - Une date à retenir

POURQUOI ?

Réponse page 39. Mais vous avez déjà deviné!

UN OUTIL D'APPRENTISSAGE CRITIQUE: LES MODELES A L'ECHELLE

Note de la Rédaction: Cet article est extrait de la revue "STARNews", éditée par l'équipe américaine du projet STAR (Science Teaching through its Astronomical Roots). L'équipe du CLEA qui a participé cet été au colloque de Williamstown sur l'Enseignement de l'Astronomie a noué des relations avec l'équipe STAR dont les objectifs et les méthodes nous ont paru très voisines de celle du CLEA. Nous aurons l'occasion de vous reparler de nos projets de collaboration.

En développant notre projet STAR, nous cherchons à établir nos diagnostics sur les idées fausses des étudiants: nous savons que les élèves ont un schéma opérationnel qui leur permet de comprendre leur monde, mais nous ignorons ce qu'il est. La confrontation de leurs idées fausses est la première étape dans l'acquisition de la connaissance scientifique, car c'est seulement en les confrontant que les élèves peuvent les modifier.

Nous avons commencé à identifier un grand nombre des idées fausses les plus répandues chez les étudiants en astronomie des High Schools (*i.e. nos lycées*) à travers un ensemble d'interviews et de tests. Par exemple, plus de la moitié des élèves pensent que les phases de la Lune sont provoquées par l'ombre de la Terre. Il ne sert à rien d'expliquer la cause des phases de la Lune, si l'on ne commence pas par régler le sort de cette idée fausse.

Nous pensons que la difficulté que rencontrent les élèves pour comprendre les phases de la Lune réside dans les carences fondamentales de leurs connaissances sur les échelles. La plupart des maquettes du système Soleil-Terre-Lune utilisées à l'école montrent que le Soleil est le plus grand et la Lune la moins grande et décrivent le mouvement de la Lune autour de la Terre et celui de la Terre autour du Soleil. Mais les rapports entre les dimensions et les distances dans ces maquettes ne reflètent pas la réalité; ils conduisent à une distorsion du sens de l'échelle.

En fait, si la Lune était à la fois aussi grande et aussi proche de la Terre que le montrent les modèles, l'ombre de la Terre serait une explication plausible des phases de la Lune, mais la pleine lune durerait deux semaines, la nouvelle lune une semaine et la lune serait éclairée partiellement pendant plusieurs jours. Il est particulièrement difficile d'éliminer des idées fausses provoquées par de mauvais modèles.

Il est intéressant - et aussi alarmant - de noter que ce problème n'est pas limité aux seuls élèves. Je commence souvent mes séances avec les enseignants en leur demandant s'ils ont une idée de l'échelle du système solaire. La plupart d'entre eux répondent positivement. Alors je leur demande: "quelle est sa dimension?", "Pouvez-vous voir les planètes? A quelle distance sont-elles?". Très souvent, quelqu'un me répond quelque chose du genre "Si le Soleil avait la dimension d'un ballon de basket, les planètes seraient réparties sur un terrain de foot." La réponse semble plausible, mais elle est fausse.

La Terre est à une distance de la Lune qui est approximativement 30 fois son diamètre et le Soleil est à une distance de la Terre qui est à peu près 100 fois son diamètre. Le diamètre de Pluton est 1/600 fois celui du Soleil et sa distance, en moyenne de 4200 diamètres solaires. Donc, si le Soleil avait la dimension d'une pièce d'un nickel (*environ la dimension d'une pièce française de 1 franc*), Pluton serait à l'extrémité du terrain de foot. Essayez!

Les modèles à l'échelle sont des outils puissants. S'ils disposent d'une connaissance opératoire des échelles, les élèves peuvent faire des mesures et des prédictions relativement précises. En outre, les maquettes à l'échelle conservent les dimensions angulaires.

Philip M. Sadler
Directeur du projet STAR

LA BONNE ETOILE DE JAMES BRADLEY

Transportons nous par la pensée en Angleterre au début du XVIII^{ème} siècle. Depuis presque deux mille ans, les astronomes connaissent le phénomène de la précession des équinoxes. Mais, depuis un siècle, changement profond de perspective. On sait, après Kepler, selon quelles lois les planètes décrivent leurs orbites elliptiques autour du Soleil. Galilée, Huygens et Cassini ont découvert les satellites de Jupiter et de Saturne avec ses mystérieux anneaux. Enfin Newton a parachevé la description du système solaire en fournissant une loi explicative des mouvements y compris cette précession : l'attraction du Soleil et de la Lune sur un supposé renflement de la Terre à l'équateur entraîne cette lente variation de l'axe de rotation terrestre dont la précession de l'équinoxe est en quelque sorte la manifestation annuelle.

D'autre part, le siècle qui vient de s'écouler a vu bien des inventions et perfectionnements, la lunette astronomique, le télescope, l'oculaire de Huygens, le micromètre à fils de Auzout, Crabtree et Gascoigne, l'utilisation de la lunette en géodésie grâce à la triangulation de Snellius. Enfin le perfectionnement des horloges par Huygens a permis à Römer de concevoir l'instrument méridien, l'instrument de base de l'astrométrie moderne.

Quelles peuvent être, dans ces conditions, les préoccupations principales des astronomes de l'époque ?

En France, l'Académie des Sciences agitée par la grande querelle des newtoniens et des cartésiens (l'attraction universelle ou les tourbillons), organisera pour les départager, les expéditions de Laponie et du Pérou. L'hypothèse newtonienne du renflement équatorial de la Terre se trouvera ainsi vérifiée.

En Angleterre, on restera fidèle à l'orientation des travaux astronomiques préconisée par Flamsteed lors de la fondation de l'Observatoire de Greenwich : améliorer la détermination des coordonnées équatoriales des étoiles en tirant tout le profit du perfectionnement des instruments. Peut-être même affiner suffisamment ces déterminations pour mettre en évidence leurs variations annuelles, autrement dit mettre en évidence l'existence de parallaxes annuelles au moins pour les étoiles les plus proches. Ambition légitime. L'histoire montrera que cette mesure était hors de la portée des instruments de l'époque, d'autant qu'on ignorait encore tout des mouvements propres d'étoiles. Mais il fut beau de tenter l'impossible puisque, comme je vais essayer de le montrer, cette audace permit à James Bradley, faute d'atteindre le but qu'il s'était fixé, de faire deux importantes découvertes.

Cependant, pour mieux comprendre les difficultés qu'il allait rencontrer et les raisons de son fructueux échec, revenons en arrière pour suivre Hipparque, deux siècles avant notre ère, et comprendre comment il découvrit la précession des équinoxes.

Du côté de chez Hipparque

Comment les anciens repéraient-ils les astres ? Bien sûr, ils ne disposaient pas de l'instrument méridien. Voici comment ils opéraient, dans la description qu'en donne André Danjon, à la page 79 de son "Astronomie générale" :

"Les Anciens ne déterminaient pas les positions absolues des étoiles à l'aide d'observations méridiennes. puisqu'ils ne possédaient pas d'horloges ; mais ils pouvaient, en mesurant des distances angulaires, rattacher une étoile au Soleil en prenant comme repère intermédiaire la

Lune ou la planète Vénus. Le rattachement de l'étoile à la Lune ou à la planète Vénus se faisait la nuit ou dans le crépuscule tandis que le rattachement de l'astre intermédiaire au Soleil se faisait le jour, compte tenu, cela va de soi, des déplacements survenus dans l'intervalle. Timocharis, puis Hipparque mirent en pratique l'ingénieuse variante de cette méthode que l'on va décrire.

Au cours d'une éclipse de Lune, le centre de l'ombre de la Terre occupe le point de l'écliptique diamétralement opposé au Soleil ; sa longitude $l_0 + 180^\circ$ est donc connue, si, comme c'était le cas des astronomes alexandrins, on possède une table du mouvement du Soleil. On conçoit que des mesures de distances angulaires faites au cours d'une éclipse de Lune permettent de déterminer la longitude céleste d'une étoile voisine de l'écliptique, en rattachant cette étoile au centre de l'ombre. Timocharis trouva ainsi 172° pour la longitude céleste de l'Epi de la Vierge, vers l'an 273 avant notre ère, tandis que, vers l'an 129 avant notre ère, Hipparque trouva 174° . Il en conclut à un déplacement relatif de l'équinoxe de 2° en 144 ans dans le sens rétrograde, par rapport aux étoiles. La longitude céleste de la même étoile était de $203^\circ 8'$ en 1950,0 soit une variation de 31° en 2222 ans ou de $50'',2$ par an en moyenne."

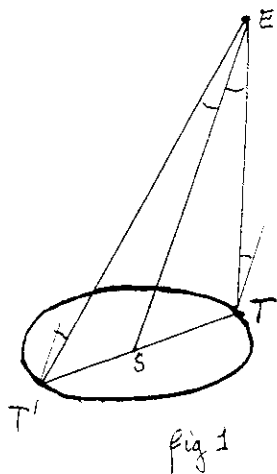
On comprend ainsi que sans lunette et sans horloge, Hipparque ait pu faire une découverte aussi importante et réussir une détermination aussi précise. Revenons maintenant en Angleterre à l'époque de Newton.

Du côté de Greenwich

===== Dès que Flamsteed obtient du roi d'Angleterre la fondation de l'observatoire de Greenwich, il se fixe un vaste programme de détermination des coordonnées équatoriales des étoiles. Selon des règles qui seront rigoureusement appliquées et feront la réputation incontestée de l'Observatoire tout au long des siècles suivants.

Flamsteed et ses aides disposent de l'instrument des transits, une lunette mobile dans le seul plan méridien (son axe est orienté Est-Ouest) associée à une horloge en temps sidéral. L'oculaire de la lunette est muni d'un micromètre à fil mobile. On applique la méthode dite de l'oeil et de l'oreille : l'observateur suit le déplacement de l'astre avec le fil mobile du réticule, il signale à son assistant l'instant où le fil mobile coïncide avec le fil fixe ; c'est l'instant du passage inscrit entre les battements réguliers de l'horloge (plus tard le micromètre à fil mobile sera relié à une horloge enregistreuse) ; l'observateur note la hauteur de l'astre au moment du passage.

Notons en passant qu'à la même époque, Jean Picard, à Paris, entreprenait des déterminations semblables sur la Polaire. Elles furent malheureusement interrompues par sa mort et Cassini ainsi que ses collaborateurs étaient plus intéressés par l'observation des planètes que par ces austères déterminations astrométriques.



Austères, certes, mais indispensables si l'on veut disposer d'une carte du ciel fiable. Indispensable aussi pour tenter de mesurer la parallaxe annuelle d'une étoile et par conséquent obtenir une évaluation de sa distance. Rappelons le principe de cette mesure : puisque la Terre décrit une ellipse (très peu différente d'un cercle) autour du Soleil, à six mois d'intervalle, elle occupe deux positions diamétralement opposées sur son orbite (fig1); la direction d'une étoile SE est vue de T selon TE, de T' selon T'E ; en passant de T à T' la direction de l'étoile est donc modifiée d'un angle 2α ; la mesure de α est appelée parallaxe annuelle de l'étoile E. Si a est la distance de la Terre au Soleil, on en déduit en principe la distance de l'étoile $SE = a/\text{tg}\alpha$.

On pouvait donc penser que la mesure de cet angle, tout en apportant une preuve observationnelle de la réalité du système héliocentrique, fournirait une première estimation d'une distance d'étoile. D'autant que les progrès dans la mesure de la parallaxe du Soleil avaient permis d'améliorer sensiblement la mesure de l'unité astronomique.

Nombreux furent donc les astronomes à tenter ces mesures. Hook, dès 1674, crut trouver une parallaxe de 15" pour une étoile du Dragon; c'était une erreur. Flamsteed, en 1689, n'eut pas plus de succès.

Pendant ce temps, Halley à Greenwich, La Hire et Cassini à Paris, comparaient les longitudes célestes données par Hipparque pour des étoiles du zodiaque avec les valeurs qu'ils mesuraient eux-mêmes. Ils en déduisaient une meilleure estimation de la précession annuelle soit 50" mais aucun résultat concernant les parallaxes stellaires. Halley trouva même un résultat déconcertant en comparant ses mesures avec les données de Hipparque pour les latitudes célestes de Sirius, de Aldébaran et d'Arcturus, il trouvait des différences qui ne pouvaient s'expliquer par une variation de l'obliquité de l'écliptique (celle-ci aurait entraîné accroissement des latitudes dans un hémisphère céleste, diminution correspondante dans l'autre - et ce n'était pas le cas). Halley dut en conclure qu'il venait de mettre en évidence des mouvements propres d'étoiles, ces astres réputés fixes. Notons en passant que Fontenelle, dans une conception du monde imprégnée de physique cartésienne - celle des tourbillons - avait peut-être pressenti le phénomène : "Comment les étoiles ne seraient-elles pas un peu flottantes dans ce grand liquide qui les contient, et qui est toujours en mouvement ?" On sait que ces mouvements propres stellaires joueront un grand rôle dans le choix des étoiles à parallaxes mesurables, mais ce sera beaucoup plus tard, en 1846, l'oeuvre de Bessel. En 1700, l'idée n'est pas mûre et l'instrumentation indispensable n'est pas encore disponible.

Pour réussir, là où Flamsteed a échoué, un astronome indépendant, Samuel Molyneux, installe dans sa propriété de Kew, près de Londres, un secteur zénithal de grand rayon (24 feet) orientable sur quelques degrés autour du zénith. Un jeune savant, James Bradley (1692-1762) qui depuis 1721 était professeur à l'Université d'Oxford, l'aide à préparer ses observations. Peu après le début de cette collaboration, Molyneux est appelé à de hautes fonctions auprès de l'amirauté britannique. Bradley se charge de poursuivre seul l'entreprise.

Du côté de Gamma Draconis

L'étoile Gamma du Dragon qui avait déjà été observée par Hook fut choisie par Molyneux et Bradley. On comprend facilement la raison de ce choix : à la latitude de Londres, l'étoile passe au méridien à moins de 7° du zénith, elle était donc observable avec leur instrument. Les observations zénithales présentaient d'autre part l'avantage d'échapper aux effets de la réfraction atmosphérique.

Les observations commencèrent en décembre 1725. Si la parallaxe était décelable, Bradley s'attendait à trouver l'étoile dans sa position la plus méridionale. Et bien, non, surprise, elle continua à s'éloigner dans cette direction jusqu'en mars 1726 ; son écart atteignait alors 20" par rapport à sa position moyenne ; et elle s'éloigna de 40" vers le nord jusqu'en septembre, pour s'écarter de nouveau vers le sud et retrouver un an plus tard, la première position observée.

Comment expliquer ce phénomène ? Il ne pouvait s'agir d'une parallaxe annuelle car celle-ci aurait donné un écart maximum vers le sud fin décembre lorsque la Terre est à son périhélie et redonner l'écart opposé en juillet lorsque la Terre est à son aphélie. D'autre part, il

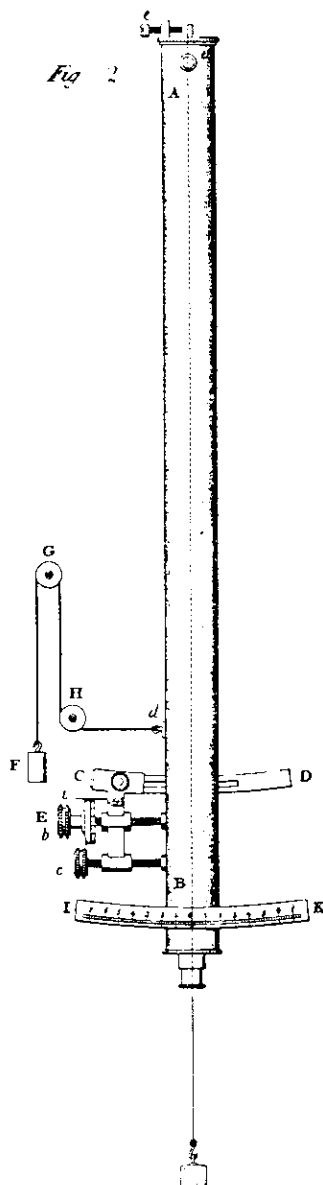


fig 2

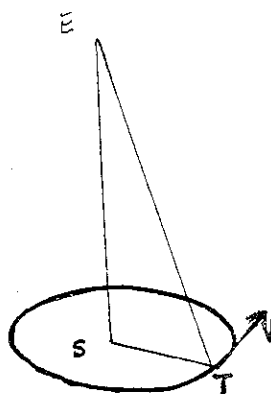


fig 3

était douteux que le phénomène fut particulier à Gamma Draconis. Bradley s'en assura en étendant ses observations à d'autres étoiles avec un secteur plus petit (distance focale 3,8 m) mobile sur un plus grand angle (6° de chaque côté du zénith). L'instrument construit par Graham, comportait un système de vis permettant le repérage de la direction visée à la précision de $2''$ près. C'est cet instrument que représente la figure 2 reprise du livre "Lunettes et Télescopes" par A. Danjon et A. Couder. Bradley constata en effet que toutes les étoiles observées subissaient la même déviation périodique de $20''$ d'amplitude.

En 1728, il trouva l'explication du phénomène, l'aberration de la lumière, pour reprendre sa propre expression. Nous pouvons la formuler dans notre langage : les photons en provenance de l'étoile nous parviennent à la vitesse de 300 000 km/s, ils sont reçus par la Terre qui se déplace autour du Soleil à la vitesse moyenne de 30 km/s. De même que la pluie qui tombe verticalement paraît glisser obliquement sur la vitre latérale d'une voiture en mouvement, il y a composition vectorielle des vitesses en direction. Vous retrouvez l'écart de $20''$.

La confusion entre effet de parallaxe et effet d'aberration de la lumière n'est pas possible. Pour une observation de l'étoile E à partir de la Terre T (fig 3), l'effet de parallaxe entraîne un écart de position dans la direction TS. Au contraire, l'effet d'aberration de la lumière s'obtient en composant le vecteur V de la vitesse de la Terre sur son orbite avec le vecteur vitesse de la lumière porté par ET et l'écart résultant avec la direction moyenne de l'étoile SE se situe donc dans une direction perpendiculaire à ST. Bradley ne s'y trompa pas.

Pour nous, la confusion est, peut-on dire, encore plus impossible. L'effet de parallaxe est d'autant plus faible que l'étoile est plus lointaine et nous savons depuis Bessel (1838, mesure de la parallaxe de 61 Cygni égale à $0'',30$) qu'une parallaxe stellaire est toujours très inférieure à la seconde d'arc.

Au contraire, l'effet d'aberration a la même amplitude pour toutes les étoiles puisqu'il dépend seulement du mouvement de la Terre. Bradley le vérifia. Au cours de l'année chaque étoile paraît décrire une ellipse de demi grand axe $20'',5$ et de demi petit axe $20'',5 \sin b$ où b est la latitude céleste de l'étoile, cette ellipse étant décrite avec une phase décalée de trois mois (TV est perpendiculaire à ST, cf fig 3) par rapport au mouvement apparent du Soleil. Et cette observation apporte une preuve éclatante du mouvement héliocentrique de la Terre. Imaginez combien Copernic et Kepler se seraient réjouis de la connaître. L'histoire a voulu que cette preuve arrive plus tard, à une époque où le système héliocentrique n'était plus guère contesté. C'est pourtant la première preuve observationnelle de la réalité du mouvement de translation de la Terre autour du Soleil.

Pour nous, qui venons après Bradley et Bessel, admirons la découverte et son analyse. Bradley n'avait pas réussi à mesurer une parallaxe stellaire, il aurait pourtant eu tort d'être déçu ; avec les instruments dont il disposait et alors qu'on soupçonnait à peine l'existence des mouvements propres stellaires, il ne pouvait déceler une parallaxe. Mais en tentant l'impossible, il sut découvrir ce qu'il ne soupçonnait pas. Belle leçon.

Gamma Draconis n'avait pas tout dit

Il était naturel qu'après avoir découvert l'aberration grâce à l'étoile Gamma du Dragon, Bradley continue à l'observer, ne serait-ce que pour vérifier l'effet découvert, de période annuelle, rappelons-le. Or il s'aperçut que, de 1727 à 1736 la position moyenne de l'étoile semblait la rapprocher du pôle céleste pour ensuite s'en éloigner. Cela méritait des observations suivies sur une longue période. Il lui paraît alors raisonnable d'interpréter ces changements par un déplacement périodique du pôle dont il conjecture que la période serait liée à la révolution des noeuds lunaires, soit 18 ans 224 jours. Il fait vérifier ses observations par Le Monnier et en 1745 il publie le résultat : la nutaton est une oscillation d'amplitude $18''$ de l'axe de rotation terrestre et de période 18,6 années qui se superpose à la précession.

Quant à la liaison avec la révolution des noeuds de l'orbite lunaire, c'est d'Alembert qui l'établit peu après, confirmant ainsi l'intuition de Bradley.

Bonne étoile ou bon astronome ?

Les découvertes de James Bradley ont l'intérêt particulier de bien mettre en évidence le lien entre perfectionnement technique des moyens d'observation et progrès des connaissances. L'étape suivante le confirmera : Bessel réussira à mesurer une parallaxe stellaire grâce à l'héliomètre de précision réalisé par Fraunhofer. Mais, bien sûr, le raffinement des instruments est une chose, encore faut-il qu'à l'oculaire il y ait un oeil capable de comprendre ce qu'il voit...

Il y a aussi les hasards de l'Histoire. Quand le roi d'Angleterre décida la fondation de l'Observatoire de Greenwich, il était plus préoccupé par l'aide que l'astronomie pourrait apporter à la sécurité de la navigation, en particulier dans la détermination des longitudes, que par ce qu'elle apporterait dans la connaissance du monde stellaire. Molyneux aurait-il su, aussi bien que Bradley, interpréter l'observation de Gamma Draconis ? Fut-ce une chance pour l'astronomie que Molyneux soit appelé à l'Amirauté ? Y aurait-il donc eu une heureuse conjonction entre les besoins de la marine britannique et l'avenir de l'astronomie ?

K.Mizar

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

Lumière et matière

une étrange histoire par Richard Feynman, traduit de l'américain par Françoise Balibar et Alain Laverne ; 208 p.; Interédition.

Ce livre reproduit quatre conférences de vulgarisation prononcées par Richard Feynman en 1983 à l'Université de Californie de Los Angeles. Une extraordinaire réussite comme seul sans doute était capable de la réaliser celui dont le physicien Wigner disait : "C'est un nouveau Dirac, humain cette fois." Les lecteurs français ont déjà pu connaître et apprécier les talents d'écrivain et de pédagogue de Feynman s'ils ont lu cette remarquable synthèse d'introduction "La nature de la physique" (collection Points-sciences n°23, éd Seuil) ou encore mieux "Le Cours de physique de Feynman" (interéditions) qui est un ouvrage de référence. Je mets à part cette sorte d'autobiographie, "Vous voulez rire, Monsieur Feynman!" qui raconte cette aventure extraordinaire d'un jeune bricoleur de génie newyorkais qui devient prix Nobel de physique en conservant cette forme d'humour et de confiance en soi qui caractérise sa personnalité.

Les traducteurs de "Lumière et matière" ont excellemment su conserver le ton des conférences de Feynman en nous donnant un texte très vivant. Nous connaissons déjà le talent de Françoise Balibar, soit par son merveilleux "Galilée, Newton lus par Einstein" (éd PUF) ou par le traité "Quantique" qu'elle a écrit avec Jean-Marc Lévy-Leblond.

Bref, Auteur et traducteurs nous permettent d'ouvrir avec confiance et espérance "Lumière et matière". Bien qu'ils nous avertissent : il s'agit d'une présentation forcément rapide - quatre conférences - d'une théorie capitale, l'électrodynamique quantique, qui heurte notre bon sens. Mais, pour Feynman, cette partie de la physique ne cesse de provoquer son émerveillement. Si bien qu'avec sa fougue, il parvient à nous faire partager son enthousiasme. Mais, comme on dit, il faut s'accrocher :

"Tout au long de ces conférences, je me suis plu à montrer que le prix à payer pour une théorie aussi précise était l'érosion de notre bon sens (c'est moi qui souligne, pas RF). Il nous faut accepter des comportements très étranges : le renforcement et la diminution des probabilités, la réflexion de la lumière par toutes les parties d'un miroir, la propagation de la lumière par d'autres chemins que la ligne droite, les photons qui vont plus ou moins vite que la vitesse conventionnelle de la lumière, les électrons qui remontent le cours du temps, les photons qui se désintègrent soudainement en une paire électron-positon... C'est à cela qu'il faut se résoudre si l'on veut apprécier ce que la Nature est vraiment en train de faire derrière presque tous les phénomènes que nous observons dans l'univers."

Dans son introduction, Feynman nous prévient qu'il ne traitera ni de la gravitation ni de la physique nucléaire (bien qu'à la fin du livre il ne puisse s'empêcher d'esquisser le sujet). Il préfère traiter de ce qui fait l'objet de sa jubilation, l'électrodynamique quantique (EDQ en abrégé), une théorie "absurde du point de vue du sens commun", mais, ajoute-t-il, "j'espère que vous accepterez la Nature telle qu'Elle est : absurde."

Il prend visiblement plaisir à exposer cette théorie, ce qui entre parenthèses est la bonne condition de réussite pour un vulgarisateur, mais sans se leurrer sur les difficultés. A plusieurs reprises, il se demande si son lecteur va comprendre et le rassure en lui affirmant que c'est absurde et qu'il n'y a donc pas à s'affoler de ne pas comprendre. Ce qui met le lecteur attardé que je suis en confiance ; car ce que mes lointaines leçons de physique m'avaient appris, c'était surtout la richesse des phénomènes ondulatoires, les équations de Maxwell et tout ce qui s'ensuit. Ici, au contraire, photons et électrons, grains de lumière et grains de

matière sont les acteurs toujours en scène qui savent bien sûr se déguiser en ondes à l'occasion mais qui sont grains d'abord.

L'étude de la réflexion de la lumière par une ou plusieurs surfaces nous initie à la méthode tout en nous donnant une magistrale explication de l'irisation des lames minces. Un calcul de probabilités par addition de vecteurs (vis à vis de ses auditeurs, Richard Feynman n'ose pas employer ce mot, il se contente d'ajouter des flèches) me remplit de joie.

Conférence n°2, les photons ; conférence n° 3, les électrons et leurs interactions. Le coeur du livre. Vous le lirez comme un roman mais attention, l'intrigue est assez savante. Je recommanderais volontiers la lecture suivante qui m'a été profitable : première lecture sans prendre de notes en se laissant entraîner par l'humour de R.F. ; relire le chapitre en prenant des notes ; éventuellement relire tout le livre si vous devez en faire un compte-rendu.

Pas question , par conséquent, de résumer le livre. Je préfère souligner quelques aspects de l'exposé qui m'ont particulièrement intéressé ; c'est très subjectif, je le reconnais. Que cela n'empêche pas d'autres lecteurs de dire ici ce qu'ils en pensent.

Suivre la marche d'un photon conduit ainsi à l'affirmation que la lumière ne se propage pas en ligne droite. Vous imaginez le choc pour un astronome, même amateur. Car si cette affirmation absurde (?) était vraie, il n'y aurait plus de repérage qui vaille, Orion se perdrait avec le Lion et les Poissons dans un ciel brouillé. Heureusement, quand il n'y a pas en route un seul photon mais une foule de photons, alors on retrouve la ligne droite et, en même temps, une démonstration du principe de Fermat qui avait fait notre étonnement et notre joie du temps où l'on nous initiait à l'optique géométrique, dioptries plans ou sphériques, caustiques et autres fariboles pour taupins de l'époque...

Une remarque historique en passant : "Il n'est pas sans intérêt de remarquer que les électrons ont d'abord eu, chronologiquement, l'apparence de particules et que leur aspect ondulatoire n'a été découvert que plus tard."(p.119). Alors que pour les photons, ce fut l'ordre inverse, si l'on ne tient pas compte des grains de lumière chers à Newton. J'aime assez le mot "apparence" de la phrase de Feynman. Il m'a longtemps fait rêver ou méditer si vous préférez.

Notre Auteur résume en trois séquences tous les phénomènes de la physique qui ressortissent de l'EDQ : 1°) un photon va d'un endroit à un autre ; 2°) un électron va d'un endroit à un autre ; 3°) un électron émet ou absorbe un photon. Pour lui, voilà toute la physique, la physique fondamentale, expliquée ou plutôt exposée théoriquement. A partir de quoi on peut développer ce qu'on appelle la physique des solides. Pour Feynman, il n'y a rien de plus pratique qu'une bonne théorie et l'EDQ est à coup sûr une bonne théorie.

La dernière conférence, "Questions en suspens", m'a paru moins convaincante. En particulier lorsque, contrairement à son intention première, il esquisse un exposé de physique nucléaire ; la grande valse des quarks, des gluons, des muons et des neutrinos, c'est merveilleux, mais, à mon avis, ici, presque trop.

Je suis pourtant persuadé que vous aurez plaisir à lire ce livre, à suivre cet Auteur, une personnalité fascinante et irritante peut-être mais qu'on regretterait de ne pas connaître, au moins par ses livres.

POUR L'ENSEIGNEMENT DE L'ASTRONOMIE

Pour répondre aux besoins des enseignants chargés de l'initiation à l'astronomie qui figure dans les programmes des collèges et des lycées, voici deux ouvrages dont l'édition arrive au bon moment.

"L'astronomie en questions et par la pratique" a été réalisé sous la direction de Jean Lacourt, René Vento et Gérard Vidal avec la collaboration de Martial Aude et Jean-Claude Desarnaud. Chaque chapitre contient une information complète qui répond aux questions que se posent naturellement les jeunes des collèges. Une deuxième partie propose des activités accessibles aux élèves, construction de maquettes et d'instruments, observations, etc. Un index et les réponses aux questions posées font de cet ouvrage un outil pratique très utilisable et qui porte la marque de ses auteurs qui ont la pratique de cet enseignement. C'est une édition du CRDP de Marseille, 168 p., 100 F.

"Ciel, mon option !" par Jacques Valade, professeur de mathématiques et le groupe astro du lycée Albert Camus de Lyon est destiné aux élèves de Terminale A. Une étude sans doute moins portée que la précédente sur les activités pratiques et plus orientée vers les problèmes généraux. A partir de la description des phénomènes de base, aborder la mesure du temps et comprendre les grandes synthèses classiques de Ptolémée à Copernic et de Kepler à Newton. C'est une édition du CRDP de Lyon, 100 p., 75 F.

Le CLEA ne peut que recommander ces ouvrages aux Collègues, tout en regrettant qu'aucun des deux ne cite les Cahiers Clairaut pour la documentation des enseignants.

L'ASTRONOMIE

par Michel Marcelin ; 224 p. ; éd CIL.

Ouvrage classique qui ne vise pas à l'originalité mais dont le sérieux fait qu'il peut être recommandé pour toutes les initiations. Après onze chapitres de présentation des objets et des problèmes, depuis le Soleil jusqu'à "Sommes-nous seuls dans l'Univers ?", l'Auteur, qui est un jeune astronome de l'Observatoire de Marseille, se souvient de ses débuts d'amateur ; il décrit donc 36 observations qui permettent à un débutant de prendre conscience de ses possibilités. S'il ne cherchait pas l'originalité l'Auteur a développé ici une très bonne idée. Je garde le livre sous la main pour le consulter souvent.

A TRAVERS LES REVUES

Galilée (BT 2 n° 206, édition de l'Ecole Moderne Française): une rédaction du groupe animé par Jeanine Chappelet à Nice. Rappels de la vie de Galilée et de ses travaux. Revoir Jupiter et ses satellites tels que Galilée les a découverts...

Sky and Telescope (avril 1988) : "Otto Struve, Scientist and Humanist" par Vladimir Kourganoff. Hommage à un astronome mort il y a 25 ans et dont les lecteurs de la revue américaine gardent certainement le souvenir. Les 152 articles qu'il écrivit spécialement pour cette revue, autant de remarquables monographies qui peuvent être relues avec profit.

RETOUR AUX SOURCES

Dans son aimable allocution à Jean-Claude Pecker, Evry Schatzman rappelait leur collaboration avec Paul Couderc pour 37 causeries radiophoniques diffusées en 1954. Elles ont été éditées sous le titre "L'Astronomie au jour le jour" (150 p., éd Gauthier-Villars). Si vous retrouvez ce volume, comme je viens de le dénicher dans ma bibliothèque, vous le relirez avec plaisir. Il était accompagné de quinze planches de photos et la dernière m'a toujours fait rêver : Edwin Hubble en train de régler le télescope Schmidt de Palomar...

G.W.

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE

A LA RECHERCHE DES FAIBLES MASSES : NAINES BRUNES ET PLANETES (?)

La série principale (SP) du diagramme HR des étoiles est également une séquence ordonnée suivant les masses des étoiles, selon l'interprétation de la théorie de la structure interne des étoiles. Ainsi les étoiles les moins massives peuplent le "bas" de cette SP avec les caractéristiques suivantes : faible luminosité, température superficielle inférieure à 3000K, couleur rouge, type spectral M7 à M9. Leur détection directe demande donc une grande sensibilité et doit s'effectuer dans l'infrarouge (l'énergie est émise essentiellement aux longueurs d'onde supérieure au micromètre).

Une étoile "cachée" peut aussi être décelée de manière indirecte par ses effets gravitationnels sur le mouvement d'une étoile lorsqu'elle fait partie d'un système binaire. Dans une telle situation la mesure du décalage Doppler-Fizeau des raies du spectre de l'étoile visible permet de suivre la variation de la vitesse radiale au cours du temps et de déterminer la période du système binaire et d'estimer à partir de l'amplitude de cette variation, la masse du compagnon invisible. Dans ce type d'approche il est essentiel de mesurer des vitesses radiales stellaires avec grande précision et de mettre en oeuvre un suivi des observations sur plusieurs années. Les progrès techniques de ces récentes années (haute résolution spectrale, télescopes infrarouges tel le 2,2m de l'université de Hawaii situé sur le site exceptionnel de Mauna Kea, cameras CCD infrarouges) ont permis à plusieurs groupes d'astronomes dans le monde de mettre en évidence des objets de très faibles masses. Ces résultats nouveaux ont été particulièrement discutés en août dernier à Baltimore (USA) lors de l'Assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale.

Au cours d'un programme systématique de recherche d'étoiles binaires entrepris depuis 7 ans par un groupe américain, 15000 vitesses radiales ont été mesurées pour 1500 étoiles et 80 orbites spectroscopiques ont déjà été obtenues. En particulier, l'étoile HD114762 de type solaire, située à 90 a-l appartient à un système binaire de période 84,17 jours avec une amplitude de variation de la vitesse radiale de 533m/s. L'objet associé pourrait avoir une masse de l'ordre de 10 fois la masse de Jupiter ou même moins; il pourrait alors peut-être s'agir d'une planète ... mais l'incertitude sur l'inclinaison de l'orbite permettrait une masse nettement plus élevée! Les mesures sont en excellent accord avec celles d'un autre groupe (Coravel) travaillant indépendamment à l'Observatoire de Haute Provence.

Un groupe d'astronomes canadiens utilisant une technique à très haute résolution sur 18 étoiles brillantes surveillées depuis plusieurs années a obtenu pour 9 d'entre elles un indice de compagnon possible dans le domaine de 1 à 10 fois la masse de Jupiter. Le seul cas où les observations ont couvert une durée bien supérieure à la période du système est celui de l'étoile gamma Cephei dont le compagnon aurait une masse de 1,6 fois la masse de Jupiter. Il s'agirait bien là, si la faible masse est confirmée, d'une planète extrasolaire. En effet Jupiter est la planète la plus massive de notre système solaire (mais seulement 1/1000 de la masse $M_{\odot}$ du Soleil) et l'on sait qu'il existe une masse limite maximum possible pour qu'un nuage de gaz en contraction gravitationnelle puisse constituer une planète; cette limite est de l'ordre de 3 fois la masse de Jupiter. Pour qu'un tel nuage puisse donner naissance à une étoile classique produisant sa propre énergie par fusion thermonucléaire de protons (ce qui nécessite une température centrale d'au moins 10 millions de K) la masse doit être supérieure à une limite de l'ordre de 0,075-0,09 $M_{\odot}$. Par ailleurs la théorie prévoit que pour un nuage de masse comprise entre 0,003 et 0,075 $M_{\odot}$, les effets quantiques deviennent prépondérants et conduisent à une structure d'équilibre constituée d'un gaz d'électrons complètement dégénéré, donc incompressible, avec une température centrale insuffisante pour enclencher la fusion thermonucléaire; un tel objet gazeux, dense et froid est appelé "naine brune"; il a une luminosité très faible et n'évolue pratiquement pas.

Plusieurs cas d'étoiles de très faible masse pouvant être des naines brunes ont également été révélés à partir d'imagerie infrarouge permettant de séparer spatialement une étoile et son compagnon. Un cas particulièrement prometteur est celui de l'étoile G1569 située à 34 a-l dont le compagnon situé à 5" (ce qui correspond à 50 unités astronomiques et à une période de l'ordre de 500 ans) apparaît beaucoup plus rouge et froid que les étoiles les moins massives connues jusqu'ici. Les observations photométriques faites à 2 ans d'intervalle confirment qu'il s'agit vraiment d'une étoile binaire; en effet l'image du compagnon a suivi sur le ciel le même mouvement propre (0"71) que l'étoile principale. A noter que le déplacement angulaire orbital serait de l'ordre de 0"13 pendant cette durée. Pour déterminer directement la masse de G1569B il faudrait observer une fraction significative de l'orbite et cela demandera plusieurs dizaines d'années...Cependant l'interprétation des données photométriques dans l'infrarouge est encore incertaine pour ces étoiles très froides dont le spectre est très affecté par les raies moléculaires et d'autres observations indépendantes montrent que G1569B pourrait bien être une étoile classique M7 ou M8.

La chasse aux objets de très faible masse est en plein développement et déjà il apparaît qu'il doit exister une population importante d'étoiles de masse de l'ordre de 1/10 $M_{\odot}$ et des naines brunes. Ces objets, s'ils étaient très nombreux pourraient expliquer la "masse cachée" de notre Galaxie.

L'ANNEE DES TREIZE LUNES

1. Le folklore lunaire

Par un étrange effet de synergie, la conjonction du nombre 13 et de la Lune possède le don magique d'impressionner certaines âmes sensibles. D'une part, elles révèrent ce nombre ou le redoutent et, d'autre part, elles attribuent à la Lune toutes sortes de pouvoirs et de maléfices, consacrés par un folklore abondant, copieusement répandu dans nos campagnes, riche en dictons anciens, aussi nébuleux que pittoresques. Cela va de la montée des salades à la pousse des cheveux jusqu'à la ruine des bois de charpente coupés de mauvaise lune. La référence révérencielle à la sagesse des ancêtres et à leur sens de l'observation est régulièrement invoquée comme un argument infaillible, qu'il serait inconvenant d'oser mettre en doute. On oublie pourtant que les Anciens, qui se montrèrent capables de mettre en évidence un phénomène aussi fin que la précession des équinoxes, bien avant le début de notre ère, n'eurent jamais l'audace, à quelques exceptions près peut-être, de considérer la Terre comme une planète parmi d'autres, jusqu'à Copernic.

C'est ainsi, par exemple, que certains adeptes du folklore lunaire évoquent sous forme d'insinuations prudentes - et pour cause - les "années de treize lunes" comme des années singulières dont on doit appréhender l'avènement. On ne sait pas trop ce qui les distingue des autres mais, en tout cas, elles bouleversent les saisons, si bien que s'il pleut à torrents ou s'il gèle à pierre fendre, c'est qu'une treizième lune a fait son apparition au cours de cette année calamiteuse. Il est bien connu, d'ailleurs, que la Lune vous détraque le temps au quart de tour même pendant les années ordinaires. Et n'allez pas dire qu'elle fait ses tours de la même manière, au même instant, sur toute la face de la Terre, sans qu'il y ait simultanément un changement général de temps sur tout le globe terrestre; cela n'est pas inscrit dans le folklore. Pauvre Lune, elle a bon dos, qu'elle exhibe sa phase gibbeuse ou qu'elle la dissimule !

Mais on peut quand même se demander, plus sérieusement, ce que sont vraiment ces années de lunes surnuméraires, chercher à prévoir leur venue, déterminer éventuellement leur loi de succession et apprécier ensuite leur singularité. En fait, il n'y a là qu'un banal problème de calendrier dont la solution aboutit, comme on le verra, à la conclusion quasi évidente a priori que l'occurrence d'une année de treize lunes constitue un événement très ordinaire, ne méritant d'autre mention particulière que celle que veulent bien en donner certains prophètes.

Néanmoins, c'est à cette question futile que sont consacrées les quelques lignes qui suivent...

2. La lunaison et l'année civile

Avant tout il faut rappeler qu'une lunaison est l'intervalle moyen de deux nouvelles lunes consécutives. L'observation assidue des astronomes de tous les temps lui attribue avec précision une durée de 29 j 12 h 43 m 45 s = 29,53038485 j. Cette donnée est fondamentale. En fait, les lunaisons, ou "lunes" sont très irrégulières, car elles peuvent s'étendre de 29 j 6 h à 29 j 20 h. Ne serait-ce que pour cette raison d'imprécision essentielle, la prévision des phases de la Lune ne peut être qu'approximative. Il convient de ne pas perdre de vue cette remarque par la suite. On ne peut donc pas prétendre pouvoir régler la question des treize lunes sans quelque incertitude, du moins à l'aide des seuls moyens que l'on va utiliser pour la résoudre.

La durée de treize lunaisons, soit $29,53038 \times 13 = 383,89494$ j, excède la durée moyenne de l'année civile de 18,6 jours à peu près. L'expression "année de treize lunes" ne peut donc être comprise que comme celle d'une année au cours de laquelle se produisent 13 nouvelles lunes (NL) ou 13 pleines lunes (PL). C'est le premier point de vue que nous adopterons. Mais, la durée de douze lunaisons, soit $29,53038 \times 12 = 354,36456$ j est inférieure à la durée moyenne de l'année civile de 10,88 j, soit environ onze jours pleins. Cette simple constatation est capitale pour la question qui nous occupe. Elle permet de prévoir qu'une année comporte à coup sûr 13 NL si la première NL de janvier a lieu dans la période qui va du 1^{er} janvier au 11 de ce mois, avec une incertitude cependant pour le jour qui clot cette période.

L'âge de la Lune. L'épacte grégorienne et les treize lunes

Par convention, l'âge de la Lune a pour valeur 0 le jour où elle est nouvelle. Cela dit, le problème que nous examinons conduit naturellement à déterminer d'abord l'âge de la Lune au 1^{er} janvier. Or, bien que les nouvelles lunes du comput ecclésiastique ne soient pas toujours en concordance de phase exacte avec la Lune vraie, son âge au 1^{er} janvier se détermine immédiatement, avec une précision acceptable au moyen de l'un des éléments de ce comput nommé l'épacte. Ce mot désigne l'âge de la Lune la veille du 1^{er} janvier ou, si l'on veut, l'âge de la Lune au 1^{er} janvier de l'année en cours diminué d'une unité. En raison de la durée d'une lunaison on convient que l'épacte peut prendre toutes les valeurs entières de 0 à 29 inclusivement. L'almanach des P.T.T. mentionne cette épacte au bas de la colonne réservée au mois de février, parmi les autres éléments du comput (nombre d'or, cycle solaire et indiction romaine).

Si l'on connaît l'épacte, il est facile de déterminer les NL de l'année et, en particulier, celles de janvier, c'est à dire, finalement de résoudre convenablement le problème des treize lunes. A ce point de vue, en effet, il suffit de chercher les valeurs de l'épacte qui situent la première NL de janvier dans la période déjà indiquée ci-dessus, du 1^{er} au 11 janvier;

Si cette NL a lieu le 1^{er} janvier, son âge, ce jour-là, est zéro, par une convention déjà citée précédemment. C'est à dire que l'épacte de l'année en cours a pour valeur 29. De même, si la première NL a lieu le 2 janvier, l'épacte vaut 28. Et ainsi de suite, jusqu'au 11 janvier où l'épacte vaudrait 19. Tout cela peut se résumer dans le tableau suivant :

date de la 1 ^{ère} NL de janvier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Epacte E	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19

En définitive, pour qu'une année soit une année de treize lunes il faut et il suffit, compte tenu des réserves d'imprécision inhérentes à ce problème, comme on l'a déjà dit, que son épacte vérifie la condition suivante :

$$19 \leq E \leq 29$$

L'annuaire du Bureau des Longitudes fournit une liste des épactes depuis 1582, date de la réforme grégorienne des calendriers, jusqu'en l'an 3300. Le remarquable ouvrage de Paul Couderc sur le Calendrier (Que sais-je, PUF, n°203) en donne également des tables très étendues ou, au moins, le moyen de les déterminer très rapidement.

4. Calcul de l'épacte

Avec un peu de patience on peut calculer l'épacte au moyen de la congruence suivante :

$$E = (11(a)_{19} + pe(c/3) + pe(c/4) + 8 - c)_{30}$$

qui est valable jusqu'en 4199 et où $(a)_{19}$ désigne la valeur du millésime a modulo 19, où $pe(c/3)$ et $pe(c/4)$ désignent le quotient entier de c , nombre des centaines du millésime a par 3 et 4 respectivement, E étant la valeur de la congruence définitive modulo 30. On pourra, à ce sujet, consulter l'excellent article de Roger Cuculière dans la revue "Pour la Science" de novembre 1986, n°109. Voici, d'ailleurs, quelques exemples de calcul pour quatre années récentes.

$a = 1976$; alors $c = 19$

$$E = (11 \cdot 0 + 6 + 4 + 8 - 19)_{30} = -1 = 29 \pmod{30}$$

L'épacte étant égale à 29, nous avons prévu que c'était une année de treize lunes. En effet, selon le calendrier des Postes, la première NL de janvier s'est produite le 1^{er} janvier 1976. La Lune vraie était donc en accord de phase avec la lune grégorienne.

$$a = 1981 ; c = 19 \quad E = (11 \times 5 + 6 + 4 + 8 - 19)_{30} = (54)_{30} = 24 \pmod{30}$$

Donc, selon nos prévisions, 1981 fut une année de treize lunes. En effet, le calendrier indique le 6 janvier pour la première NL de cette année, l'accord est excellent.

$$a = 1986 ; c = 19 \quad E = (11 \times 10 + 6 + 4 + 8 - 19)_{30} = 19 \pmod{30}$$

L'année 1986 a bien été une année de treize lunes, selon le calendrier, la première NL astronomique de janvier eut lieu le 10. Remarquons ici que le tableau du paragraphe 3 prévoyait la date du 11 (au lieu du 10) pour $E = 19$. Mais on a déjà envisagé, dans ce qui précède, la possibilité d'une incertitude, qui n'est d'ailleurs pas excessive.

$$a = 1987 \quad E = (11 \times 11 + 6 + 4 + 8 - 19)_{30} = 120 = 0 \pmod{30}$$

L'épacte égale à zéro s'écrit souvent ; en tout cas 1987 ne fut pas une année de treize lunes.

5. Tableau des années de treize lunes, de 1900 à 2000

En consultant l'ouvrage cité de Paul Couderc, on a le tableau suivant (à partir de celui des épactes) :

1900	19	38	57	<u>76</u>	95
1902	21	40	59	<u>78</u>	97
1905	24	43	62	<u>81</u>	2000
1908	27	46	65	<u>84</u>	
1910	29	48	67	<u>86</u>	
1913	32	51	<u>70</u>	<u>89</u>	
1916	35	54	<u>73</u>	92	

En consultant ma collection de calendriers, j'ai pu vérifier que les années soulignées dans ce tableau sont bien des années de treize lunes. En vertu du cycle de Méton, le reste du tableau en résulte ; on sait qu'au terme de ce cycle de 19 ans, les phases de la Lune doivent revenir aux mêmes dates. Les nombres inscrits dans les lignes horizontales s'y succèdent de 19 ans en 19 ans.

On voit que de 1900 à 2000, il y a 38 années de treize lunes et qu'elles se produisent tous les deux ou trois ans. Comme on l'avait annoncé, ce n'est pas un événement exceptionnel. Valait-il la peine de le calculer ? J'en doute, à moins qu'on ne s'intéresse à des problèmes de calendrier. Je n'entreprendrai donc pas la recherche des années de treize pleines lunes, ce qui n'est pas plus difficile mais tout aussi futile que le précédent. Il est vrai que si les mathématiques n'avaient traité que de problèmes sérieux, elles en seraient encore à leurs premiers balbutiements.

Nice, le 7 octobre 1987 (jour de PL)

Paul Perbost

Une journée de Deimosthène

Les observations des sondes Mariner et autres Viking n'ont révélé aucune trace de vie sur la planète Mars. En était-ce donc fini du rêve d'échanger des informations avec d'étranges petits hommes verts ? Peut-être pas, si nous en croyons la lettre suivante trouvée dans le courrier du CLEA :

Chers Amis Terriens,

Dans la solitude de mon observatoire d'Olympus Mons, je trouve plaisir et profit à lire les Cahiers Clairaut. Cela me dépayse en m'initiant à l'astronomie telle que vous, Terriens, la pratiquez. Permettez moi en retour de vous raconter certains de mes problèmes martiens.

Je me suis préoccupé, pour commencer, de définir une unité de temps martien à l'image de la vôtre pour que nos échanges - que j'espère fructueux - soient faciles. Je suis parti des données de votre Bureau des Longitudes :

révolution sidérale de Mars = 686,980 jt (ou jours terrestres) ;

durée de la rotation sidérale de Mars = 24,6231 ht (ou heures terrestres).

J'en ai déduit qu'en une révolution sidérale, Mars a fait :

$686,980.24 / 24,6231 = 669,5956$ tours sur elle-même ou 669,5956 jours sidéraux martiens. Négligeant l'existence d'une précession martienne, l'année solaire martienne comprend ainsi 670,5856 jSm (ou jours Solaires martiens). J'appelle jSm l'intervalle moyen de temps qui sépare deux passages successifs du Soleil dans mon méridien martien.

Ce jour Solaire martien a, pour vous les Terriens, la durée suivante : $686,980.24,6231 / 670,5956 = 25,224$ ht puisque, je vous le répète, je néglige la précession. Comme je divise mon jour Solaire martien en 24 heures martiennes, en copiant vos vieilles habitudes, vous avez l'équivalence : $24 \text{ hm} = 25,224 \text{ ht}$ ou $1 \text{ hm} = 1,051 \text{ ht}$ ou $1 \text{ ht} = 0,9515 \text{ hm}$

Quand j'observe mes satellites Phobos et Deimos, vous comprenez bien que c'est en temps martien. Leurs périodes sidérales sont

période sidérale de Phobos = $0,319.24.0,9515 = 7,2849 \text{ hm}$

période sidérale de Deimos = $1,262.24.0,9515 = 28,8183 \text{ hm}$

Si j'ai une tendance personnelle à m'intéresser à Deimos, vous devinez pourquoi, l'actualité me pousse aussi à m'occuper de Phobos, je lis vos journaux ! Et puis, les passages de Phobos dans mon ciel sont si divertissants. Depuis mon observatoire, je vois la sphère céleste faire un tour en $24,6231.0,9515 = 23,4289 \text{ hm}$ donc trois fois moins vite que Phobos. Celui-ci en profite pour se lever à l'Ouest, se coucher à l'Est, avec au moins trois passages par jour, des passages qui ne durent pas longtemps. Du fait que Phobos est à 2,76 rayons martiens du centre de la planète, j'observe Phobos, entre son lever et son coucher pendant :

$137,5.7,2849.23,4289 / 360(23,4289 - 7,2849) = 4,038 \text{ hm}$

Dites-moi si je me trompe.

Avec Deimos, au contraire, j'ai tout mon temps pour l'observer car entre son lever à l'Est et son coucher à l'Ouest, s'écoulent plus de deux jours :

$163,34.28,8183.23,4289 / 360(28,8183 - 23,4289) = 56,85 \text{ h}$

Là encore, dites-moi si je me trompe. Je vous le répète, toutes mes données sont celles du Bureau des Longitudes, sur Mars nous n'avons pas fait la Révolution et nous n'avons pas de Bureau des Longitudes.

Amitiés

Deimosthène

La chronique du CLEA - Le courrier des Lecteurs

L'assemblée générale du 12 novembre 1988

===== Une date à retenir. L'assemblée générale annuelle aura lieu comme de coutume à Orsay (bâtiment 450, amphi G3) de 10 h à 18 h . Elle devra se préoccuper de la gestion du CLEA et des Cahiers Clairaut et surtout d'être la bonne occasion de faire le point sur notre action en faveur de l'enseignement de l'astronomie : Universités d'été, stages, etc.. Sans oublier l'agrément de nous réunir dans le climat amical du CLEA.

De plus, cette année, nous sommes assurés de la participation de Cecilia Iwaniszewska de Toruń (Pologne) qui nous présentera un compte rendu du colloque international 1988 de Williamstown sur l'enseignement de l'astronomie ainsi que de Roland Szostak de Münster (RFA) qui nous montrera quelques unes de ses réalisations pratiques. Nous attendons également la participation de Nicoletta Lanciano. Bref, une large participation internationale.

La conférence de l'après-midi sera assurée par notre Présidente Lucienne Gouguenheim qui traitera le sujet d'actualité suivant : "Une nouvelle classe de galaxies superlumineuses dans l'infrarouge."

Rappelons que les membres du CLEA recevront en temps utile une convocation mais que tous les lecteurs des Cahiers Clairaut sont cordialement invités.

Note du secrétariat

===== La mention en page 3 de couverture des Cahiers des publications diffusées par le CLEA a entraîné un plus grand nombre de commandes qui n'ont pas toujours pu être servies avec toute la célérité souhaitable. En particulier quand il y avait rupture du stock d'exemplaires disponibles dans notre réserve de Meudon. Que les Collègues acceptent les excuses du secrétariat et pour toutes commandes ou réclamations qu'ils écrivent directement à Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD.

LES STAGES D'ORSAY

===== 1. ASTRONOMIE, DECOUVERTE DU CIEL

Ouvert à tous les enseignants. Douze séances, le mercredi de 14 h à 17 h à partir du 12 octobre 88

2. STRUCTURE INTERNE ET EVOLUTION DES ETOILES

Ouvert aux professeurs de mathématiques ou de physique des collèges et des lycées. Neuf séances, le lundi de 14 h à 17 h à partir du 23 janvier 1989.

Lieu : Laboratoire d'astronomie, bâtiment 470, Université Paris-Sud, 91405 ORSAY CEDEX

Animateurs Astronomes : Lucette Bottinelli, Jacques Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim
Enseignants : Martine Bobin, Jean-Luc Fouquet, Béatrice Sandré, Catherine Vignon, Gilbert Walusinski.

Pour tout renseignement écrire à Lucienne Gouguenheim à l'adresse ci-dessus. Joindre une enveloppe timbrée.

PARMI NOS LETTRES

===== - J.Fort (Paris) nous envoie la photocopie d'une page des "Récréations mathématiques et physiques" de Ozanam, ouvrage publié en 1778. Sous le titre "Problème XLI - Trouver l'heure du jour au moyen de la main gauche" nous retrouvons la description du cadran solaire avec la main que nos Collègues Jean-Paul Parisot et Françoise Suagher nous avaient donnée dans le Cahier N°42 (p.14). Merci à J.Fort de nous montrer ainsi que les bonnes idées font leur chemin à travers les siècles.

- Guy Legendre (Dunkerque) propose la question suivante : "en supposant que la Terre s'arrête de tourner autour du Soleil, combien de temps mettrait-elle à tomber sur lui ?"

- K.Mizar (St Cloud) "A des journalistes en mal de copie qui, cet été, trouvaient l'actualité trop calme, j'ai signalé le calme apparent des planètes : Mars était stationnaire le 26 août, Uranus le 5 septembre, Neptune le 18 et Jupiter le 24. Mais je les ai rassurés, les planètes ne s'arrêtent pas de tourner et nous profiterons de l'opposition de Mars le 28 septembre.

Le planétarium du Trégor

===== Plusieurs membres du CLEA, sur l'aimable invitation du Palais de la Découverte, ont participé à l'inauguration du planétarium du Trégor, le 17 juin 1988. Une belle réalisation dont les estivants, dans la belle région de Lannion Perros-Guirec auront sûrement profité.

Astronomie Super Star à Mulhouse

===== Une manifestation organisée à la Bibliothèque municipale de Mulhouse par le club astro de Wittesheim du 7 au 29 octobre 1988. Une exposition et un cycle de conférences
7 oct. L'astronomie chez les Maya par Gérard Jasniewicz.
14 oct. Raconte moi l'Univers par Bernard Gérard
21 oct. L'homme, fils des étoiles ? par Agnès Acker.
28 oct. La cosmogénèse : une création ? par Théophile Hammam.

Invitation évidemment à tous les lecteurs des Cahiers de la région.

UNE PAGE DE LALANDE

"La plus fameuse loi du mouvement des planètes découverte par Képler, est celle du rapport qu'il y a entre les grandeurs de leurs orbites, & le temps qu'elles emploient à les parcourir Jupiter est cinq fois plus éloigné du soleil que la terre, le contour de son orbite est cinq fois plus grand ; mais il met douze fois plus de temps que la terre à parcourir cette orbite qui est seulement cinq fois plus grande ; Képler chercha longtemps la cause de cette différence & la nature de ces rapports : il avait d'abord voulu rapporter les distances des six planètes aux corps réguliers, le cube, le tétraèdre, l'octaèdre, le dodécaèdre, l'icosaèdre ; ensuite à l'harmonie des corps sonores ; mais il ne trouvait aucun rapport satisfaisant entre les temps & les distances.

Ce fut le 8 mars 1618 qu'il lui vint à l'esprit pour la première fois, de comparer les puissances des différents nombres, au lieu de comparer les nombres mêmes qui exprimaient les temps périodiques des planètes & leurs distances ; il compara donc au hasard des carrés, des cubes, &c. il essaya même les carrés des temps avec les cubes des distances mais trop de vivacité ou d'impatience l'égarait dans quelque faute de calcul, il se trompa cette première fois ; il crut trouver que la règle n'avait pas lieu, & rejetta cette proportion comme fautive & inutile. Ce ne fut que le 15 de mai suivant qu'il revint à cette idée, en recommençant les mêmes essais et les mêmes comparaisons ; il calcula mieux, & il les trouva parfaitement d'accord ; alors enfin il reconnut qu'il y avait réellement toujours un rapport égal & constant entre les carrés des temps périodiques de deux planètes quelconques, & les cubes de leurs distances moyennes au soleil : il fut si enchanté de cette découverte, qu'à peine il se fiait à ses calculs ; il crut se faire illusion & avoir supposé ce qu'il fallait chercher il n'osait qu'à peine se persuader qu'il eût enfin trouvé une vérité cherchée pendant 17 ans. Qu'aurait-il dit, s'il eût pu prévoir les conséquences qu'on a pu tirer de cette loi ?"

Lalande Astronomie, tome II, p.18

Nous avons relu cette page en pensant à cette malheureuse candidate au baccalauréat interrogée sur cette troisième loi et qui avait réussi à écrire $a^3 / P^2 = Ct$ mais qui restait muette pour expliquer ce que signifiaient les lettres : a ? pas de réponse ; P ? "le poids".

Autre glane : au cours d'une émission de France-Inter sur le jardinage, cette savoureuse annonce : "Aujourd'hui commence la canicule parce que la planète Sirius entre dans la constellation du Grand Chien."

Comment s'étonner que l'été ait été pourri ?

Samedi 12 novembre 1988 - Une date à retenir

Vous savez déjà pourquoi puisque vous avez lu la page 39.

Publications du CLEA

LES COMPTES RENDUS DES UNIVERSITES D'ETE

Sont encore disponibles ceux de Digne 1978 (25 F), Grasse 1979 (35 F), Sophia-Antipolis 1982 (50 F), Grasse 1983 (58 F), Formiguères 1984 (65F), Formiguères 1985 (100 F), Formiguères 1986 (100 F).

FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAITRES EN ASTRONOMIE

1. L'observation des astres et le repérage dans l'espace et le temps (20F)
2. Le mouvement des astres (25 F)
3. La lumière messagère des astres (25 F)
4. Naissance, vie et mort des étoiles (25 F)
5. Renseignements pratiques et bibliographie pour l'astronomie (25 F)
- 5 bis. Complément au fascicule 5 (25 F)
6. Univers extragalactique et cosmologie (30 F)
7. Une étape de la physique : la Relativité restreinte (45 F)

LE TRANS-SOLUTE

Un "kit" qui permet de construire un TRANSPARENT animé montrant le SOLEIL, la LUNE et la TERRE ainsi que leurs mouvements relatifs. Réalisation J.Ripert et G.Fugilando (50 F)

LES CAHIERS CLAIRAUT, bulletin trimestriel du CLEA

Abonnement simple 1988 (n°41 à 44) : 60 F (soutien 80 F)

Cotisation simple au CLEA pour 1988 : 25 F

Abonnement et cotisation au CLEA 1988 (n°41 à 44) : 80 F (soutien 100 F)

Possibilité de s'abonner et de cotiser pour deux ans en doublant les tarifs

Prix des Cahiers Clairaut au numéro, l'exemplaire : 25 F

Collection complète des Cahiers (n° 1 à 40) : 420 F

A l'intention des nouveaux abonnés, onze fascicules ont été édités, ils réunissent par thèmes des articles publiés dans les Cahiers Clairaut. Le fascicule FI est un index des articles publiés. TOUT NOUVEL ABONNE reçoit en témoignage de bienvenue, cet index et un fascicule à choisir dans la liste suivante : FA. L'astronomie à l'école élémentaire ; FB. L'astronomie au collège ; FC. Construction d'une maquette ; FD. Construction d'un instrument ; FE. Réalisation d'une observation ; FF. Les potins de la Voie Lactée ; FG. Astronomie et informatique ; FH. Articles de physique ; FJ. Articles d'astrophysique ; FK. Histoire de l'astronomie ; FL. Interprétation d'un document d'observation.

Les commandes de comptes rendus, de fascicules ou des TRANS-SOLUTE ainsi que les abonnements, réabonnements ou cotisations sont à adresser au secrétaire du CLEA, Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST SAINT-CLOUD (tél (1) 47 71 69 09)

en joignant le chèque correspondant libellé à l'ordre du CLEA.

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim

Imprimerie HAUGUEL, 92240 Malakoff

Dépot légal : 1^{er} trimestre 1979 ; numéro d'inscription à la CPPAP : 61660

