

H.F. Duval  
Nepasempote  
SVP

# les cahiers clairesaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



N°76 - HIVER 1996-1997

ISSN 0758-234

## Le C.L.E.A. -

# 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 ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire. **En particulier, ils agissent dans le cadre de la formation initiale et continue des enseignants.**

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

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

## La liste des publications du CLEA

**figure en pages 3 et 4 de la couverture**

### Bureau du CLEA pour 1996

*Présidents d'honneur*

Jean-Claude PECKER

Evry SCHATZMAN

*Présidente*

Lucienne GOUGUENHEIM

*Vice-Présidents*

Agnès ACKER

Marie-France DUVAL

Hubert GIE

Jean RIPERT

Jacques VIALLE

*Secrétaires-trésoriers*

Catherine VIGNON

Gilbert WALUSINSKI

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

# LES CAHIERS CLAIRAUT

Hiver 1996-1997

|  | page |
|--|------|
| La constante de Hubble et l'âge de l'Univers .....       | 2    |
| Mettez votre planétaire à l'heure .....                  | 15   |
| Chronique du CLEA .....                                  | 16   |
| La mesure du temps III : l'invention de la seconde ..... | 22   |
| Les aurores vous parlent .....                           | 25   |
| Les Olympiades Astronomiques en Pologne .....            | 28   |
| Lectures pour la Marquise .....                          | 30   |
| Un calendrier perpétuel .....                            | 34   |
| Parmi nos lettres .....                                  | 39   |
| Le logiciel CLEASTRO .....                               | 40   |
| Les diapositives nouvelles vont arriver .....            | 40   |

## EDITORIAL

L'année qui s'ouvre sera la vingtième des Cahiers . Nous voudrions fêter cet anniversaire en donnant un caractère particulier au numéro 80. Nous voudrions qu'il soit, plus encore que les autres, l'expression de ses lecteurs : regards sur le passé (que les anciens nous disent ce qu'ils voulaient faire des Cahiers et du CLEA et pourquoi) et réflexion sur l'avenir (comment les jeunes enseignants les ressentent-ils, qu'en attendent-ils).

Comment voyons-nous aujourd'hui l'enseignement scientifique, avec quels objectifs, quelles méthodes, et pour quels élèves ? Comment percevons-nous, aujourd'hui, ce qui motiva les fondateurs du CLEA, sur les objectifs de cet enseignement et le rôle de l'astronomie ?

Dans sa conférence à l'Assemblée générale, que nous publions ci-après, Lucienne ouvre un débat : quelle compréhension du monde, quelle vision critique du discours des media, la science nous apporte-t-elle ? Quelle place, les éducateurs que nous sommes, pensent-ils devoir donner à la formation de l'esprit, dans le contexte angoissant du chômage où l'Ecole est fortement critiquée de ne pas apporter avant tout une formation professionnelle, mais aussi dans celui d'un monde qui perd ses repères ?

Alors que le CLEA commence à être bien connu par le matériel pédagogique qu'il élabore et diffuse, le nombre des lecteurs des Cahiers stagne ou diminue : nous attendons vos commentaires sur le contenu des CC. Que développer ou créer ? Et quelles bonnes volontés pour le faire ?

Que ces interrogations sur l'avenir ne nous fassent pas oublier de remercier tous ceux qui, une nouvelle fois, ont contribué au présent numéro : Cécile Iwaniszewska, Michel Toulmonde, l'infatigable Gilbert, sous ses différentes casquettes ; tous ceux qui ont fait la richesse de l'Assemblée du 17 novembre, tous les membres du GRP, qui ont travaillé cet été sur une appropriation intelligente d'Internet, et plus particulièrement Josée Sert et Josette Ueberschlag pour leurs présentations à l'AG ; Jean-Paul Rosenstiehl et Daniel Toussaint pour avoir illustré une nouvelle fois la richesse qu'une observation, même simple, porte en elle.

Pour terminer, un regret : dans le numéro précédent, nous avons omis les signatures de Francis Berthomieu et Christian Larcher, responsables de l'expérience AOL : "détermination de la distance Terre-Lune par une méthode parallactique. Qu'ils veuillent bien nous excuser.

La Rédaction

# LA CONSTANTE DE HUBBLE ET L'AGE DE L'UNIVERS

## PRELIMINAIRE

En commençant cet exposé, je voudrais évoquer l'objectif essentiel poursuivi par le CLEA : contribuer à la **formation de l'esprit scientifique**, à travers une science particulière, l'astronomie, qui, autant par son objet que par ses méthodes propres, ou encore l'intérêt qu'elle suscite, nous semble particulièrement adaptée.

Beaucoup plus que sur la simple diffusion d'un ensemble de connaissances, nous en avons tous la conviction au sein du CLEA, l'enseignement scientifique porte (ou devrait porter...) en premier lieu sur les méthodes. La façon dont le scientifique appréhende le monde est l'un de nos **modes de connaissances** ; et il est le bien commun de tous. Enseignants et chercheurs, nous avons le devoir de le rendre accessible au plus grand nombre. Ce travail d'appropriation est lent et doit se faire sans complaisance. Je suis convaincue qu'il relève de la responsabilité des enseignants mais aussi de celle des chercheurs, dont on attend qu'ils exposent et rendent intelligibles les résultats de leur travail.

Enseignants, nous mettons l'accent sur la méthode expérimentale, sur la démarche historique, sur le décloisonnement des disciplines et le travail en équipes pédagogiques, sur la variété des méthodes didactiques, comme par exemple l'utilisation du travail manuel comme moyen d'accès à un savoir abstrait.

Aujourd'hui, c'est en chercheur que je m'adresse à vous. Je vais présenter des résultats de travaux récents, qui portent sur un domaine particulièrement fascinant, et dans lequel je travaille, celui de la cosmologie : quelles contraintes sur l'âge de l'Univers et sur les "modèles cosmologiques" apportent les déterminations récentes de la "constante de Hubble", déterminations qui reposent elles-mêmes sur des mesures de distances ?

Les media l'abordent régulièrement, sous un titre accrocheur (et pour le moins étonnant !) régulièrement repris : "l'Univers est-il plus jeune que ce qu'il contient ?". Ils le font généralement à l'instigation de chercheurs soucieux d'assurer soit leur propre publicité, soit celle de coûteux instruments dont ils veulent justifier le financement. La façon ultra-simplifiée dont ces résultats sont présentés, me semble à peu près totalement dépourvue de signification, parce qu'elle expose **une** mesure, présentée comme spectaculaire, interprétée dans le cadre d'un **modèle implicite** sous-jacent, et sensée apporter la réponse définitive au problème étudié. Elle nous conduit à réfléchir à ce qu'est la démarche de la science, qui repose sur une succession de modèles (qui n'épuisent jamais la complexité du réel) et dépendent d'un **ensemble de paramètres**. En isoler un et un seul, me semble opacifier complètement la démarche. Une part de l'incompréhension du monde dans lequel nous vivons me semble relever des tentatives d'interprétation reposant sur l'exhibition **du seul paramètre** sensé être la cause du phénomène considéré (les taux d'intérêt élevés présentés comme **la cause** du chômage me semble parfaitement illustrer la vanité d'une telle conception). **On ne peut éviter la complexité** ; mais on ne doit pas s'en effrayer, il est possible de la comprendre, puis de la surmonter, à condition d'accepter un certain effort.

Je voudrais, dans l'exposé qui suit, expliciter ce propos.

## LES MODELES COSMOLOGIQUES ET L'AGE DE L'UNIVERS

Depuis qu'Einstein a développé la théorie de la Relativité générale et que les observations rassemblées par Edwin Hubble ont montré que les spectres des galaxies sont pratiquement tous décalés vers les grandes longueurs d'onde (soit vers le rouge, dans le domaine visible), on dit que l'Uni-

vers est en expansion. Le modèle sous-jacent à cette description est celui bien illustré par Béatrice Sandré, qui a cousu une succession de boutons sur une bande élastique ; la bande est un modèle (à une seule dimension) de l'Univers ; les boutons représentent les galaxies. Quand on tire sur l'élastique, ce qui simule l'Univers en expansion, les boutons-galaxies s'éloignent les uns des autres, tout en restant immobiles dans l'élastique-Univers. Un observateur situé sur l'un quelconque des boutons verrait tous les autres s'éloigner de lui. Du fait de cette expansion de l'Univers lui-même, et bien que les galaxies soient (en première approximation) immobiles, leur spectre présente un décalage vers les grandes longueurs d'onde, dû à ce que la période d'une onde émise est perçue plus longue, la distance entre l'émetteur et l'observateur, et en conséquence la durée de parcours du signal lumineux, ayant augmenté pendant la durée de cette période ; par abus de langage, puisque la galaxie est en fait immobile, on parle d'une "vitesse cosmologique"  $V_{\text{cos}}$  de la galaxie, identifiée au paramètre vitesse radiale  $V_r$ , déduite de l'utilisation formelle de la relation Doppler-Fizeau:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V_r}{c}$$

écrite ici dans le cas non relativiste où  $V_r$  est très inférieure à la vitesse  $c$  de la lumière.

La constante de Hubble fixe le taux d'expansion de l'Univers ; à l'époque actuelle, notée  $t_0$ , elle s'exprime en fonction de la vitesse cosmologique et de la distance  $d$  de la galaxie par la relation :

$$H_0 = \frac{V_{\text{cos}}}{d}$$

On a pris l'habitude, depuis Hubble, d'exprimer  $V_{\text{cos}}$  en  $\text{km s}^{-1}$  et  $d$  en Mpc ( $1\text{Mpc} = 10^6$  parsecs) et donc  $H_0$  en  $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ . Cependant,  $H_0$  a la dimension de l'inverse d'un temps. On appelle "temps de Hubble" son inverse,  $t_H = 1/H_0$ . C'est l'âge qu'aurait l'Univers si l'expansion s'était effectuée toujours au même rythme (Figure 1).

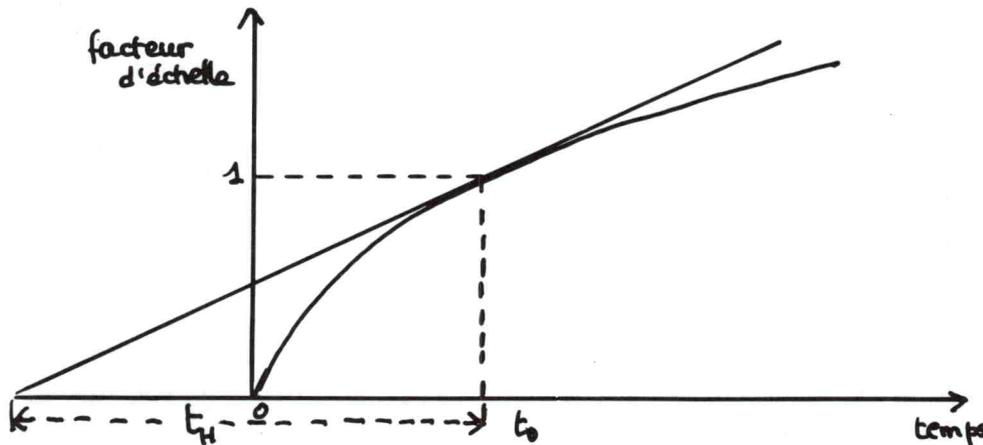


Figure 1 : Variations du facteur d'échelle de l'Univers (qui mesure la distance entre deux galaxies et qui est pris égal à 1 à l'époque actuelle) en fonction du temps. L'âge actuel  $t_0$  de l'Univers est la durée qui nous sépare du moment où le facteur d'échelle était nul (big bang). Dans les modèles de Friedman, la courbe conserve toujours sa concavité vers le bas et  $t_0 < t_H$ . C'est seulement dans les modèles à constante cosmologique non nulle que la concavité de la courbe peut s'inverser au cours du temps, ce qui entraîne  $t_0 > t_H$ . C'est le cas des modèles de Lemaître. La constante cosmologique se comporte comme une interaction répulsive qui provoque à un moment donné une accélération de l'expansion.

Les modèles cosmologiques reposent sur un certain nombre d'hypothèses. Les plus simples supposent qu'à grande échelle l'Univers est **homogène et isotrope**. Cette propriété semble vérifiée dans l'état actuel de nos connaissances, à une échelle assez grande, qui dépasse celle des superamas. Ces modèles homogènes sont caractérisés par trois paramètres : la valeur actuelle de la **constante de Hubble**,  $H_0$ , la valeur actuelle du **paramètre de densité** de l'Univers,  $\Omega_0$ , qui est le rapport de la masse volumique moyenne actuelle de l'Univers  $\rho_0$  à la valeur dite "critique"  $\rho_c$  de cette masse volumique [celle qui sépare un modèle d'Univers en perpétuelle expansion ( $\rho < \rho_c$ ) d'un modèle d'Univers destiné à se contracter à partir d'un certain temps ( $\rho > \rho_c$ )] et la **constante cosmologique**,  $\Lambda$ . Dans les modèles à constante cosmologique nulle, appelés "modèles de Friedman", l'expansion se ralentit régulièrement au cours du temps ; il en résulte que, dans ces modèles, l'âge  $t_0$  de l'Univers est toujours inférieur au temps de Hubble,  $t_H$ . Un modèle de Friedman est donc caractérisé par deux paramètres,  $H_0$  et  $\Omega_0$ ,

On considère souvent le modèle de Friedman particulier, appelé "modèle standard" dont la densité a la valeur critique (le paramètre de densité  $\Omega_0$  est donc fixé égal à 1). Dans ce modèle particulier, l'âge  $t_0$  de l'Univers est égal aux deux tiers du temps de Hubble :

$$\text{modèle standard : } \Omega_0 = 1 ; \Lambda = 0 ; t_0 = \frac{2}{3} t_H$$

Le tableau 1 ci-dessous donne des exemples de valeurs du temps de Hubble  $t_H$  et de l'âge  $t_0$  de l'Univers, pour différentes valeurs de la constante de Hubble. C'est la comparaison de cette dernière valeur  $t_0$  à l'âge des objets les plus vieux que l'on connaisse qui fixe une limite supérieure acceptable de la constante de Hubble, dans le cadre du modèle cosmologique choisi : à savoir le modèle standard (à un seul paramètre libre). Si l'on se place dans le cas d'un modèle de Friedman plus général, la comparaison doit porter sur le temps de Hubble  $t_H$ .

Les plus vieux objets connus sont des amas globulaires d'étoiles, dont l'âge est évalué à partir des modèles de structure interne : on le fixe actuellement à  $(14 \pm 2) 10^9$  ans.

|   |     |     |      |      |      |
|---|-----|-----|------|------|------|
| $H_0$<br>( $\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ ) | 500 | 100 | 80   | 70   | 50   |
| $t_H$<br>( $10^9$ ans)                          | 2   | 10  | 12,5 | 14,3 | 20   |
| $t_0$<br>( $10^9$ ans)                          | 1,3 | 6,7 | 8,5  | 9,5  | 13,5 |

Tableau 1

La valeur  $H_0 = 500$  est donnée ici à titre historique : c'est celle qu'avait déterminé Hubble vers 1930. On voit qu'elle est incompatible, dans tout modèle de Friedman, avec l'âge de la Terre. Les déterminations actuelles de  $H_0$  se situent dans la fourchette 50 - 100. On comprend donc l'ampleur du problème posé, puisque, à l'intérieur de cette fourchette, les valeurs élevées sont incompatibles avec l'âge des plus vieilles étoiles. Nous voyons en particulier que le modèle standard implique une valeur de la constante de Hubble de l'ordre de 50 ; la valeur 70 y est exclue dans la fourchette d'incertitudes sur  $t_0$ .

### COMMENT DETERMINER LA VALEUR DE $H_0$

La détermination de  $H_0$  est simple dans son principe : il suffirait de mesurer d'une part la vitesse cosmologique  $V_{\text{cos}}$  et d'autre part la distance  $d$  d'une galaxie pour en déduire  $H_0$  qui est le rap-

port de ces deux quantités. Cette détermination nécessite donc des mesures de **vitesse radiales** et des mesures de **distances**. Les mesures de vitesses radiales reposent sur l'effet Doppler-Fizeau que ces dernières provoquent dans le spectre de raies des galaxies ; les mesures de distance sur des critères qui permettent de deviner la luminosité  $L$  (puissance totale rayonnée) d'une étoile de la galaxie (ou de la galaxie elle-même), que l'on compare à la valeur apparente de cette luminosité (éclat apparent  $E$ ). Si la lumière ne subit aucune interaction sur son parcours (mais cette hypothèse est loin d'être vérifiée, et l'extinction subie par le rayonnement sur son parcours doit faire l'objet de délicates corrections) :

$$E = \frac{L}{4 \pi d^2}$$

Dans l'échelle des magnitudes, où  $E$  est mesuré par  $m$  et  $L$  par  $M$ , cette relation devient

$$m - M = 5 \log d - 5 = \mu \quad (\text{où } d \text{ est exprimé en parsec)}$$

Les **mesures de distances** reposent donc sur des étalons dont la luminosité est connue, et qui sont identifiables par des propriétés accessibles à l'observation ; on les appelle parfois des "chandelles standard". [En gros, on mesure l'éclat apparent  $E$  d'une ampoule électrique et on lit à **distance** l'indication " $L=100 \text{ W}$ " portée sur elle.]

La calibration de la luminosité d'une "chandelle" repose sur son observation dans notre propre Galaxie, et sur des distances stellaires, qui ne sont connues avec précision qu'assez près de nous. D'un autre côté, il est intéressant que ces chandelles soient intrinsèquement très lumineuses, car on pourra les observer dans une galaxie extérieure, à de grandes distances. Malheureusement, les étoiles intrinsèquement lumineuses sont très rares (ce sont des étoiles à relativement très courte durée de vie ; il y en a donc peu "en vie" à chaque instant). Elles sont donc, statistiquement, absentes d'un volume d'espace trop petit, et donc en particulier du voisinage immédiat de notre système solaire : nous ne disposons donc pas d'une très bonne calibration de leur luminosité, parce que nous ne connaissons pas suffisamment bien leur distance.

La **détermination de la vitesse cosmologique** se fait à partir du spectre de la galaxie, dont le décalage des raies par rapport au spectre de référence fournit la composante de vitesse radiale globale. Si la galaxie est animée par rapport à l'observateur d'une vitesse particulière  $V_{\text{part}}$  (qui peut résulter d'un mouvement aléatoire et/ou d'un mouvement d'ensemble), on mesure :

$$V_{\text{rad}} = V_{\text{cos}} + V_{\text{part}}^r$$

où  $V_{\text{part}}^r$  est la composante radiale de  $V_{\text{part}}$ . Dans le "modèle" de l'élastique on peut imaginer les boutons cousus avec un grand pied qui leur permet de se déplacer légèrement par rapport à leur point de fixation. Faute de connaître ces mouvements particuliers, on s'adresse à des galaxies suffisamment éloignées pour que la composante particulière de leur vitesse soit négligeable devant la composante cosmologique.

Voilà donc une première difficulté du problème : pour éliminer les mouvements particuliers, c'est-à-dire pour qu'il soit licite d'assimiler la vitesse radiale observée à la composante cosmologique, on doit s'adresser à des galaxies suffisamment éloignées. Par contre, on ne mesure avec précision que les distances de galaxies assez proches, de telle sorte qu'on puisse y observer les étoiles chandelles individuellement et mesurer leur éclat apparent avec précision.

Beaucoup de travaux se sont développés dans ce domaine au cours des 20 dernières années ; il est irritant que leurs conclusions nous laissent toujours dans la même incertitude :  $H_0$  dans la fourchette 50 - 100. Est-ce à dire que nous nos connaissances n'ont pas progressé, alors que nos moyens d'observation (télescopes et systèmes récepteurs) l'ont fait, d'une façon spectaculaire ?

En réalité, c'est notre connaissance des mouvements particuliers des galaxies qui s'est profondément modifiée : alors qu'on ne connaissait aux galaxies, dans les années 1970, que des mouve-

ments aléatoires, d'intensité au plus égale à  $50 \text{ km s}^{-1}$ , on a mis en évidence des mouvements particuliers d'ensemble (c'est-à-dire que des galaxies, localisées dans la même région du ciel, sont animées de vitesses similaires, dirigées dans la même direction) pouvant atteindre plusieurs centaines de km par seconde (700 ou 800). Cette découverte est fondamentale pour la cosmologie, puisqu'elle révèle la présence de grandes concentrations de masses, responsables de ces mouvements. Mais elle complique aussi beaucoup le problème de la détermination de  $H_0$  : on doit s'adresser à des galaxies beaucoup plus éloignées que ce qu'on croyait, pour qu'il soit licite d'assimiler la vitesse radiale mesurée  $V_r$  à la vitesse cosmologique  $V_{\text{cos}}$ , ce qui suppose que la composante radiale de la vitesse particulière soit négligeable devant  $V_{\text{cos}}$ . Ainsi, à mesure que les progrès techniques permettaient d'étendre (par un facteur de l'ordre de 10) la profondeur des mesures de distances, la découverte de l'importance des mouvements particuliers repoussait d'un facteur similaire la valeur de la distance à partir de laquelle la mesure de  $H_0$  est possible : au total, on n'a rien gagné !

Je me bornerai dans ce qui suit à mentionner 3 des critères de distance qui sont les plus utilisés : la relation période-luminosité-couleur des étoiles variables céphéides, la luminosité des supernovae de type Ia à leur maximum d'éclat et la relation "Tully-Fisher". Ils sont appliqués à deux catégories : les galaxies de l'amas de la Vierge et des échantillons profonds de galaxies isolées.

## LA DISTANCE DE L'AMAS DE GALAXIES DE LA VIERGE ET LA DETERMINATION DE $H_0$

Un amas de galaxies étant constitué de galaxies situées toutes à la même distance, et animées de la même vitesse cosmologique, il devrait permettre de déterminer la valeur de la constante de Hubble avec une plus grande précision : on applique la relation d'expansion de l'Univers,  $V_{\text{cos}} = H_0 \langle d \rangle$ , où  $\langle d \rangle$  est la valeur moyenne des distances individuelles, supposées toutes égales entre elles, aux erreurs de mesure près (et en négligeant l'effet de profondeur dans l'amas), et où  $V_{\text{cos}}$  est la valeur moyenne des vitesses radiales des galaxies de l'amas. L'amas de galaxies le plus proche de nous est situé dans la direction du ciel délimitée par la constellation de la Vierge.

Récemment, le télescope Canada-France-Hawaï de 3,6 m, puis le télescope spatial Hubble ont permis d'observer des étoiles variables céphéides dans deux galaxies spirales de l'amas de la Vierge, respectivement NGC 4571 et M 100 ; ce sont les galaxies les plus éloignées dans lesquelles cette mesure ait été effectuée à ce jour.

### Le critère de distance lié aux céphéides

Les céphéides sont des étoiles dans les régions externes desquelles s'instaure un régime de pulsations périodiques : au cours de la phase de contraction, la température des régions superficielles s'élève, ce qui conduit à un accroissement de la luminosité ; puis lui succède une phase d'expansion, pendant laquelle la température et donc la luminosité décroissent ; on considérera dans ce qui suit une valeur moyenne de cette luminosité, entre son maximum et son minimum, caractérisée par la magnitude absolue médiane  $\langle M \rangle = (M_{\text{max}} + M_{\text{min}})/2$ .

Les modèles théoriques de structure interne des céphéides expliquent que la période  $P$  des pulsations est reliée à la luminosité moyenne de l'étoile, correspondant à tout le domaine spectral ; l'observation la caractérise par sa magnitude absolue médiane  $\langle M \rangle$  mesurée dans un domaine limité de longueur d'onde, sélectionné par un filtre, et sa couleur  $C$  (caractérisée par la différence des magnitudes apparentes mesurées dans deux bandes spectrales différentes, par exemple  $C = (B-V)$  ou  $(V-I)$  (cf. ci-dessous). On note  $f(P, \langle M \rangle, C)$  cette relation qui joue le rôle de critère de distance : en effet  $P$  et  $C$  peuvent se déduire de la simple observation à distance, et la relation  $f$ , une fois calibrée sur des étoiles de distance connue, permet de "deviner"  $\langle M \rangle$  ; il suffit alors de mesurer la magnitude

apparente médiane  $\langle m \rangle$  pour en déduire le module de distance  $\mu = \langle m \rangle - \langle M \rangle$ . La relation  $f$  est telle que plus l'étoile est intrinsèquement lumineuse, plus sa période est élevée. En fait, bien qu'il n'y ait qu'une seule relation théorique entre la période, la couleur et la luminosité totale de la galaxie (intégrée sur toute la bande spectrale), il y a autant de relations  $f(P, \langle M \rangle, C)$  que l'on choisit de bandes passantes pour mesurer  $\langle M \rangle$ .

Dans le cas de  $\delta$  Céphée, qui est le prototype de cette famille, la température observée varie entre 5000 et 6000 K. La figure 2 montre la localisation dans le diagramme magnitude-couleur des céphéides de différentes périodes et l'effet de la couleur  $C = (B-V)$  qui élargit la bande du diagramme où sont localisées les céphéides.

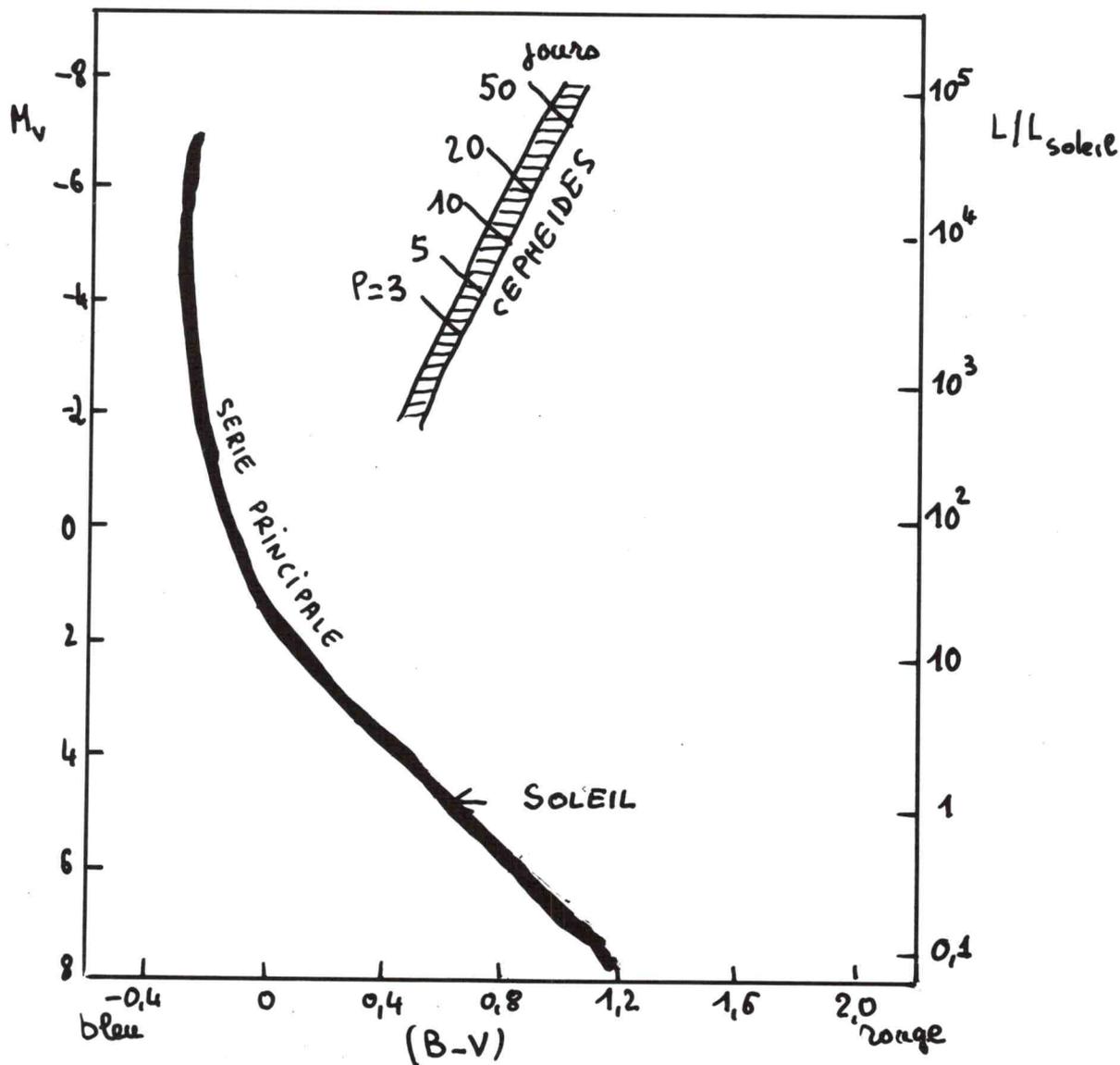


Figure 2 : Diagramme couleur-magnitude des étoiles. En abscisse l'indice de couleur (B-V) et en ordonnées la magnitude absolue (à gauche) et la luminosité, exprimée en unité de la luminosité solaire (à droite). La plupart des étoiles sont sur la série principale. Les céphéides occupent la zone hachurée : on a indiqué leurs périodes. On voit que des céphéides de même période n'ont pas la même luminosité (moyenne) si leurs couleurs sont différentes ; on voit aussi que les céphéides sont d'autant plus lumineuses que leur période est plus grande.

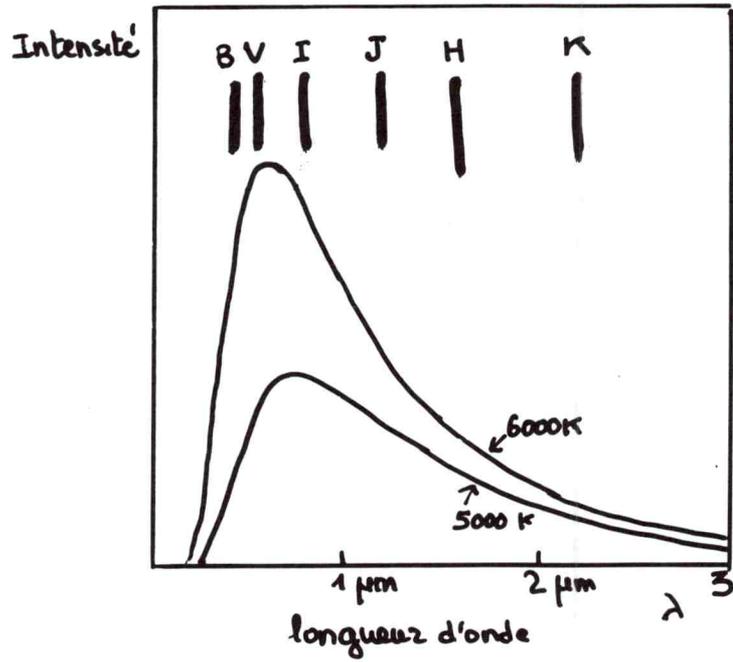


Figure 3 : Au cours du cycle des pulsations la température effective de la céphéide passe de 5 000 à 6 000 K. On a représenté les variations d'intensité du corps noir correspondant, en fonction de la longueur d'onde, ainsi que les centres des différents filtres utilisés. On voit que B, V et I sont proches des maxima des courbes, donc bien adaptés à la bonne détection du rayonnement. Par contre, le filtre K se trouve dans la partie lointaine des ailes aux grandes longueurs d'onde

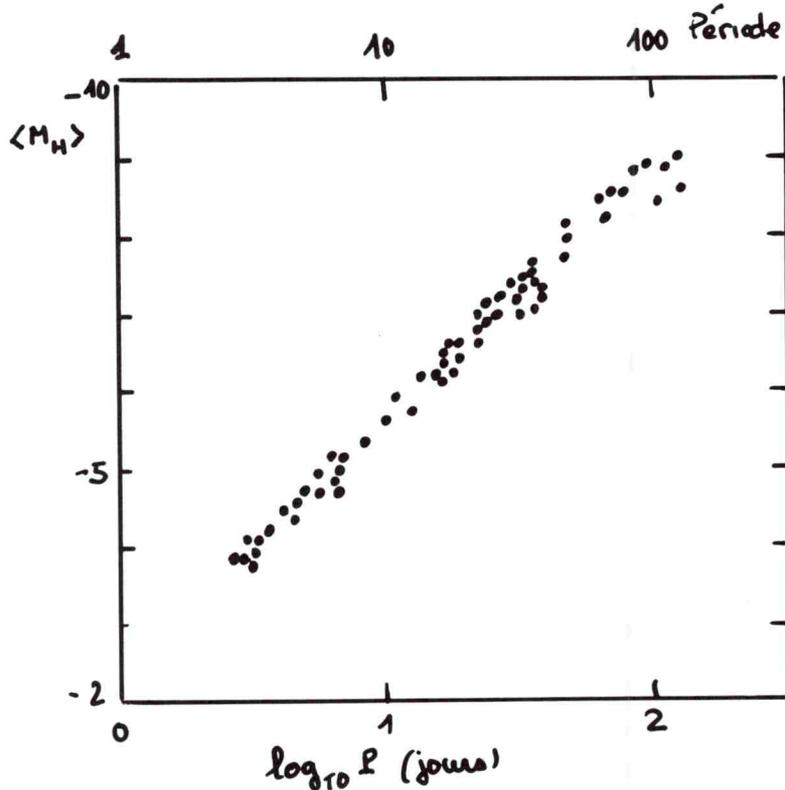


Figure 4 : Relation entre la magnitude absolue moyenne en bande H et la période des pulsations pour des céphéides appartenant à notre Galaxie, au Grand et au Petit Nuage de Magellan. La dispersion autour d'une droite moyenne est très faible.

La figure 3 montre comment les différents filtres utilisés pour l'observation se situent par rapport au rayonnement de l'étoile dans l'une ou l'autre de ces deux phases extrêmes. Les filtres dans lesquels on mesure les magnitudes B (dans le bleu) et V (pour visible, en fait dans le jaune) sont les mieux adaptés du point de vue de l'intensité du rayonnement mesuré, mais l'extinction de la lumière par les poussières interstellaires y est relativement importante ; en outre, cette extinction est sélective en longueur d'onde, elle modifie donc la couleur observée. Les filtres qui définissent les magnitudes J, et surtout H et K, situés dans l'infrarouge, ont l'avantage de sélectionner des rayonnements qui subissent très peu ou pas d'extinction ; par ailleurs, la figure 3 nous montre que l'amplitude des variations y devient très faible (les deux courbes deviennent très proches) ; on voit sur la figure 4 que la relation  $f$  devient indépendante de la couleur en bande H où elle s'exprime par une simple relation linéaire entre la magnitude médiane  $\langle M_H \rangle$  et le logarithme de la période  $P$ . Par contre, ces filtres ne mesurent qu'une fraction faible du rayonnement émis, et sont inopérants dans l'exemple qui nous intéresse ici ; dans les autres bandes, les mesures doivent donc être corrigées des effets d'extinction : d'une part dans la relation  $f(P, \langle M \rangle, C)$ , on doit corriger la couleur observée, par exemple (B-V) ou (V-I), et d'autre part dans la relation  $\mu = \langle m \rangle - \langle M \rangle$ , on doit corriger la valeur observée de  $\langle m \rangle$ , par exemple  $\langle V \rangle$ .

*Ainsi, on doit préciser, quand on mentionne la très grande précision du critère de distance lié aux céphéides, la bande spectrale utilisée (H) ; en bande B, V ou I, la précision n'est pas aussi bonne.*

### Mesures de la distance de l'amas de la Vierge et détermination de $H_0$ par la méthode des céphéides

Venons-en maintenant aux "scoops" récents. Une première équipe a détecté depuis le sol (Hawaï) 3 étoiles céphéides dans la galaxie NGC 4571 et en a déduit que sa distance était  $14,9 \pm 1,2$  Mpc ; peu de temps après, une seconde équipe a détecté, grâce au télescope spatial Hubble un grand nombre de céphéides de périodes comprises entre 20 et 50 jours dans la galaxie M 100. Les incertitudes sur chacune des observations individuelles donnant lieu aux courbes de lumière observées sont très faibles ; celle sur le résultat final qui donne une distance de  $17,1 \pm 1,8$  est dominée pour l'essentiel par les corrections d'extinction. On notera la plus grande prudence de ces derniers auteurs qui affectent leur résultat d'une plus grande barre d'erreurs que leurs collègues...

Ces deux résultats successifs ont fait l'objet de deux campagnes correspondantes d'annonce, pratiquement identiques, dans la grande presse : l'univers n'aurait que 8 milliards d'années, ce qui le rendrait "plus jeune que ce qu'il contient"... Il est intéressant de discuter comment on a pu passer de la mesure effectuée, à savoir, chaque fois, la distance d'une galaxie de l'amas de la Vierge, à cet âge de l'Univers. La première étape consiste à considérer que la distance de la galaxie observée s'identifie à celle de l'amas ; la seconde repose sur la détermination de la vitesse cosmologique de l'amas : les deux équipes ont adopté la même valeur (largement admise par tous) de la valeur observée du décalage spectral moyen de l'amas traduit en une vitesse égale à  $1000 \pm 30 \text{ km s}^{-1}$ . Mais cette vitesse observée n'est pas la vitesse cosmologique, parce que notre Galaxie (et plus précisément le groupe de galaxies auquel elle appartient, qu'on appelle Groupe local), par rapport auquel ces observations sont effectuées est animé d'une vitesse particulière (due à l'attraction que l'amas de galaxies de la Vierge exerce sur lui) ; la composante radiale de cette vitesse est mal connue, évaluée entre 100 et  $400 \text{ km s}^{-1}$ , ce qui conduit à  $V_{\text{cos}}$  entre 1100 et  $1400 \text{ km s}^{-1}$ . En choisissant une vitesse de 1300, les premiers auteurs ont déterminé la valeur de  $H_0 = 87 \pm 7$  ; les seconds ont choisi une vitesse de 1400 et annoncé  $H_0 = 82 \pm 17$  (en soulignant le bon accord de cette détermination avec la précédente...). Dans le modèle cosmologique standard, implicitement choisi, il en résulte l'âge de l'univers an-

noncé :  $t_0 = 8$  milliards d'années.

Les présentations des résultats ont évacué la différence de distances des deux galaxies, d'une part en insistant sur les barres d'erreurs et d'autre part en concentrant l'effet d'annonce sur  $H_0$ , sans mentionner comment la vitesse cosmologique a été déterminée, puis sur l'âge de l'univers, déterminé dans un modèle particulier. En choisissant une vitesse cosmologique égale à 1100 au lieu de 1400, la valeur  $H_0 = 82 \pm 17$  devient  $65 \pm 13$  et  $t_H = 15$  milliards d'années : difficile de conclure que l'univers est "trop jeune", même dans le modèle standard, où  $t_0 = 11$  milliards d'années.

En outre, on n'a jamais mentionné le doute que beaucoup portent sur l'appartenance de NGC 4571 à l'amas proprement dit : cette galaxie fait partie d'un sous groupe à l'intérieur de l'amas, dont beaucoup pensent qu'il est situé en avant de lui. C'est par exemple toujours dans ces galaxies, et particulièrement dans NGC 4571 que l'on parvient à observer, depuis le sol, des étoiles individuelles, ce qui n'est pas étonnant si la galaxie est plus proche.

Quelques mois plus tard, une troisième équipe a pu observer des céphéides, toujours grâce au télescope spatial, dans la galaxie M 96, située dans le groupe de galaxies Leo I. En utilisant le rapport habituellement admis de la distance de l'amas de la Vierge à celle du groupe de Leo I, mais ce point est contestable, ils obtiennent une distance de l'amas de la Vierge  $18,3 \pm 1,1$  Mpc, d'où  $H_0 = 69 \pm 8$ , avec une vitesse cosmologique de 1300. Prudents, les auteurs concluent... qu'on ne peut pas conclure à un désaccord entre les modèles de Friedman et l'âge de l'Univers donné par les amas globulaires les plus vieux... ce qui n'a pas empêché les mêmes media (en particulier "le Monde" dans sa page faite en collaboration avec la revue scientifique "Nature" où tous ces résultats ont été publiés) de répéter que ... "l'Univers est plus jeune que ce qu'il contient" !

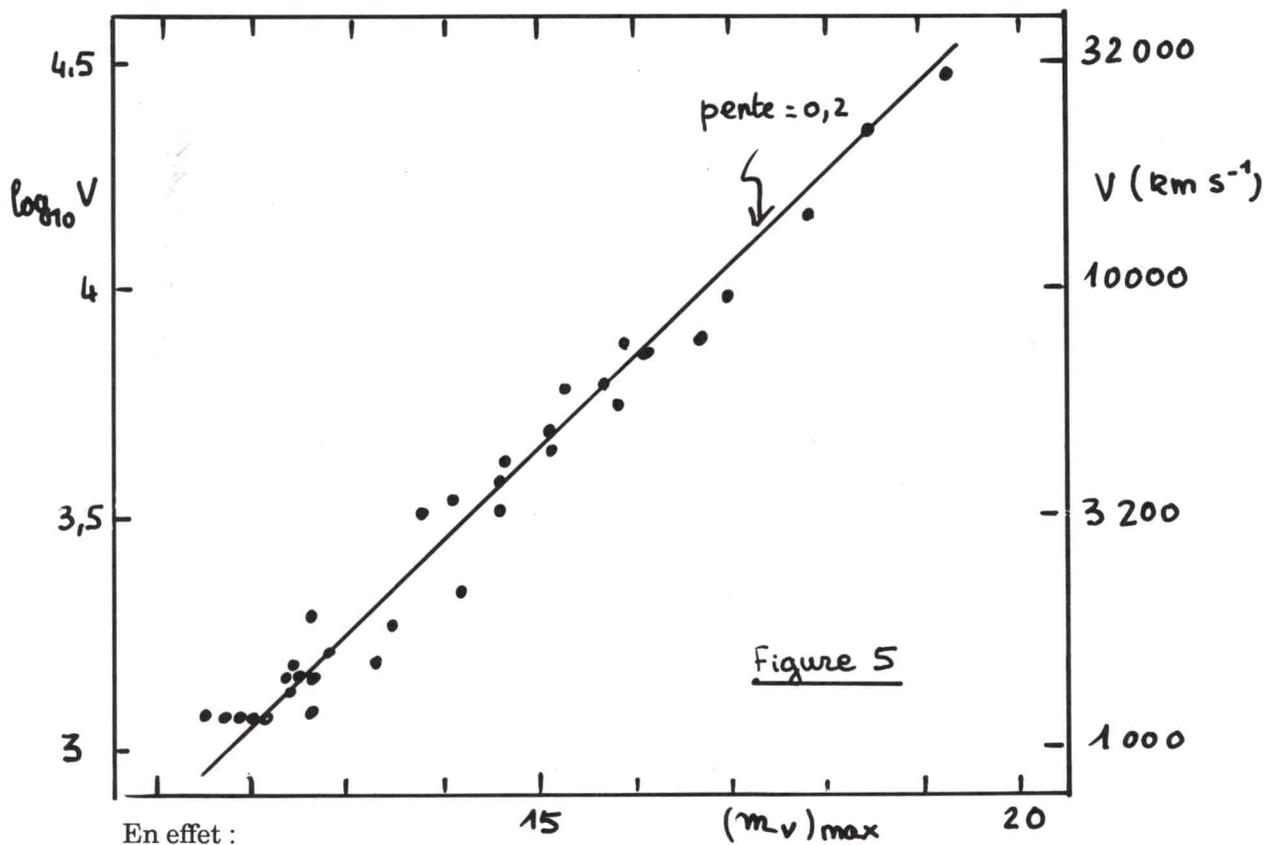
## Conclusion

L'amas de la Vierge ne peut nous renseigner sur la valeur de  $H_0$  que si deux conditions sont remplies : (i) mieux connaître la vitesse particulière de notre Groupe local de galaxies et (ii) mesurer la distance de plusieurs galaxies membres de cet amas.

## LES SUPERNOVAE DE TYPE Ia ET LA VALEUR DE $H_0$

Les supernovae sont, potentiellement, les indicateurs de distance les plus prometteurs, du fait de leur grande luminosité qui les rend observables à de très grandes distances.

Les supernovae de type I sont les plus lumineuses ; elles concernent une population d'étoiles vieilles et sont produites dans un système binaire, avec transfert de masse. Les supernovae de type Ia constituent une sous classe homogène des supernovae de type I : elles sont caractérisées par leur spectre qui ne comporte, dans le visible, ni les raies de l'hydrogène ni celles de l'hélium. Elles résultent de l'explosion thermonucléaire d'une naine blanche composée de carbone et d'oxygène, et qui a accreté suffisamment de masse en provenance de son étoile compagnon pour atteindre la masse limite, dite de Chandrasekhar, maximale possible pour une naine blanche ( $1,4 M_{\odot}$ ) ; leur magnitude absolue est remarquablement constante au maximum d'éclat. Cela peut s'établir par l'observation (sans pour autant calibrer cette valeur) dans un amas de galaxies ou en utilisant la vitesse cosmologique comme indicateur de distance, en sélectionnant des galaxies de vitesse de récession suffisamment élevée. Dans la figure 5, ou diagramme de Hubble, on a porté la vitesse de récession, en échelle logarithmique, en fonction de la magnitude apparente observée (en bande V),  $m_V$ . La pente observée est 0,2 : elle correspond à ce à quoi on s'attend si la magnitude absolue  $M_V$  est la même pour toutes les supernovae.



En effet :

$$m_V - M_V = 5 \log d + 25 \quad (d \text{ en Mpc}) ; V_{\text{cos}} = H_0 d \quad \text{d'où} \quad 5 \log d = 5 \log V_{\text{cos}} - 5 \log H_0$$

$$\text{et } m_V = 5 \log V_{\text{cos}} + M_V + 25 - 5 \log H_0$$

$$\text{ou : } \log V_{\text{cos}} \approx \log V_{\text{r}}^{\text{obs}} = 0,2 m_V + K ; \text{ avec } K = 0,2 [M_V + 25 - 5 \log H_0] = 0,653$$

La faible dispersion des observations autour de la relation linéaire observée confirme que  $M_V$  garde bien toujours à peu près la même valeur pour toutes les supernovae.

L'interprétation de cette stabilité de la magnitude absolue maximale se trouve dans la source d'énergie responsable de la courbe de lumière ; elle est due au déclin radioactif d'une masse totale de l'ordre de  $0,6 M_{\odot}$  de  $^{56}\text{Ni}$  qui se transforme en  $^{56}\text{Co}$ .

Jusqu'ici, on manquait de calibration (observation d'une supernova de ce type dans une galaxie de distance connue ou dans notre Galaxie) ; cette situation vient de changer, grâce à l'observation de céphéides par le télescope spatial Hubble dans 6 galaxies spirales comportant des supernovae (tableau 2).

| SN Ia* | Galaxie | $M_B(\text{max})$ | $M_V(\text{max})$ |
|--------|---------|-------------------|-------------------|
| 1937C  | IC4182  | $-19,65 \pm 0,18$ | $-19,64 \pm 0,13$ |
| 1895B  | NGC5253 | $-19,80 \pm 0,28$ | -----             |
| 1972E  | NGC5253 | $-19,55 \pm 0,23$ | $-19,50 \pm 0,21$ |
| 1981B  | NGC4536 | $-19,29 \pm 0,13$ | $-19,32 \pm 0,12$ |
| 1960F  | NGC4496 | $-19,52 \pm 0,14$ | $-19,61 \pm 0,20$ |
| 1990N  | NGC4639 | $-19,30 \pm 0,23$ | $-19,39 \pm 0,23$ |
| 1989B  | NGC3627 | $-19,51 \pm 0,26$ | $-19,49 \pm 0,25$ |

\* Chaque supernova est référencée par l'année où elle a été découverte, la lettre A désignant la première de l'année, B la seconde etc...

Tableau 2

On en déduit une valeur moyenne de la magnitude absolue de la supernova à son maximum qui vaut respectivement -19,52 en bande B et -19,49 en bande V.

La relation de la figure 5, qui conduisait à  $K = 0,2[M_V + 25 + 5 \log H_0] = 0,653$ , entraîne donc :  $H_0 = 57 \pm 8$ .

### Conclusion

Les supernovae conduisent à une valeur de  $H_0$  plus faible que celle obtenue à partir de l'amas de la Vierge. L'avantage de cette méthode est qu'elle utilise des supernovae observées à de très grandes vitesses de récession (plus de 30 000 km s<sup>-1</sup>, comme on peut le voir sur la figure 5) pour lesquelles il est totalement licite d'assimiler la vitesse radiale observée à la vitesse cosmologique. Il reste à confirmer que toutes les supernovae de type Ia ont strictement la même magnitude absolue à leur maximum ; certains auteurs avancent une corrélation entre  $M_V(\text{max})$  et la composition chimique, que pourraient expliquer des raisons théoriques. Ils avancent alors une valeur de  $H_0$  qui pourrait atteindre 65, mais qui ne peut être réconciliée avec celle annoncée à partir des observations de céphéides dans l'amas de la Vierge.

### UN CRITERE DE DISTANCE SECONDAIRE : LA RELATION TULLY-FISHER

Quand une galaxie est trop éloignée pour qu'on puisse y observer les étoiles individuellement, on utilise des critères de distance empiriques qui portent sur sa luminosité (ou sa magnitude absolue,  $M$ ) globale. Les astronomes Brent Tully et Rick Fisher ont montré, il y a une vingtaine d'années, que la magnitude absolue globale d'une galaxie spirale est reliée à la vitesse circulaire maximale,  $V_m$  selon la relation appelée "Tully-Fisher" ou, plus rapidement "TF", de la forme :

$$M = a \log V_m + b$$

car, dans une galaxie spirale, les étoiles et les nuages de gaz sont répartis pour l'essentiel dans un disque, où ils sont animés de mouvements circulaires autour du centre de ce disque ; la loi  $V(r)$  qui décrit l'intensité  $V$  de cette vitesse en fonction de la distance  $r$  au centre est appelée "courbe de rotation". On observe que ces courbes de rotation ont la forme générale indiquée sur la figure 6 ; elles présentent un maximum, noté  $V_m$ , qui est relié à la masse totale de la galaxie : plus la galaxie est massive, plus  $V_m$  est grand ; la relation TF traduit donc une corrélation entre la masse et la luminosité de la galaxie ; cependant, notre manque de connaissance de la masse non lumineuse et de sa distribution ne permet pas de préciser l'expression de la masse en fonction de  $V_m$ , et de ce fait, le critère de distance que constitue la relation TF reste empirique.

En effet, cette relation peut jouer le rôle de critère de distance, puisqu'il est possible de mesurer  $V_m$ , sans connaître la distance, et d'en déduire  $M$ , donc le module de distance  $\mu = m - M$ , par la mesure de la magnitude apparente globale,  $m$ . Elle est calibrée (c'est-à-dire qu'on détermine les deux paramètres  $a$  et  $b$ ) à partir des galaxies de distance connue par un critère de distance dit "primaire" (par exemple, celui reposant sur les céphéides) ; c'est pour cette raison qu'on qualifie le critère lié à cette relation de secondaire.

Il constitue un outil de très grande portée, relativement facile à mettre en oeuvre, grâce à la radioastronomie ; l'hydrogène interstellaire, présent partout dans les disques des galaxies spirales, se manifeste par la raie qu'il émet à la longueur d'onde de 21 cm. Un radiotélescope qui "voit" la galaxie comme une source ponctuelle, observe une raie élargie du fait des composantes radiales des vitesses du gaz ; aux effets d'inclinaison du plan du disque sur le plan du ciel près, l'élargissement total  $\Delta\lambda$  de la raie fournit  $V_m$  par la relation Doppler-Fizeau :  $\Delta\lambda/\lambda = 2 V_m/c$ .

Les premiers travaux reposant sur l'utilisation de la relation TF, appliquée à des échantillons de quelques centaines de galaxies ont d'abord conduit à une valeur de  $H_0$ , calculé comme

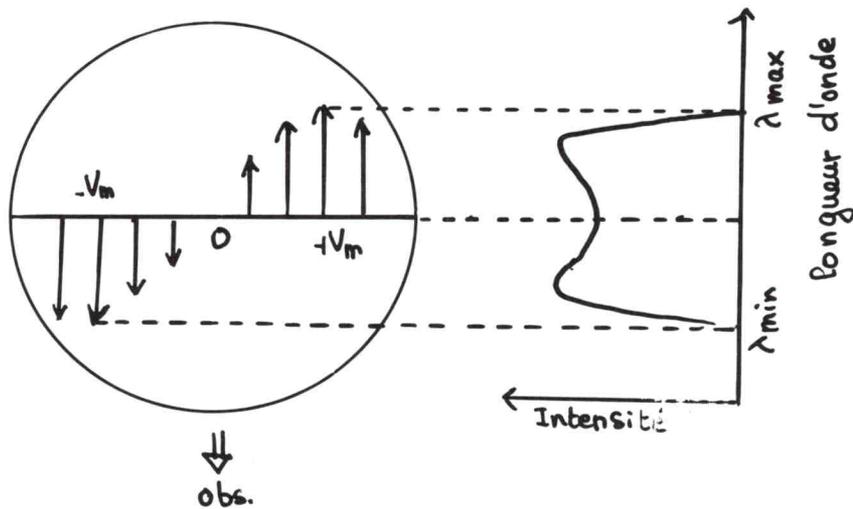


Figure 6: On a représenté, sur le disque de la galaxie, la composante radiale maximale de la vitesse circulaire à différentes distances du centre, pour un observateur situé dans le plan de ce disque, dans la direction indiquée par la flèche. Cette vitesse radiale  $V_r$  peut prendre toutes les valeurs entre  $-V_m$  et  $+V_m$ , ce qui implique que la raie rayonnée à la longueur d'onde  $\lambda_0 = 21$  cm par le gaz hydrogène présent dans le disque, est perçue par l'observateur à des longueurs d'ondes  $\lambda = \lambda_0 + \lambda_0 V_r / c$  pouvant prendre toutes les valeurs comprises entre  $\lambda_{\min} = \lambda_0 - \lambda_0 V_m / c$  et  $\lambda_{\max} = \lambda_0 + \lambda_0 V_m / c$ . Un radiotélescope qui "voit" la galaxie comme un point observe donc une raie globale, élargie par effet Doppler-Fizeau, que l'on peut considérer comme composée par un ensemble de raies élémentaires observées aux différentes longueurs d'ondes  $\lambda = \lambda_0 + \lambda_0 V_r / c$ . L'extension maximale de cette raie est donc égale à  $\lambda_{\max} - \lambda_{\min} = 2 \lambda_0 V_m / c$ , ce qui permet de déterminer  $V_m$ .

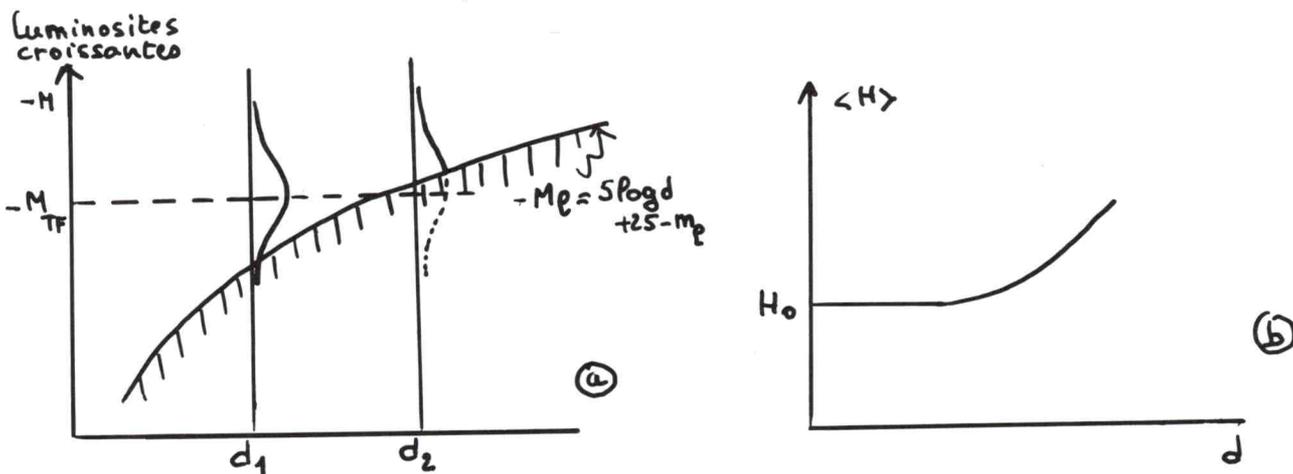
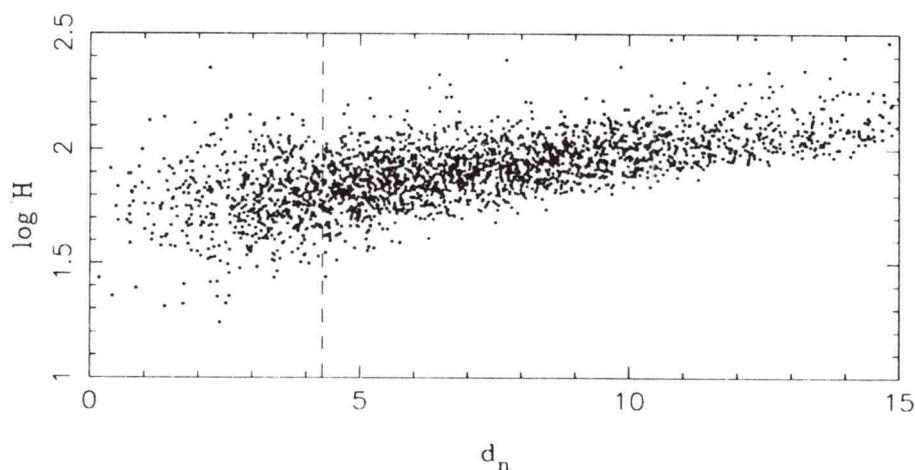


Figure 7-a Un ensemble de galaxies situées à la distance  $d$ , ont en moyenne la magnitude absolue  $M_{TF}$  donnée par le relation "Tully-Fisher" ; cependant certaines sont plus lumineuses, d'autres le sont moins, ce qui est représenté par la courbe en cloche, appelée fonction de luminosité. La limitation en magnitude apparente  $m_p$  provoque une coupure en magnitude absolue qui devient de plus en plus sévère à mesure que la distance augmente : seules les galaxies plus lumineuses que  $-M_1 = 5 \log d + 25 - m_p$  sont observées. Tant que les observations portent sur l'ensemble de la fonction de luminosité, il est licite d'attribuer la magnitude absolue  $M_{TF}$  en moyenne à l'échantillon. Ce n'est plus vrai dans le cas de la distance  $d_2$  : les galaxies sont, en moyenne plus lumineuses que la valeur qu'on leur attribue ce qui conduit à sous-estimer leur distance moyenne en lui attribuant la valeur  $d_{TF}$ , et à surestimer la valeur moyenne  $\langle H \rangle$  (7-b) en effectuant la moyenne de  $V_{\cos} / d_{TF}$ . Seule la partie de la courbe "en plateau", pour les faibles valeurs de la distance, permet de déterminer correctement  $\langle H \rangle = H_0$ .

moyenne du rapport  $V_r/d$  pour l'échantillon, de l'ordre de 100.

Notre équipe a montré, il y a 10 ans, que cette valeur est surestimée, à cause d'un effet statistique, illustré sur la figure 7. Nos catalogues sont limités en magnitude apparente : si  $m_1$  est la magnitude limite du catalogue à partir duquel ont été effectuées les mesures radio fournissant  $V_m$ , à une distance  $d$  donnée, seules les galaxies plus lumineuses que  $-M_1 = -m_1 + 5 \log d - 25$  ont été observées, et sont donc présentes dans l'échantillon. Or, la relation TF n'est pas une relation exacte : toutes les galaxies de même  $V_m$  (donc, en gros, de même masse), n'ont pas exactement la même magnitude absolue  $M_{TF}$ , celle qui résulte de la relation TF, certaines étant plus lumineuses, d'autres l'étant moins. On voit alors que lorsqu'on attribue à chacune de ces galaxies de même  $V_m$  la magnitude absolue  $M_{TF}$ , on sous-estime la luminosité de certaines, et on surestime la luminosité d'autres ; en calculant  $H_0$  comme une moyenne de  $V_r/d$ , on a pensé, à tort, qu'il y a eu compensation par effet de moyenne. Ce n'est pas vrai, car l'échantillon contient plus de galaxies plus lumineuses que  $M_{TF}$  que de galaxies moins lumineuses ; on voit sur la figure 7 que la fonction de luminosité des galaxies de  $V_m$  donné, situées toutes à la même distance  $d$  a son aile inférieure coupée, cette coupure devenant de plus en plus sévère à mesure que croît la distance. La distance  $d_{TF}$  attribuée à ces galaxies est donc, en moyenne sous-estimée, puisqu'on sous-estime leur luminosité (une ampoule électrique de 200 watts nous donne la même impression qu'un ampoule de 100 watts si elle est située 4 fois plus loin : si on lui attribue 100 W au lieu des 200, on sous-estime sa distance par un facteur 4). Sous-estimant  $d$ , on surestime  $H_0$  (voir la figure 8).



**Figure 8 :** le logarithme du rapport  $H = V_{\cos}/d_{TF}$  pour les 5000 galaxies de l'échantillon est porté en fonction de la distance cinématique (calculée dans une échelle arbitraire à partir de la vitesse et d'une valeur arbitraire de la constante de Hubble). On voit que l'échantillon est complet pour les distances plus petites que la limite indiquée par la droite verticale en tirets ; au-delà, il devient de plus en plus sévèrement tronqué dans sa partie inférieure ; c'est-à-dire que les faibles valeurs de  $H$  manquent. On ne peut donc espérer déterminer une valeur exacte de  $H_0$  par moyenne  $\langle H \rangle$  de  $H$  qu'en se limitant à la partie de l'échantillon située à gauche du trait en tirets. On notera que la distance cinématique n'intervient pas dans la détermination de  $H_0$  : elle a servi uniquement à déterminer le sous-échantillon utile.

On ne peut déterminer correctement  $H_0$  par moyenne de  $V_r/d_{TF}$  qu'en se limitant aux galaxies assez proches pour que la limitation en magnitude apparente n'affecte pas la détection de la fonction de luminosité autour de  $M_{TF}$ . Mais alors se pose le problème de l'assimilation de  $V_r$  à  $V_{cos}$  ... Pour le surmonter, il faut augmenter la magnitude limite, c'est-à-dire travailler avec des échantillons plus profonds. Beaucoup s'y sont employés au cours de ces 10 dernières années (c'est le cas de notre équipe, à Nancy), et l'on dispose aujourd'hui, rassemblées dans la base de données extragalactiques LEDA, constituée à l'observatoire de Lyon par l'équipe de Georges Paturel, de plus de 5000 galaxies dont la distance  $d_{TF}$  est déterminée : en se limitant aux quelques centaines de galaxies pour lesquelles la limitation en magnitude apparente n'induit pas une limitation en magnitude absolue trop contraignante, on est en passe de déterminer une valeur de  $H_0$  insensible aux effets des vitesses particulières, parce que ce sous-échantillon de quelques centaines de galaxies s'étend à de grandes vitesses radiales (4000 à 5000 km s<sup>-1</sup>).

## CONCLUSION GENERALE

Pour résumer :

- La distance n'est pas le seul paramètre qui conditionne la valeur de  $H_0$  : la vitesse cosmologique en est un second, tout aussi important.
- La découverte de la grande amplitude des mouvements particuliers des galaxies entraîne qu'il faut s'adresser à des galaxies lointaines pour que la vitesse radiale mesurée par effet Doppler-Fizeau puisse s'identifier à leur vitesse cosmologique.
- La nature de la chandelle standard est complexe ; même quand nous avons une bonne connaissance théorique de la propriété qui sert de critère de distance, il convient de discuter l'importance relative des différents paramètres dont elle dépend.
- On ne passe de la connaissance de  $H_0$  à celle de l'âge de l'Univers que dans le cadre d'un modèle cosmologique.
- A l'image de cette discussion, comment réagir au débat qui fleurit en ce moment dans les media : on y compare la situation en France (du chômage et une bonne protection sociale) et aux Etats-Unis (pratiquement pas de chômage et pas de protection sociale), et on conclut que pour diminuer le chômage il faudrait diminuer la protection sociale... Est-ce que notre responsabilité d'éducateurs ne serait pas d'inculquer au futur citoyen cette idée-clef qu'**un problème complexe ne peut se comprendre (et en conséquence se résoudre) que par la prise en compte de l'ensemble des paramètres dont il dépend ?**

Lucienne Gouguenheim

*Note de la rédaction : ce texte reprend les termes de la conférence prononcée par notre présidente lors de l'Assemblée Générale du CLEA, le 17 Novembre 1996 au lycée d'Orsay.*

---

## Mettez votre planétaire à l'heure

Voici les longitudes héliocentriques des planètes le 19970101 à 0 h UT :

|                |              |               |                |
|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Mercure 95.2°  | Vénus 227.6° | Terre 100.6°  | Mars 143.8°    |
| Jupiter 297.9° | Saturne 7.2° | Uranus 304.4° | Neptune 297.4° |

# Chronique du CLEA

## Assemblée Générale 1996 à Orsay

L'assemblée générale annuelle du CLEA s'est réunie le dimanche 17 novembre 1996 dans les salles du lycée Blaise Pascal à Orsay, sous la présidence de Lucienne Gouguenheim, Présidente du CLEA, et en présence de plus de cent dix participants venus de toutes les régions de France.

La Présidente salue avec joie les nombreux collègues qui ont fait le déplacement d'Orsay, ce dimanche, pour échanger leurs idées sur l'enseignement de l'astronomie et sur le travail du CLEA. Elle fait adopter l'ordre du jour suivant :

1. Rapport général du secrétaire trésorier, comptes 96 et budget 97.
2. Renouvellement statutaire du Conseil du CLEA
3. Activités et réalisations des groupes locaux du CLEA
4. Réalisations de quelques invités
5. Communication de Josée Sert sur AOL et sur l'AEEA  
après le déjeuner préparé par Béatrice Sandré,
6. Reprise des exposés des groupes CLEA
7. Conférence de Lucienne Gouguenheim sur  
**Mesures de la constante de Hubble et âge de l'Univers**
8. Questions diverses.

Il est prévu que l'assemblée générale sera close avant 17 h 30 pour que les Collègues puissent facilement rejoindre leurs domiciles.

**RAPPORT GENERAL** présenté par Gilbert Walusinski, secrétaire-trésorier.

Remerciements, pour commencer, aux responsables du lycée Blaise Pascal où nous trouvons accueil sympathique. Hommage aussi, c'est bien le moins, à Blaise Pascal qui, il y a exactement 350 ans, répétait à Rouen, avec son père et Pierre Petit (novembre 1646), les expériences de Torricelli sur le vide.

Le secrétaire a reçu les excuses de nombreux collègues qui regrettent de ne pouvoir être présents à l'assemblée générale et tiennent à cette occasion à réaffirmer leur attachement à notre association ; citons, dans le désordre des arrivées du courrier, Liliane Sarrazin (Bordeaux), Jean-Claude Pecker (Paris), Roland Szostak (Münster), Annie Pincaut (Troyes), Marie-France Duval (Marseille), Cecilia Iwaniszewska (Torun), Jeanine Chappelet (Nice), J-P.Convers (Dijon), Suzanne Débarbat (Paris).

Le fonctionnement du secrétariat de l'association est assuré par Catherine Vignon et G.W., mais ceux-ci peuvent compter tout au long de l'année sur l'aide de Jacques Dupré (en particulier la tenue informatique du fichier des abonnés et l'édition des étiquettes pour l'envoi de la revue) et de Jean Ripert qui assure fabrication et envoi des FCR (les filtres et réseaux) et des fiches CLEA-Belin. Comme toujours dans les activités CLEA, la coopération amicale simplifie toutes les tâches auxquelles Lucienne, Lucette et Michèle apportent souvent leur aide précieuse. Le secrétaire, rédacteur de ce rapport, tient cependant à préciser que atteint ou plus précisément dépassé par les limites d'âge, il faudra prévoir son remplacement en 1998.

La situation des abonnés aux CAHIERS CLAIRAUT est préoccupante. En 1994 nous avons eu 1097 abonnés ; effectif tombé à 1030 en 1995 et à 962 en 1996. Il est normal que chaque année un certain nombre d'abonnements ne soient pas renouvelés, mais il faudrait que ces lecteurs lassés soient remplacés par de nouveaux abonnés. Il est clair que nous devons tous nous interroger. Le contenu des CC correspond-il bien aux besoins des collègues, qu'ils enseignent au niveau école, collège ou lycée ? Avons-nous bien convaincus les enseignants et les astronomes que les CC sont le premier outil du CLEA ? Certains commandent nos diapos ou nos fiches mais sans s'abonner. Ils ne comprennent pas que la revue a deux tâches principales : assurer la liaison entre ses lecteurs qui sont dispersés géographiquement mais doivent pouvoir s'entraider dans leur enseignement ; assurer en même temps une première

formation pour certains d'entre eux et un perfectionnement pour d'autres. Enfin, les CC et le CLEA ont aussi pour but de promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux, ce qui signifie action en direction des organisateurs et administrateurs de l'Education Nationale mais également action auprès du public des citoyens. Notre modeste revue est-elle bien adaptée à remplir toutes ces tâches ? La baisse du nombre des abonnés, même si elle est faible, invite à la réflexion.

L'occasion se présente de mener celle-ci : avec le numéro 77 des CC, à paraître en mars prochain, commence la vingtième année de la revue. Il faudrait penser à une ou des innovations frappantes que doivent permettre des finances relativement satisfaisantes. Surtout, cette vingtième année s'achèvera avec le numéro 80, hiver 1997-98, qui devrait être un numéro spécial au moins aussi réussi que le fut le numéro double 39-40 qui marqua notre dixième anniversaire. Collègues, dès maintenant, pensez aux CC de la vingtième année et au numéro 80.

Passons maintenant du secrétariat à la trésorerie. Le lecteur est invité à se reporter à la page suivante : les comptes du CLEA pour la période du 19951101 au 19961031.

Globalement, l'année peut être considérée comme satisfaisante puisque la somme des recettes dépasse légèrement la somme des dépenses. En examinant les divers chapitres, vous aboutirez à un jugement plus nuancé : par rapport à l'année précédente, les recettes ont diminué de 137 064,34 F soit une baisse de plus de 30% ; la baisse des dépenses est moindre, 25% ce qui peut être interprété comme une baisse d'activité. D'autres remarques sont possibles : 1) dans les recettes, une somme de 18 000 F a été encaissée mais à titre provisoire et elle doit être reversée au CNED (donc notre excédent de recette doit être atténué) ; 2) en 1995 nous annonçons une subvention ministérielle au CLEA de 16 000 F, soit le tiers d'une subvention accordée pour trois ans or ce deuxième versement ne nous est pas encore parvenu 3) dans les dépenses, le montant de celles relatives à l'université d'été doit être compensé par de futurs remboursements ; 4) enfin, le virement au compte d'épargne s'il augmente le montant total des dépenses en 1996, augmente d'autant le compte d'épargne dont le montant nous permettra certaines dépenses d'équipement prévues depuis longtemps. Parmi ces dépenses d'équipement, il y aura l'achat d'un nouveau planétarium mobile genre starlab que Michèle Gerbaldi a vu à Londres à l'état de prototype et nous attendons pour bientôt sa commercialisation.

Ces quelques remarques ont pour but de montrer aux membres du CLEA la sincérité véritable des comptes qui leur sont présentés et le trésorier souhaite donc que l'assemblée générale approuve les comptes 1976.

La Présidente demande à l'assemblée l'approbation des comptes ce qui est fait à l'unanimité des présents. Même accord pour prolonger les tarifs actuels en 1997.

### Suite du rapport général

Dresser un tableau complet des réalisations des groupes du CLEA est hors de la portée du secrétariat qui d'ailleurs est en droit de se plaindre de n'être pas tenu au courant, par exemple, de tous les stages organisés par les MAFPEN et comportant de l'astronomie. Merci aux Collègues à qui je dois les informations suivantes :

- Claude Pigué, à Lyon, assure dix stages soit 30 jours de formation dans les trois disciplines sciences physiques, mathématiques et action culturelle.

- Catherine Vignon a demandé à ses élèves du lycée Jules Ferry de suivre les plots commémoratifs du méridien de Paris aux initiales d'Arago et de prendre des photos, non sans interroger les passants ; ils ont ainsi construit le bel album d'une promenade qui les a conduits de la mire du Nord au socle de la statue du boulevard Arago ; l'ensemble est fort savoureux (un Parisien du quartier a soudainement pris conscience que la statue d'Arago n'était plus sur son socle,... alors que l'enlèvement date des années d'occupation).

- Suzanne Débarbat, de l'Observatoire de Paris, a pris une part active dans la réalisation de l'exposition "NEPTUNE ET LES MONDES EXTRASOLAIRES" qui a été présentée d'abord dans la belle salle Cassini de l'Observatoire de Paris et qui est présentée plus longuement au Palais de la Découverte. 150 années après la découverte de la planète, il était important de rapprocher cet exploit historique des découvertes nouvelles. Les membres du CLEA se réjouissent du grand succès de cette exposition.

## Les comptes du CLEA du 19951101 au 19961031

### RECETTES

|  |           |                   |
|--|-----------|-------------------|
| abonnements simples                    | 23 790    |                   |
| abonnements et cotisations             | 115 595   |                   |
| sous-total CAHIERS CLAIRAUT            |           | 139 385           |
|  |           |                   |
| Collections CC                         | 2 815     |                   |
| Cours d'Orsay                          | 2 895     |                   |
| Fascicules formation des maîtres       | 14 400,82 |                   |
| sous-total anciennes collections       |           | 20 110,82         |
|  |           |                   |
| Transparents                           | 2 357,50  |                   |
| Diapositives                           | 33 978,54 |                   |
| Hors séries 1 à 7                      | 49 881,64 |                   |
| Filtres colorés et réseaux             | 7 530     |                   |
| Cinéciel                               | 1 800     |                   |
| sous-total collections nouvelles       |           | 95 547,68         |
|  |           |                   |
| Documents pour fiches Belin            |           | 900               |
| Location du Starlab                    |           | 3 500             |
| Versement du MEN à transmettre au CNED |           | 18 000            |
| Dons des animateurs UEA                |           | 5 000             |
| Intérêts du compte d'épargne           |           | 5 464,66          |
| Recettes diverses                      |           | 4 490             |
| Réservations pour le repas du 19961117 |           | 1 920             |
| Total des recettes                     |           | <u>294 318,16</u> |

### DEPENSES

|   |           |                   |
|---|-----------|-------------------|
| Impression des CAHIERS CLAIRAUT 72 73 74 75       | 90 676,69 |                   |
| Expédition APF                                    | 18 760,91 |                   |
| sous-total CAHIERS CLAIRAUT                       |           | 109 437,60        |
|   |           |                   |
| Nouveau tirage Photos HS7                         |           | 1 823,04          |
| Nouveaux tirages (fascicules, notices des diapos) |           | 22 780            |
| Frais postaux                                     |           | 8 143             |
| Frais pour Assemblée Athènes                      |           | 3 975             |
| Frais pour Colloque de Londres                    |           | 13 011,85         |
| Université d'été Gap 1996                         |           | 39 066,20         |
| Frais journée éditeurs Poitiers                   |           | 280               |
| Matériels didactiques                             |           | 2 041,69          |
| Matériel de bureau                                |           | 4 217,25          |
| Remboursements divers (commandes annulées)        |           | 1 968             |
| Virement au compte d'épargne                      |           | 60 000            |
| Frais assemblée générale de Strasbourg            |           | 5 261,51          |
| Dépenses diverses                                 |           | 2 962,46          |
| Total des dépenses                                |           | <u>274 967,60</u> |

### SITUATION DES RESERVES AU 19961031

|                  |            |
|------------------|------------|
| ccp              | 136 699,34 |
| compte d'épargne | 207 734,92 |

## SUITE DES COMMUNICATIONS

**Jean-Paul Rosenstiehl et Daniel Toussaint** présentent les photographies de la comète HYAKUTAKE qu'ils ont réalisées, le premier dans l'environnement peu favorable d'une ville, Le Mans, le second dans le ciel plus dégagé de la campagne autour d'Aix en Othe. Même dans le ciel lumineusement pollué de la ville, les photos de Jean-Paul montrent qu'une observation des comètes est encore possible. Daniel n'a pas hésité à transporter son matériel loin de sa petite ville pour trouver un site d'observation parfait. Il est justement fier d'avoir vu une de ses photos figurer à l'aéroport de Münster où l'ami Roland Szostak l'avait invité à présenter ses travaux. Toutes ces photos de la comète Hyakutake vont constituer une nouvelle série de 20 diapositives, **D8. Comètes** qui figurera sous ce numéro dans le nouveau catalogue des productions CLEA. Le trésorier peut dès maintenant enregistrer les commandes mais les Collègues doivent attendre pour la livraison que tirage des diapos et des commentaires pédagogiques préparés par Jean-Paul et Daniel soient tirés (livraison prévue début janvier). Un document qui sera précieux pour préparer l'observation, au printemps, de la comète HALE-BOPP.

Jean-Paul présente ensuite les photos réalisées avec ses élèves au cours de l'éclipse du 12 octobre favorisée par un ciel clair. L'installation comportait des télescopes réalisant des projections du Soleil sur écran et par ailleurs un enregistrement vidéo. En accord avec Berthomieu observant depuis Ampus, dans le Var, ils avaient convenu de mesures pour déterminer la distance de la Lune et leurs résultats ont été tout à fait satisfaisants. Causeret note à ce sujet qu'une disquette a été mise au point par le CRDP de Dijon. Parmi les photos de Jean-Paul, celle particulièrement réussie des reflets du Soleil éclipsé renvoyés par les vitres sur le mur d'en face. Il n'est pas inutile de rappeler que tous ceux qui ont organisé des observations de l'éclipse avaient pris la précaution d'alerter les élèves sur les précautions indispensables. A notre connaissance, aucun incident ou accident n'est à déplorer.

**Roger Meunier** (Le Chatelet en Brie) a construit avec des ressources réduites un spectrographe conçu pour l'étude du Soleil. Il a pu le transporter et les collègues sont invités à le voir de près et à discuter avec lui de sa réalisation et de son utilisation dans la salle voisine au cours de la courte pause qui va suivre.

Cette première pause permet aussi aux participants de voter pour le renouvellement du conseil du CLEA et pour se procurer auprès de Francette certaines de nos productions.

**Madame Françoise Ollivier** présente certaines réalisations de l'IREM d'Orléans. Un groupe de professeurs de mathématiques ou de physique s'est spécialement intéressé à l'aide que le rétroprojecteur peut apporter à l'enseignant. Ce groupe a dégagé quelques principes que devraient observer les installations de nos classes pour que l'utilisation d'un rétroprojecteur soit facile et efficace. Ce même groupe a réalisé un certain nombre de transparents qui sont diffusés par l'IREM ; ils portent sur les mouvements du couple Terre-Lune, sur les saisons, sur les éclipses, sur les phases de la Lune, etc... Dans chaque cas, il est nécessaire de superposer plusieurs transparents et pour obtenir facilement une judicieuse superposition, le groupe a mis au point une réglette munie de deux ergots sur lesquels viennent se placer les trous de chaque transparent, système aussi ingénieux que simple assurant la superposition recherchée. Un dossier sur disquette a été également mis au point sur le traçage des transparents.

**Martine Bobin** (Les Ulis) rend brièvement compte de l'université d'été de Gap qui a réuni, du 20 au 29 août 50 stagiaires encadrés par 20 animateurs. Ce taux particulièrement élevé d'animateurs a permis à ceux-ci de consacrer une partie de leur temps au GRP, groupe de recherche pédagogique, sur les thèmes suivants : interdisciplinarité lettres-sciences, astronomie et histoire des sciences, projet AOL (*Astronomy On Line*) et la préparation d'un Hors série n°8 qui serait consacré aux activités mathématiques et physiques aux niveaux de la Troisième et de la Seconde, un niveau où les élèves ne sont pas obnubilés par la préparation de l'examen.

**Josée Sert** (Toulouse) a la charge de déléguée pour la France de l'Association Européenne pour l'Enseignement de l'Astronomie (EAAE en anglais). Elle commence donc son exposé en rappelant l'origine de l'EAAE ; un séminaire sur l'enseignement de l'astronomie en Europe, organisé conjointement par l'Union Européenne et l'Observatoire Européen Austral (EU/ESO) s'est tenu à Garching, au siège de l'ESO, du 25 au 30 novembre 1994. Ce séminaire a réuni plus de 100 professeurs venant de 17 pays différents. Réunion particulièrement fructueuse par les échanges qu'elle a permis et par le projet formé d'une association européenne. Celle-ci s'est constituée lors de l'assemblée réunie à Athènes du 22 au 26 novembre 1995. Les membres de son comité exécutif, dont fait partie notre Présidente, se sont réunis à Garching le 6 mai 1995. Les statuts adoptés à Athènes élargissent le recrutement de l'EAAE à toutes les personnes et organismes qui travaillent à l'enseignement de l'astronomie (par exemple, les planétariums). Enfin l'EAAE bénéficie d'un financement européen.

Au sein de l'EAAE, des groupes de travail sont constitués :

- sur le fonctionnement de l'association ;
- sur l'établissement d'une liste des concepts physiques et astronomiques qui devraient être acquis selon l'âge des élèves ;
- sur la formation initiale ou continue des enseignants ;
- sur les activités à proposer aux étudiants ;
- sur les matériels didactiques ;
- sur l'édition de documents utiles aux enseignants ;
- sur l'éducation du grand public, etc.

La réalisation de toutes ces activités requiert des crédits qui sont inévitablement limités ; le recours à Internet peut être une solution.

**Le projet AOL (Astronomy On-Line)** a été présenté dans le CC 75 (p.23). Il bénéficie du soutien du Ministère de l'Education Nationale et la diffusion du projet a bénéficié de l'appui de Jean-Yves Daniel. Le projet comporte aussi un certain partenariat de France-Télécom qui n'a pas fonctionné aussi bien que prévu. Au contraire le soutien de l'Institut d'Astrophysique de Paris, site-miroir de l'ESO a été et est très efficace. On peut aussi regretter au sujet d'AOL le peu d'échos dans la presse écrite ou les médias. Le bilan est pourtant assez impressionnant, 700 inscrits dont 20 non-européens (100 inscrits en France). Le succès est particulièrement marqué au Danemark et en Grèce.

Josée donne un aperçu de ce qu'on trouve sur le serveur IAP <http://www.IAP.fr>. En particulier sur "Marketplace". Par exemple, des projets d'observations d'aurores polaires, de renouvellement des mesures d'Eratosthène entre groupes de Danemark et de Grèce, de mesures des distances dans le système solaire, de dénombrements des météores dans un lieu déterminé et dans une période déterminée. Possibilité de relations entre groupes, de mettre au point et de perfectionner des logiciels, de diffuser des exercices, etc.

Il y aura des leçons à tirer du projet AOL. Déjà certains collègues se posent des questions du genre : si l'organisation internationale est inévitablement assez lourde, il faut sans doute prévoir des délais plus longs pour l'organisation. Car on espère bien qu'après le projet AOL, il y en aura d'autres.

Francette qui assure le secrétariat de l'AG dans la salle voisine dispose de bulletins d'inscription à l'EAAE. Pour une cotisation annuelle de 70 F vous pouvez être tenus au courant des réalisations et projets de l'EAAE.

**Josette Ueberschlag** précise quelles ont été les intentions du CNDP vis à vis de AOL. Le CNDP, en liaison avec le CLEA et l'IAP a cherché à mettre à la disposition des collègues des textes en français sur Internet. On a cherché à repérer les ressources puis à fournir des documents, des photos et des schémas faciles à reproduire. On s'est aussi préoccupé d'actualiser cette documentation car il est évident qu'il faut recueillir du neuf et supprimer ce qui devient obsolète.

Avant de clore la première partie de l'assemblée générale, la Présidente constate avec satisfaction comment les enseignants du CLEA prennent possession de ce nouvel outil qu'est Internet. Dans ce cas comme à propos d'autres moyens de communication, il faut se familiariser avec son utilisation avant d'en maîtriser l'usage pédagogique.

La pause déjeuner - Moment important de l'assemblée générale car il est particulièrement propice aux échanges entre participants dans le climat de convivialité qui appartient au CLEA et qui se trouve ici spécialement favorisé par le repas pris en commun et préparé par Béatrice Sandré. Rendons lui donc hommage pour cette réalisation parfaite pour laquelle elle a trouvé l'aide de Annie Petit, de Claudine et Jean-Pierre Semerjian, de Catherine Vignon et de Lucette Bottinelli.

La lecture du menu donnera beaucoup de regrets aux absents mais nous ne pouvons garder pour nous ce souvenir : apéritif kir-medoca et jus de fruit, tarte aux poivrons, charlotte d'agneau aux aubergines, riz et purée d'aubergines, salade, fromage et dessert. Précisons que ce dessert était une magnifique pièce montée de choux à la crème et au caramel figurant un grand télescope. Ce chef d'oeuvre était entouré des 20 bougies pour l'anniversaire du CLEA que la présidente fut invitée à souffler avant dégustation collective. Merci Béatrice et encore bravo !

### REPRISE DES COMMUNICATIONS

**Philippe Huyard** nous rappelle que la ville de Saint-Etienne, dont il anime le planétarium, est située sur une terre qui a eu une longue histoire géologique, origine de sa fortune et de ses industries. Il a donc le plaisir d'inviter le CLEA à y réunir son AG 97 et propose que le thème des sciences de la Terre y soit privilégié. Applaudissements valant approbation.

**René Cavaroz**, proviseur du lycée Alain Chartier de Bayeux, a fondé un club ALTAÏR qui a réalisé un beau travail sur le Soleil.

**Jean-Paul Rosenstiehl** présente quelques exemples d'exercices que son logiciel CLEASTRO permet d'illustrer. Il tient ce logiciel à la disposition des collègues au prix coûtant de 20 F

**Michèle Gerbaldi** introduit alors ce qui est le grand moment des AG du CLEA, aujourd'hui une conférence de Lucienne Gouguenheim. Notre Présidente a su cumuler, depuis les vingt années qui nous séparent de la conférence de Grenoble, l'affection et la reconnaissance de tous les collègues, enseignants et astronomes, entraînés par elle dans l'entreprise sans doute interminable mais passionnante de diffusion et de formation de l'esprit scientifique. Sa conférence est suivie avec attention par tous les participants qui l'applaudissent.

L'assemblée générale est close à 17 h 30.

### ELECTION DU CONSEIL DU CLEA POUR 1997

Les membres du CLEA ont élu à l'unanimité des 78 votants la liste présentée (le nom est suivi de l'académie ou du groupe représenté) :

Agnès ACKER (Strasbourg), Daniel BARDIN (Marseille), Francis BERTHOMIEU, Lucette BOTTINELLI, André BRAHIC, Pierre CAUSERET (Dijon), Jean CHAPELLE (Clermont-Ferrand), Frédéric DAHRINGER (Rennes), Françoise DELMAS, Christian DUMOULIN (groupe inter IREM), Bernadette DURIEUX (Nancy-Metz), Marie-France DUVAL (Aix-Marseille), Maruse Faydi, Jean-Luc FOUQUET (Poitiers), Christiane FROESCHLE (Nice), Michèle GERBALDI, Hubert GIE, Lucienne GOUGUENHEIM, Edith HADAMCIK (Créteil), Jean-Claude HERPIN (UdP), Michel LAISNE, Roger MARICAL (Rouen), Lucette MAYER (Orléans-Tours), Francis MINOT (APMEP), Jean-Paul PARISOT (Bordeaux), Jean-Claude PECKER, Claude PIGUET (Lyon), Annie PINCAUT (Reims), Henri REBOUL (Montpellier), Jean RIPERT (Toulouse), Jean-Paul ROSENSTIEHL (Nantes), Béatrice SANDRE (Versailles), Nicole SANGLERAT, Liliane SARRAZIN, Evry SCHATZMAN, Josée SERT (EAAE), Françoise SUAGHER (Besançon), Daniel TOUSSAINT (Reims), Victor TRYOEN, Jacques VIALLE, Michel VIGNAND (La Réunion), Catherine VIGNON (Paris), Denise WACHEUX (Lille), Gilbert WALUSINSKI.

## LA MESURE DU TEMPS III - L'INVENTION DE LA SECONDE

Françoise SUAGHER (suite)

### UN PROGRES DECISIF.

Les foliots, régulateurs à inertie, contiennent en eux la source de leur irrégularité, car le temps qu'ils mettent pour permettre l'échappement dépend de toutes sortes de facteurs externes (état d'usure des palettes, des dents de la roue de rencontre, de la viscosité des lubrifiants, ...)

Ibn Younis, astronome arabe au début du XI ème siècle avait dit-on observé qu'un corps suspendu à une corde donnait des oscillations à peu près égales. En 1612, le médecin italien Sanctorio imagine un système qui comptabilise mécaniquement les oscillations. Ce travail est repris par Galilée. Il imagine une combinaison où le balancier est aussi peu influencé que possible.

Mais le problème n'est définitivement résolu que par Huygens, qui réunissant le principe de Sanctorius, à celui des horloges à échappement; imagine en 1656, d'entretenir le pendule par l'échappement lui-même. Dorénavant l'horloge ne résulte plus d'un équilibre fragile entre l'entraînement du poids et l'inertie du foliot, mais résulte d'un phénomène pendulaire, oscillatoire, qui possède une période propre, intrinsèque où la source d'énergie n'intervient que pour compenser les frottements et faire fonctionner les annexes comme l'affichage et la sonnerie..

L'échappement à ancre permet d'acquérir un gain en précision de l'ordre de 10 fois. C'est la solution encore employée aujourd'hui pour conserver l'heure dans les horloges et montres mécaniques.

Deux problèmes restent à résoudre : la durée d'oscillation est légèrement variable avec l'amplitude ; la température modifie la longueur de la tige.

### VERS LA MINIATURISATION

Les horloges à poids moteurs ne peuvent pas être transportées, aussi on pense à remplacer le poids par un ressort. On trouve mentionné en 1493, des petits appareils dont on ignore l'inventeur et qui sont à l'origine de nos montres.

Dès l'invention du ressort comme source d'énergie, on fabrique des horloges tours (XVI ème) que l'on pose sur un meuble. Les horloges de table ont un cadran horizontal, gradué de 12 ou 24 heures, avec une seule aiguille et une sonnerie. Celle ci joue vraisemblablement un rôle plus important que l'aiguille, dans un monde où l'heure s'entend plus qu'elle ne se lit. Elles connaissent un grand succès du XVI au XVIII pour disparaître complètement par la suite.

### LES PREMIERES MONTRES

Les premières montres ne sont rien d'autre que l'horloge de table, ronde, miniaturisée. La plus ancienne date de 1548; elle fut créée à Nuremberg. Des montres sont fabriquées également à Augsbourg, Munich, Blois, Rouen, Dijon et Lyon à la fin du XVI ème siècle.

Les premières montres sont en laiton doré, munies d'un cadran gravé, protégé dans un premier temps par un couvercle plein, plus tard savamment repercé. Le pourtour du cadran est équipé d'un dispositif qui permet de connaître l'heure la nuit au toucher. Le cadran a une aiguille et il est gradué en 12 ou 24 heures.

Ces montres sont peu précises, un retard de près d'une heure par jour n'est pas exceptionnel, d'où la nécessité de posséder un cadran solaire de poche pour la remise à l'heure.

L'extrémité du ressort, en se déroulant, entraîne la roue motrice, mais en raison de la détente progressive de la lame, la force motrice décroît au fur et à mesure que le ressort se détend.

Les horlogers mettent près de deux siècles pour résoudre ce problème par l'utilisation de la fusée : au ressort, on fixe une chaînette qui s'enroule autour d'un axe de section conique (la fusée). On compense l'affaiblissement de la tension en augmentant le bras de levier, le couple moteur est alors constant. Sous Louis XIII (1610-1643), la montre devient un objet prestigieux qui éclipse l'horloge.

## **LE RESSORT SPIRAL**

Dans la seconde moitié du XVII la montre bénéficie d'améliorations décisives. Huygens, Hoocke et l'Abbé de Hautefeuille pensent à relier le balancier au rouage par un ressort bien flexible : le ressort spiral de nos montres. La première montre à ressort spiral a été fabriquée en 1675. Cette amélioration de la précision rend nécessaire l'aiguille des minutes. Quare et Barlow réalisent une montre avec une sonnerie à la demande.

Au début du 18<sup>ème</sup> siècle la possession d'une montre est signe d'appartenance à un certain rang social. A cette période les montres dérivent d'une quinzaine de minutes par jour, le recalage se fait par l'intermédiaire du cadran solaire qui devient un objet précieux, de petite taille, très décoratif.

Cependant, les montres sont coûteuses, et du XIV au XVIII<sup>ème</sup> siècle, l'instrument commun de mesure du temps reste le sablier. Il est très commode pour mesurer la durée d'une action, et de plus il est d'un grand emploi en mer ou il est moins perturbé que les horloges.

## **LE SIECLE DE L'HORLOGERIE**

### **DES ETAPES DECISIVES**

Le XVIII<sup>ème</sup> est le siècle de l'horlogerie. Le perfectionnement des montres va subir plusieurs étapes décisives. Graham met au point en 1715 un mécanisme capable d'entretenir les oscillations du pendule des horloges sans en perturber la période.

L'aiguille des minutes apparaît surtout à partir de 1700. En 1704, des rubis sont utilisés pour les pivots des axes. Les montres et les horloges se répandent largement, l'écart s'abaisse à 5 minutes par jour. La remise à l'heure est hebdomadaire, de plus en plus au moyen d'un mini cadran qui ne donne l'heure qu'aux alentours de midi et que l'on appelle méridienne.

Puis l'échappement est encore perfectionné par P. Leroy et T. Mudge avec le système à ancre, entre 1754 et 1759. A partir de ce moment, on ne construit plus de foliot, toutes les pendules nouvelles sont équipées d'une ancre.

Ce progrès foudroyant de l'horlogerie rend possible la mise au point en France et en Angleterre de nombreuses machines-outils. Le mouvement perpétuel est amorcé: on ne peut fabriquer des pendules et des ancres sans machine-outil; mais on ne peut développer les machines-outils sans les inventions des horlogers. Avec la fabrication en série, la montre va devenir meilleure et moins coûteuse. Diverses tentatives de production de masse ont échoué en Angleterre. Le premier à réussir est le savoyard Frédéric Japy, en 1772. Son usine de Beaucourt, à la frontière suisse, regroupe 300 ouvriers et fabrique en série toutes les pièces d'une montre à ancre. Quatre ans plus tard, sa production annuelle est de 100 000 ébauches. Le prix des montres va s'effondrer et devenir accessible aux bourses moyennes.

## LE TEMPS DES MERS

Dans les temps anciens la navigation se fait à l'estime, mais quand on commence à s'aventurer de plus en plus loin sur les océans, il faut trouver des solutions pour déterminer la longitude, la latitude ne posant pas de difficultés particulières, par des mesures de hauteur des astres. Depuis Alonzo de Santa Cruz (1510) et Gemme Frisius (1530), on sait que l'on peut déterminer la longitude par le transport de l'heure. Pierre Kruger applique cette méthode en 1615 en transportant une montre de Koenigsberg à Dantzig.

Mais, à cette époque, aucune horloge n'est assez sûre pour qu'on puisse lui faire confiance en mer. Une horloge qui dérive de une minute par jour provoque au bout d'un mois de navigation une erreur de positionnement de 500 kilomètres. Or, la navigation en pleine mer, stimulée par la découverte des Amériques connaît un essor important. Le commerce triangulaire (pacotille-esclaves- rhum, sucre et coton) banalise la traversée de l'Atlantique. Les grands pays européens Espagne, Portugal, Hollande, Angleterre et France veulent conquérir des empires coloniaux pour augmenter leur puissance. Les gouvernements prennent l'initiative et offrent des récompenses substantielles, à qui résoudra le problème des longitudes en mer.

Il faudra pratiquement tout le XVIII<sup>ème</sup> siècle pour trouver non pas une, mais plusieurs solutions. La méthode astronomique des distances lunaires donne de bons résultats sur Terre, mais elle est très difficile à appliquer sur mer.

En 1765, un charpentier de village anglais, devenu très habile horloger, J Harisson, reçoit du parlement d'Angleterre un prix de 250 000 F pour une montre qui avait donné assez exactement la longitude de la Jamaïque. En France, l'Académie des Sciences, met au concours pour 1767 la meilleure manière de mesurer le temps à la mer. Ce fut une période de grande émulation où se distinguèrent particulièrement P. Leroy et F. Berthoud. Ils figurent en tête de ceux qui contribuèrent, dans une atmosphère de concurrence féroce, à mettre au point puis à fabriquer en série ces merveilles de mécanique que sont les chronomètres de marine, capables de garder à quelques secondes près, l'heure du port d'embarquement pendant plusieurs mois de navigation parfois difficile. Le prix fut remis en 1767 à P. Leroy.

## LE SYSTEME DES POIDS ET MESURES

Partout et toujours, les hommes ont compté, pesé, mesuré pour des besoins de commerce et d'échanges. Mais les systèmes traditionnels d'unités d'espace, de temps, et de monnaie sont complexes, archaïques et surtout multiples. En 1581, Galilée découvre l'isochronisme des oscillations : deux pendules de même longueur ont même période. C'est un lien entre longueur et durée. Au moment de la Révolution, l'idée directrice est d'assurer l'invariabilité des mesures en les rapportant à des étalons pris dans la Nature, donc universels.

Dès 1670, les astronomes Picard, Huygens, et Roemer suggèrent de se référer à la longueur du pendule battant la seconde (environ 99 cm) pour définir l'unité de longueur. Mais en 1672, Richer à Cayenne découvre que cette longueur dépend du lieu d'observation. En 1747 La Condamine propose la référence de l'équateur, et en 1775, Condorcet et Messier préfèrent la latitude 45° plus accessible. Après bien des hésitations, les savants rejettent l'idée du pendule à seconde, en raison de son caractère local et proposent la longueur du méridien terrestre. La seconde, la 86 400<sup>ème</sup> partie du jour, et le mètre sont définis indépendamment l'un de l'autre.

(à suivre)

## Les aurores vous parlent...

mais comment ne pas être surpris que tant de personnes semblent ne jamais les écouter ?

On ne peut croire que, s'attardant toujours dans le sommeil, elles ignorent les joies que procure l'admiration du phénomène. Pourtant, encore récemment, j'ai trouvé, dans un livre destiné aux enseignants qui veulent initier les jeunes enfants à l'astronomie, objectif méritoire entre tous, un dessin exprimant tout de go que chaque jour de l'année, le Soleil se lève à l'Est. Or il suffit, même à un enfant, d'observer le lever du Soleil pour constater que cette affirmation est beaucoup plus souvent fautive que vraie.

Les remarques qui vont suivre ne peuvent donc être très originales ; elles sont écrites pour rappeler toutes les informations que le petit lapin de La Fontaine "qui était allé faire à l'Aurore sa cour" ne manquerait pas de recueillir "parmi le thym et la rosée" pourvu qu'il lève la tête vers le ciel et prenne soin de mesurer quelques angles en surveillant sa montre.

**VOCABULAIRE** - Il y a du flou dans l'usage des trois expressions l'AUBE, l'AURORE et le LEVER DU SOLEIL. Les **Ephémérides** du Bureau des Longitudes constatent : "Dans le langage courant, le crépuscule du matin est appelé aube ou aurore."

Si j'avais le pouvoir de préciser ce vocabulaire, je réserverais l'aube au crépuscule du matin dans toute sa durée (crépuscule astronomique, nautique et civil). L'aurore serait la période de temps qui s'écoule entre la première apparition du bord supérieur du Soleil et l'apparition du globe complet. Le lever du Soleil indiqué dans les **Ephémérides** donne l'heure correspondant au lever de l'astre calculé pour son centre (pour un diamètre apparent du Soleil de 32'), compte tenu de la hauteur sous l'horizon égale à la réfraction atmosphérique horizontale normale soit 36,6'.

**OBSERVATIONS** - Celle de l'aube ne doit pas être manquée ; noter les variations à peine perceptibles de la coloration du ciel dans les directions orientales, sans qu'il soit possible, à ce stade de l'évolution du phénomène, de préciser plus. Quand Vénus est en élongation occidentale, la planète se lève avant le Soleil et brille dans l'aube. Superbe spectacle, j'ai souvenir d'entrées en classe, en hiver, où avant toute autre considération, je faisais éteindre les lumières pour admirer Vénus, la classe de math pouvait commencer par ce moment jubilatoire et les théorèmes du matin en avaient plus de saveur.

Arrive l'aurore, le premier rayon de Soleil direct. Cela correspond à l'expression populaire *le point du jour* (qui donne son nom à un quartier de Boulogne Billancourt, le moment d'un changement d'équipe parmi les ouvriers de chez Renault peut-être). Si l'on tient compte de la réfraction atmosphérique, le centre du disque solaire est alors à 16' au-dessous de l'horizon. Si vous pouvez, notez l'heure pour la comparer à celle donnée par les **Ephémérides**, pour la comparer aussi avec celle que vous noterez quand la totalité du Globe sera au-dessus de l'horizon. Vous en déduirez la durée de l'aurore et si vous faites des mesures assez précises, vous noterez les variations selon les saisons.

L'heure du lever, indiquée pour Paris par les **Ephémérides**, correspond donc à la position du centre du disque solaire à 36,6' au-dessous de l'horizon. C'est cette position apparente qu'il faut repérer avec toute la précision possible. Dans le plan horizontal, il s'agit de repérer une direction. En astronomie la direction origine est celle du Sud ; l'angle compté du Sud vers l'Ouest puis le Nord puis l'Est puis le Sud (dans le sens rétrograde, par conséquent), est appelé *azimut*, noté *a*, et compté de 0 à 360°. La fig 1 rappelle le tracé de la *rose des vents* avec les appellations et les azimuts correspondant aux directions repères secondaires ; Sud (0°), Sud-Sud-Ouest (22,5°), Sud-Ouest (45°), Sud-Ouest-Ouest (67,5°), Ouest (encore noté W comme en anglais, 90°), Nord-Ouest-Ouest (112,5°), Nord-Ouest (135°), Nord-Nord-Ouest (157,5°), Nord (180°), Nord-Nord-Est (202,5°), Nord-Est (225°), Nord-Est-Est (247,5°), Est (270°), Sud-Est-Est (292,5°), Sud-Est (315°), Sud-Sud-Est (337,5°), Sud (360°  $\equiv$  0° modulo 360).

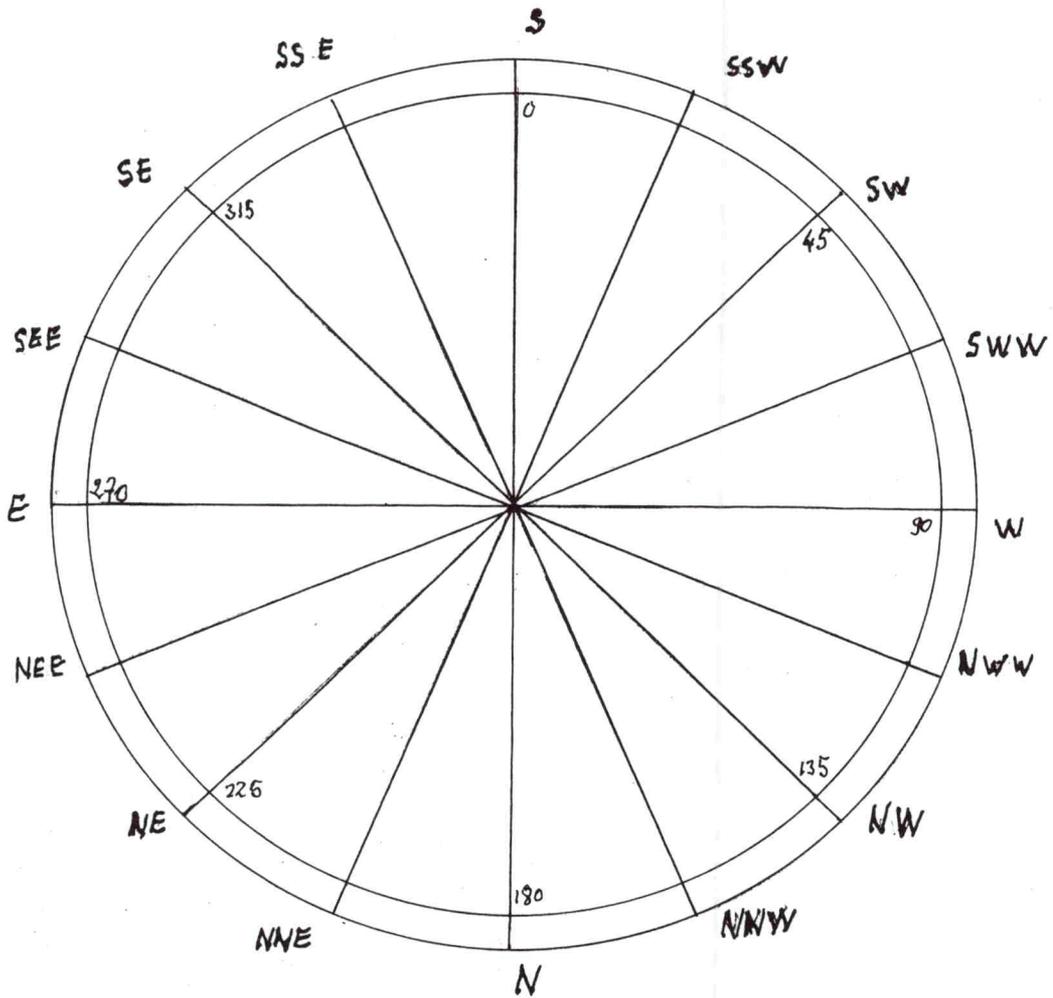


Fig. 1

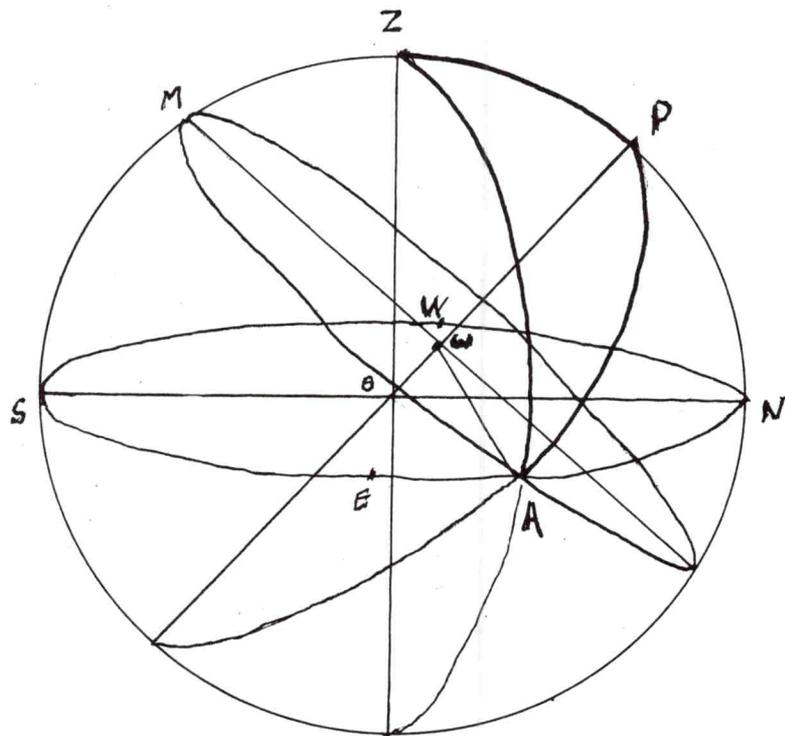


Fig. 2

Corrections de localisation : Les données des **Ephémérides** correspondent aux coordonnées géographiques de l'Observatoire de Paris : longitude  $\lambda = - 9 \text{ min } 21 \text{ s}$  ; latitude  $\phi = 48^\circ 50' 11''$ . J'imagine que les observateurs auront une fois pour toutes calculé les corrections à apporter aux données pour les rapporter à leur lieu d'observation. Dans la suite de ces remarques, les calculs effectués le sont pour Paris.

**CALCULS** - La figure 2 prétend représenter la sphère céleste à l'instant du lever du Soleil le jour où ces remarques sont écrites soit le 19960717. Ce matin le Soleil s'est levé à 4 h 06 (UT) ; à 0 h la déclinaison du Soleil était  $\delta = 21^\circ 11' 01''$ . La hauteur du pôle céleste P au-dessus de l'horizon est donc  $\phi = 48^\circ 50' 11''$ . Le Soleil décrit le cercle de centre w ; il culminera à midi vrai en M et la mesure de l'arc SM est  $90^\circ - \phi + \delta$  soit aujourd'hui  $62^\circ 20' 50''$ . A est la position du centre du Soleil à son lever. Toute l'information sur ce lever est dans le triangle sphérique ZPA :

$$\text{mesures des côtés : } ZP = 90^\circ - \phi \quad ZA = 90^\circ \quad PA = 90^\circ - \delta$$

L'angle de sommet Z est pour nous le plus important ; rappelez vous la définition générale de l'azimut d'un astre (qui ne reste pas dans le plan horizontal), l'azimut d'un astre est la mesure de l'angle formé par le plan méridien du lieu avec le vertical de l'astre ; sur la figure, l'azimut est la mesure de l'angle plan (OS,OA) compté de  $0^\circ$  à  $360^\circ$  à partir de OS dans le sens rétrograde ; l'angle en Z du triangle sphérique, qui sera noté  $Z = a - 180^\circ$ . La relation trigonométrique classique

$$\cos PA = \cos ZA \times \cos ZP + \sin ZA \times \sin ZP \times \cos Z$$

se réduit ici à la relation

$$\sin \delta = \cos \phi \times \cos (a - 180^\circ)$$

soit la mesure de l'azimut du Soleil à son lever :

$$\boxed{\cos a = - \frac{\sin \delta}{\cos \phi}}$$

La formule vous dit tout. Bien sûr vous connaissez votre latitude  $\phi$ . Si vous consultez les **Ephémérides**, vous y relevez la déclinaison du Soleil au jour convenable et vous en déduisez l'azimut du Soleil à son lever. Soit aujourd'hui 17 juillet 1996,  $a = 236,701^\circ$  et la rose des vents vous confirme bien que ce n'est pas l'Est (entre le Nord-Est et le Nord-Est-Est).

Mais la meilleure démarche est inverse : vous observez le lever, vous relevez l'azimut au lever (en notant l'heure) et connaissant l'azimut la formule vous permet une première évaluation de la déclinaison du Soleil. Certes ce n'est pas la bonne méthode classique des observations méridiennes pour mesurer la déclinaison du Soleil. Contentons-nous de cette évaluation. Si vous répétez l'observation à intervalles de cinq jours, vous constatez une variation de l'azimut du lever et par conséquent de la déclinaison du Soleil. Exemple, autour du 17 juillet où j'écris cette note, l'azimut du lever est croissant, il se rapproche du Nord-Est-Est, ce qui correspond à une déclinaison positive et décroissante, caractéristique de l'été.

Goûter les joies de l'aurore, vous permet de démentir cette phrase imbécile si souvent répétée "il n'y a plus de saison". Etes-vous si impatient de revoir le Soleil se lever à l'Est ?

G.W.

"...  
*Quel important besoin  
 Vous a fait devancer l'aurore de si loin ?  
 A peine un faible jour vous éclaire et vous guide."*

Racine (*Iphigénie*)

*"Nous, croyants de l'avenir, qui mettons la foi dans l'espoir, et regardons vers l'aurore..."*

Michelet (*Histoire de la révolution française*)

## Les Olympiades Astronomiques en Pologne

En rangeant mes tiroirs, comme Gilbert le fait fréquemment, j'ai trouvé une photo du groupe des participants de l'avant-dernière Olympiade Astronomique polonaise. Et cela m'amène à raconter aux lecteurs des CC un peu de détails sur ce genre d'activité pour les élèves du lycée.

Les Olympiades liées aux sujets enseignés au lycée existent en Pologne depuis environ 45 ans ; les premières furent celles de Mathématiques et de Physique. Chacun de ces concours est divisé en trois étapes : la première se fait à l'école, la seconde, pour une région (plusieurs provinces) dans une université voisine, la troisième, finale, se passe ordinairement à Varsovie, à l'exception de l'Olympiade Astronomique. Les vainqueurs, 5 ou 10 premières places, ont l'entrée libre à l'université pour étudier le sujet correspondant au sujet de l'Olympiade.

A la dernière, la 39-ème Olympiade Astronomique les participants ont été moins nombreux : seulement 85 personnes (en comparant avec environ 150 personnes les autres années) ont pris part à la première étape, 37 ont été qualifiées pour la seconde étape, tandis que 14 sont arrivées aux finales, qui se passent au plus grand planétarium polonais à Chorzow en Silésie. Le côté technique, l'envoi des affiches présentant les thèmes, la correction des travaux écrits, est assurée par le personnel didactique du Planétarium de Chorzow, tandis que la préparation des problèmes astronomiques ainsi que la distribution des places dans les étapes sont sous la responsabilité du Comité (Jury) de l'Olympiade, composé d'une douzaine d'astronomes et physiciens professionnels venant de toute la Pologne (je m'y trouve depuis 7 ans). Le président du Comité fût pendant quelques années le professeur Jozef Smak, un des vice-présidents de l'Union Astronomique Internationale ; depuis deux ans c'est le professeur Jerzy Kreiner, membre de la Commission de l'Enseignement de l'Astronomie de l'UAI.

Vous allez me demander quels sont les problèmes abordés aux différentes étapes de l'Olympiade ? Je vais vous en donner des exemples, car maintenant on peut les dévoiler ; ils seront publiés dans un des numéros prochains de l'URANIA, notre revue populaire.

### ETAPE I

1. Discuter la distribution des masses dans les galaxies où la distributions des vitesses des étoiles se fait selon l'une des trois relations possibles données.
2. Calculer les dates pendant lesquelles on pourra observer un certain cratère de la Lune au cours du mois de décembre.
3. Réfléchir et calculer quelle autre étoile sera à l'avenir plus près du Soleil que le triple système Alpha Centauri (la liste des étoiles actuellement plus proches que 15 a.l. avec leurs paramètres physiques est donnée).
4. Comment peut-on déterminer la position d'un navire, si on a le calendrier astronomique de l'année précédente ?
5. Quelle est la vitesse de fuite d'une galaxie dans laquelle on a repéré une étoile supernova du type I à l'éclat maximum donné.
6. Décrire les résultats de la collision de la comète Schumacher-Lévy avec Jupiter,
7. Décrire les découvertes les plus importantes dues au télescope Hubble.

Il fallait aussi résoudre l'un des problèmes pratiques :

- a/ essayer d'observer l'une des quatre occultations d'étoiles par la Lune prévues pour septembre et octobre, et noter le temps de cet événement ,
- b/ d'après des observations photographiques déterminer la distance angulaire de l'étoile

Polaire du Pôle.

c/ raconter ses propres observations du ciel faites pendant l'année.

## ETAPE II

1. Déterminer l'épaisseur de la couche d'une écosphère autour du Soleil et autour de Sirius, en déterminant la température à la distance d'une U.A. du Soleil, et connaissant la relation entre les éclats du Soleil et de Sirius ,
2. on sait que dans un certain lieu mégalithique /comme Stonehenge en Angleterre/ dont les coordonnées sont connues on observait plus spécialement le coucher de Capella; déterminer l'époque de cet événement si connaît l'azimut et la déclinaison de cette étoile, avec sa variation,
3. l'astronome grecque Aristarque mesurait les distances de la Lune et du Soleil de la Terre ; connaissant sa méthode et la fausse valeur obtenu pour la Lune, déterminer la fausse distance du Soleil,
4. ayant sous la main les diagrammes H-R pour les Pléiades et quelques autres amas ouverts, déterminer leurs distances, la distance des Pléiades étant donnée.

## ETAPE III

1. sous le dôme du Planétarium on voit reproduite la situation d'une éclipse totale de la Lune en 1996 pendant sa phase maximale ; en disposant d'une carte du ciel et d'une calendrier astronomique pour 1996, déterminer le lieux /coordonnées géographiques/ de l'observation et son moment en temps solaire moyen local; évaluer les erreurs des observations et leurs influences sur les résultats calculés,
2. un certain amas globulaire a environ 0,5 millions d'étoiles; son diamètre angulaire est 25' et sa distance 6,3 kpc; quel sera le ciel vu par un observateur qui se trouve dans cet amas,
3. dans les systèmes doubles serrés la matière qui se déplace d'une étoiles vers l'autre forme un disque d'accrétion, l'énergie de cette matière est responsable de l'éclat ; quelle est la température du disque près de la surface de l'étoile si on connaît sa masse et son diamètre,
4. quelle aurait été la période du pulsar situé dans la Nébuleuse du Crabe, si les astronomes chinois avaient pu la mesurer lors de la découverte de la supernova en 1054; les relations entre l'énergie cinétique et la période du pulsar ainsi que les caractéristique du pulsar au moment de sa découverte en 1968 sont donnés,
5. un certain astéroïde devait éclipser une étoile de coordonnées connues à une certaine date; déterminer la durée maximale de cet événement si l'on sait quel est le diamètre et la distance de l'astéroïde au Soleil, et si l'on admet que les orbites de la Terre et de la petite planète sont des cercles concentriques.

Si le temps avait été favorable pendant les 2 jours qu'a duré cette étape, au lieu de travailler sous le dôme du Planétarium /problème no.1/ les élèves auraient eu à résoudre un problème lié à la précision des observations faites à l'extérieur, avec un petit télescope.

Cécylia Iwaniszewska

---

Jeudi 19 Décembre, à l'Université de Genève, notre amie Nicoletta Lanciano soutiendra sa thèse en didactique, qui porte sur : "les objectifs éducatifs et les stratégies pédagogiques pour l'enseignement de l'Astronomie à l'école élémentaire en Italie". Un beau travail, que les lecteurs des Cahiers connaissent déjà un peu, et sur lequel nous aurons amplement l'occasion de revenir. En attendant, toutes nos félicitations à Nicoletta !

## Lectures pour la Marquise et pour ses Amis

**LE CHAOS** par Ivar Ekeland ; collection Dominos (N°73), 124 p. ; éd Flammarion 1996 (39 F)

L'Auteur est mathématicien au Centre de recherches de mathématiques de la décision (Université de Paris-Dauphine), ce qui aurait pu éloigner son attention des problèmes de l'astronomie. Mais il a lu et compris l'oeuvre de Henri Poincaré, en particulier son mémoire de 1889 "*Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique*" ainsi que les volumes des **Méthodes nouvelles de la mécanique céleste** publiés par Poincaré de 1892 à 1899 : un centenaire digne en effet de commémoration.

Tout le sujet de ce beau petit livre est donc là, dans la conclusion du mémoire de 1889 : il n'est pas possible d'exprimer les positions et les vitesses des trois corps pour toutes les valeurs du temps en recourant aux seules fonctions usuelles, il faut recourir à des séries qui, à terme, deviennent divergentes. Vous me direz que Laplace avait pu établir des éphémérides du système solaire en bon accord avec les positions observées de 240 av J-C à 1715, soit pendant près de deux mille ans. Que cela confirmait les travaux des Clairaut, d'Alembert et autres Lagrange qui concluaient à la stabilité du système solaire. Et en se fiant à ces résultats, et aux mêmes méthodes et grâce aux calculs de Bouvard, Adams et Le Verrier avaient pu, un demi-siècle plus tard, et chacun de son côté sans copier sur le voisin, découvrir Neptune "au bout de leur plume". On célèbre, à juste raison, ces triomphes de la science. Mais il est encore plus remarquable que les travaux de Poincaré perfectionnent ce triomphe en relativisant cette stabilité. A court terme, c'est à dire pour des intervalles de quelques centaines de siècles, la stabilité peut être considérée comme réelle, mais à l'échelle de cent millions d'années, le système solaire est chaotique.

Ekeland a eu la bonne idée de ne pas commencer son livre sur le chaos par l'exemple du système solaire sur lequel je viens de m'attarder. Il prend l'exemple plus simple d'un jouet instructif, "la roue et le pantin", qui tourne dans un sens ou dans l'autre après les pirouettes du pantin, non pas alternativement mais comme au hasard : après deux tours dans un sens, trois dans le sens inverse puis un seul dans le premier sens puis deux dans l'autre, etc ; impossible au spectateur de prévoir la suite des pirouettes directes ou inverses. Le jouet est conçu de telle façon que son temps caractéristique T soit très court. Ce temps caractéristique T est défini comme celui au bout duquel une petite perturbation initiale est multipliée par 10. Au bout de dix T, quelles que soient les données, aucune prévision n'est plus possible. On pourrait énoncer cela sous forme d'une "moralité" : petites perturbations deviennent grandes pourvu que le temps leur soit laissé de grandir.

Ne pas penser, cependant, qu'un système dépendant d'un grand nombre de paramètres (par exemple, un modèle de l'atmosphère terrestre qui serait bien utile aux météorologistes) soit forcément chaotique. Le modèle de Lorenz ne nécessite que trois variables explicatives qui permettent de visualiser dans un espace à trois dimensions l'état d'un système chaotique. L'ordinateur dessine alors l'étrange figure d'un attracteur décrit de façon très imprévisible par le point-image des états du système.

L'avenir de la prévision n'est pas fermé, mais limité. Pour des durées inférieures au temps caractéristique T, on peut suivre un système chaotique par le calcul, pas pour des durées supérieures à dix T. Conclusion à grande portée d'un petit livre qui fait beaucoup réfléchir : "*Entre le modèle mathématique et la réalité physique, un espace intermédiaire a été découvert, qui est celui du calcul.*" Nous ne sommes plus aux temps de Kepler, de Newton ou d'Einstein, non plus à celui de Poincaré, mais au temps des ordinateurs.

C.W.

**LES SCIENCES DU CIEL - Bilan et perspectives - Concepts et vocabulaire** - sous la direction de Pierre Léna ; 688 p. ; éd Flammarion 1996 (199 F)

Voici un ouvrage de référence qui rendra grand service aux enseignants. Dans la première partie de l'ouvrage, des spécialistes dressent le bilan des activités dans leur domaine. La formule adoptée veut que la synthèse ainsi présentée soit brève sans entrer dans le détail des théories ou des calculs éventuels de justification. La réussite est assurée si l'auteur domine bien sa spécialité. La lecture des notices *Le temps et l'espace* et *Les origines* par Laurent Nottale sont, à ce point de vue, des modèles. Et comme tous les aspects de la recherche astronomique sont traités, l'ouvrage sera consulté comme un dictionnaire et aiguillera les lecteurs vers les meilleures sources d'information. Y compris sur la vie et

l'organisation administrative de l'astronomie. Le chapitre de l'enseignement général de l'astronomie ne pouvait être mieux traité que par notre Présidente.

La deuxième partie, *Concepts et vocabulaire* contient plus de 700 entrées rangées par ordre alphabétique depuis *aberration chromatique* jusqu'à *zodiaque* mais en passant par des concepts moins familiers comme *globule de Bok* ou *lobe de Roche*. Par hasard, car je n'ai pas tout lu, j'ai un peu tiqué sur la définition de l'année tropique : "*L'année tropique est la durée d'une révolution de la Terre autour du Soleil entre deux équinoxes de printemps*" (j'aurais préféré la durée moyenne d'une révolution...)

En fin de volume, on trouve aussi une très précieuse information, constantes physiques, satellites naturels dans le système solaire, les principales missions spatiales depuis 1975, les catalogues et les bases de données en astronomie, de très utiles repères bibliographiques.

Dans une République consciente de ses devoirs, un tel ouvrage devrait figurer dans toutes les bibliothèques des lycées et des collèges à portée de main de tous ceux, enseignants et élèves, qui s'intéressent à l'astronomie.

G.W

**CONTES ET LEGENDES DES ETOILES** par Hervé Burillier ; 20 diapositives + 1 p. de notice ; éd Burillier, place Lucien Laroche, 56000 Vannes (200 F + 30 F de port).

Il s'agit d'une série de diapositives reproduisant des pages de différentes cartes du ciel anciennes. En ce sens, il s'agit d'une excellente initiative qu'il convient de saluer. Mais, les diapositives ne sont malheureusement pas titrées et la notice se borne à rappeler les légendes qui s'attachent aux constellations en omettant de mentionner la source de la reproduction. C'est grand dommage car l'éditeur a manqué là une excellente occasion de rappeler l'histoire de la cartographie céleste. Selon lui, il s'agit là d'un tirage d'essai et une seconde édition devrait voir le jour dans quelque temps. Nous resterons donc provisoirement sur notre faim tout en encourageant l'éditeur à produire un tirage plus complet accompagné de remarques sur les cartes célestes.

J.Vialle

**LES APPRENTIS SORCIERS**, Fritz Haber, Wernher von Braun, Edward Teller par Michel Rival ; collection "Science ouverte", 240 P. ; éd Seuil 1996 (130 F)

Dans un livre antérieur, qui traitait dans toute son ampleur de la vie et de l'oeuvre de Robert Oppenheimer, Michel Rival avait déjà abordé le problème de la responsabilité du savant face au danger des applications de ses découvertes pour l'avenir de l'humanité. Se trouvait aussi posée l'interrogation sur les relations du savant avec la société dans laquelle il travaille et toutes les questions politiques, économiques sociales et morales qui en découlent. Dans le cas d'Oppenheimer, la personnalité du savant autant que l'importance de la bombe d'Hiroshima donnaient au drame qu'a vécu l'homme une particulière résonance.

Pour les trois savants que Michel Rival nous présente dans son nouveau livre, le fameux problème de la science homicide se pose dans des conditions historiques différentes : en 1915, il s'agit de la fabrication et de l'utilisation dans les tranchées de la première guerre mondiale des gaz asphyxiants, en 1942 de la fabrication des fusées capables de traverser Manche et Mer du Nord à partir des pistes continentales et, en 1946, la deuxième guerre mondiale en principe achevée, la mise au point de la bombe H, instrument non plus seulement de destruction massive mais qui pourrait, si on l'utilisait pour de vrai, devenir l'arme d'anéantissement total.

La comparaison des quatre "inventions" quant à leurs rendements homicides ne nous concerne pas et je ne sais s'il y aura des lecteurs intéressés par la question. Dans tous les cas, comprendre les motivations des inventeurs et la façon dont ils ont assumé leurs responsabilités est autrement instructif et là est toute la différence. Oppenheimer a vécu son drame de façon si profonde et si bouleversante, avec ses phases d'hésitations et de scrupules qu'il nous a transmis un véritable message, grâce à quoi, la bombe d'Hiroshima, nous nous en sentons aussi responsables que lui-même. Rien de tel avec les trois "apprentis sorciers" du livre actuel.

L'acharnement qu'ils ont montré à poursuivre leur entreprise exigeait, dans chaque cas, une sorte de hautain aveuglement. Bien sûr, Haber prétend que ses gaz mortels pourront abrégés les massacres de la boucherie mondiale n°1 mais, par ailleurs, il ne semble pas avoir été le moins du monde ébranlé par le suicide de son épouse qui avait été bouleversée d'apprendre les buts poursuivis par son époux. De même, en 1946, c'est par anticommunisme viscéral et irrationnel que Teller pousse aux essais de bombe H. De son côté, von Braun veut ses bombes volantes tout en sachant que leur réalisation passe

par la monstrueuse exploitation des déportés du camp de Dora qui par milliers périront... Comment oublierions-nous ces martyrs et ces victimes de Londres quand nous admirons aujourd'hui les découvertes merveilleuses des sondes de la NASA.

Le livre de Michel Rival est donc utile pour nous rappeler que maints outils et découvertes dont nous profitons ont été forgés, dans les pires conditions souvent, dans les plus sombres laboratoires secrets de la boucherie mondiale n°2. Ce livre m'a également donné la bonne idée de relire un texte ancien que l'historien Jules Isaac écrivit en 1922, à son retour des tranchées : **Paradoxe sur la science homicide et autres hérésies** (édition Rieder, 1936) dont je détache cette citation : "*Constatons présentement que la malignité humaine existe et qu'elle aussi s'entend à utiliser le progrès scientifique, car, dans la lutte qui se poursuit indéfiniment sur terre entre le Bien et le Mal – voilà le grand mot lâché – la Science est neutre. Cette neutralité, je n'hésite pas à le dire, est un crime. Et je crois avoir démontré qu'elle met la civilisation en péril de mort.*"

Paroles de 1922, mais sont-elles inactuelles ? Gargantua disait déjà : "*Selon le sage Salomon, sagesse n'entre point en âme malivole, et science sans conscience n'est que ruine de l'âme*"

G.W

**LA PHYSIQUE QUANTIQUE** par Etienne Klein ; collection Dominos (n°99), 124 p. ; éd Flammarion 1996 (39 F)

La physique quantique n'a pas fini de poser des problèmes probablement insolubles aux vulgarisateurs, aussi savants soient-ils tant du côté de la physique que de l'art de la vulgarisation. Ce qui est le cas d'Etienne Klein dont on apprécie l'art d'écrire dans ses billets mensuels de **La Recherche** ou dans son précédent "domino" sur le temps (n°52). Ici, dès l'abord, il cherche abri sous la citation de ce grand physicien (n'est-ce pas Richard Feynman ?) qui disait à ses étudiants "Si vous m'avez compris, c'est que je n'ai pas été clair".

La lumière, se propage-t-elle comme une onde ou comme un flux de particules ? En sortant de ma première visite au Palais de la Découverte, le 30 septembre 1937, je me plongeais avec ravissement dans le livre de Louis de Broglie **La physique nouvelle et les quanta**. Je crus l'avoir bien compris et l'exposé m'avait paru clair. Cela ne devait pas être tout à fait vrai car le petit livre de Klein m'ouvre, je crois, de nouvelles portes...

A partir de l'expérience classique des deux fentes, ces leçons : une particule n'est pas un corpuscule, ses propriétés dépendent du dispositif qui la révèle ; les propriétés de la particule ne sont pas détachables des conditions de sa manifestation ; la nature des appareillages détermine le type de phénomènes observés. Bref, les particules ne sont ni ondes ni corpuscules mais se manifestent tantôt sous des aspects corpusculaires, tantôt sous des aspects ondulatoires. Les particules quantiques ne possèdent pas les deux attributs (position et vitesse) simultanément. Le principe d'incertitude de Heisenberg équivaut à cette limitation de la représentation corpusculaire des particules.

Mais écrire cela en sortant de la lecture de ce bon petit livre, n'est-ce pas montrer que je continue à pénétrer dans la physique quantique comme un voyageur égaré dans une forêt envahie par le brouillard ?

G.W.

**LES SCIENCES AU LYCEE un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger**, sous la direction de Bruno Belhoste, Hélène Gispert et Nicole Hulin ; 330 pages ; édition INRP et Vuibert 1996.

La science est vivante, elle l'était en 1900, elle l'était en 1960 et elle l'est en 1996. Adapter l'enseignement scientifique scolaire aux exigences de la science est donc une nécessité qui doit entraîner un renouvellement des pratiques pédagogiques. Henri Poincaré, Emile Borel, Paul Langevin le pensaient en 1902, leurs successeurs, Gustave Choquet, André Lichnerovitz, André Lagarrigue en 1960 le pensaient et surent animer des mouvements de réforme. L'étude collective que le présent ouvrage nous présente est donc un livre d'actualité. Il a le premier mérite de mettre à notre disposition une documentation sérieuse et de l'étendre à quelques aspects de certaines réformes en Allemagne, en Grande Bretagne, en Italie, en Belgique et aux USA ainsi qu'en URSS.

Réformer l'enseignement des mathématiques au lycée entraînait évidemment la nécessité de réformer la formation des enseignants et d'envisager enfin leur formation continue. Rares furent les réformateurs du secondaire à penser que les élèves du lycée sortent de l'école primaire et ce domaine sort du champ du présent ouvrage. Pourtant, il serait temps de considérer que la formation de l'esprit scientifique doit commencer dès l'éveil.

Il faudrait aussi considérer la publication et la diffusion d'ouvrages comme celui-ci n'est pas un acte de révérence à l'égard d'initiatives passées mais d'information nécessaire en vue des actions à mener maintenant. G.W.

**LE SOLEIL ET SES PLANETES**  
**LES GRANDS ASTRONOMES, XVème XVIIIème siècle**  
**L'ESPACE**

Trois volumes de la collection BT Espace dus à Jean-Pierre Penot et édités par les Presses de l'Ecole Moderne Française et le CNES.

Ces ouvrages sont à recommander pour le niveau de l'école élémentaire, en particulier pour la sûreté de leur documentation et le souci pédagogique de la présentation. Dans chaque ouvrage, un glossaire explicatif.

Le troisième de ces ouvrages fait partie d'une collection intitulée "30 mots clés pour comprendre". Ici, pour comprendre toutes les activités liées à l'exploration de l'espace.

**LE CONTEUR D'ETOILES** par Robert Carde ; vol 1 Les constellations du zodiaque ; vol 2 Les constellations du ciel d'été ; chaque 98 F ; édition Eveil (10 rue Goulebenèze, 16710 ST YRIEX)

**DANS LES REVUES**

**La Recherche** – Septembre 1996 – Un dossier sur les nouvelles planètes : la formation des planètes (Roger Ferlet) ; la surprenante diversité des planètes géantes (Tristan Guillot et Gilles Chabrier) ;  $\beta$  Pictoris, une étoile pas comme les autres (Roger Ferlet) ; stratégies de recherche et perspectives (Jean Schneider).

– Octobre 1996 – Histoire des sciences : la radioactivité, le Soleil, la Terre et la mort de Kelvin (Pascal Richet).

– Novembre 1996 – Interférométrie optique, ombres et lumières sur l'Univers (Sacha Loiseau et Guy Perrin).

**Pour la Science** – Septembre 1996 – La nature de l'espace et du temps (Stephen Hawking et Roger Penrose)

**L'Astronomie** – Juillet-août 1996 – Les observations de Jupiter par la sonde Galileo (Pierre Drossart) – Jupiter, dis-moi comment tu oscilles, je te dirai qui tu es (Benoît Mosser).

– Septembre 1996 – Ganymède, les premières images reçues de Galileo (Olivier de Coursac)

**ERRANCES** Sur la demande des responsables du CRDP de Caen, j'avais écrit deux mots de préface à une brochure qui s'intitule **50 titres – Découvrir l'astronomie en BCD**. Je ne regrette pas d'avoir très modestement contribué à l'édition de cette documentation dont l'utilité est évidente. Je décline cependant toute responsabilité dans les appréciations formulées sur les ouvrages cités. En particulier, je dois signaler de grandes réserves sur le livre **L'astronomie au cycle des approfondissements** par Jean Defer et Véronique Thierry (éd Armand Colin 1994). Les intentions des auteurs sont bonnes mais leur ouvrage est malheureusement entaché de très, nombreuses erreurs, fautes et coquilles qu'une plus attentive relecture aurait sans doute permis d'éviter. Quelques exemples parmi beaucoup d'autres : figure fautive des levers et couchers du Soleil selon les saisons (p.23), définition fautive du mot *jour* (p.27), solstice d'hiver s'étalant du 17 au 25 décembre (p.36), 1 ua = distance Terre-Lune (p.86), l'unité de distance "kilo par sec" (p.106).

Je sais bien que personne n'est à l'abri des fautes. Même dans la sympathique revue **Ciel et Espace** qui fait beaucoup pour la popularisation de l'astronomie, son numéro de juillet-août annonçait bravement : "la Terre passe au plus près du Soleil le 5 juillet" ; ce 5 juillet les Ephémérides donnaient pour la distance ST = 1,017 ua. Mais c'est l'accumulation de fautes dans le livre cité plus haut qui m'a paru devoir être signalée, inexcusable dans un manuel scolaire. G.W.

**Errare humanum est... mais quand même !**

Dans l'article "Voir les étoiles en plein jour..." (CAHIERS CLAIRAUT 75, 42), il est écrit que "... Hooke mesura à Oxford la distance zénithale de la brillante du Dragon". L'auteur, qui devait être ce jour-là dans la Lune, tient à préciser que Hooke opérait à Gresham College, situé à Londres et non à Oxford.

J.V.

## Un calendrier perpétuel

En ce début d'année (scolaire, civile, ...), je propose aux lecteurs des *Cahiers Clairaut* un algorithme simple qui permet d'afficher à l'écran (et d'imprimer) le calendrier de n'importe quelle année civile (calendrier julien jusqu'en 1582, grégorien ensuite).

L'affichage sur l'écran se fait "horizontalement" ligne par ligne, par bloc de 4 mois : d'abord tous les lundis de janvier, février, mars et avril, puis tous les mardis... jusqu'aux dimanches, tout cela donnant une lecture "verticale" des semaines.

L' algorithme est relativement simple, la seule donnée nécessaire étant bien sûr l'année AN (comme par exemple -51, 325, 1789, 1997, ...). On utilise les variables suivantes :

- M      numéro du mois (entier de 1 à 12),
- NJ(M) nombre de jours du mois M avec  $NJ(2)=28$  (ou 29 si l'année est bissextile)
- J      quantième du mois M (entier de 1 à 31),
- js     numéro du jour de semaine (1 pour lundi, 2 pour mardi, ..., 7 pour dimanche),
- $J_1(M)$  n° du jour de semaine du 1<sup>er</sup> jour du mois M,

Deux sous-programmes sont nécessaires : d'abord tester si l'année AN est bissextile ou non, puis calculer les 12 valeurs  $J_1(1)$ ,  $J_1(2)$  à  $J_1(12)$ .

### Test d'année bissextile

Dans le calendrier julien, l'année est bissextile si le millésime est un multiple de 4 (le reste de la division entière de AN par 4 vaut 0).

Dans le calendrier grégorien, à partir de 1582, et afin de raccourcir l'année moyenne de 365,25 jours à 365,2425 jours, très proche de l'année tropique (des saisons) de 365,2422 jours, la règle précédente est complétée par la suivante, concernant les années séculaires (la dernière année d'un siècle, comme par exemple 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, de millésime divisible par 100) : *les années séculaires ne sont bissextiles que si le millésime est divisible par 400*.

Voyons la table de vérité de ce test. L'opération  $A_n$  donne v (vrai) si l'année A est divisible par n et f (faux) dans le cas contraire.

Les 3 résultats simultanés  $A_4$ ,  $A_{100}$  et  $A_{400}$  permettent 8 possibilités, mais quatre ne peuvent se produire, ainsi par exemple, si A est divisible par 400, A est obligatoirement divisible par 100 et par 4 (alors que le contraire n'est pas nécessairement vrai).

| $A_4$ | $A_{100}$ | $A_{400}$ | <i>Remarques : année bissextile ou non</i>                                     |
|-------|-----------|-----------|--|
| V     | V         | V         | année <b>bissextile</b> car séculaire et divisible par 400 (comme 1600, 2000)  |
| f     | v         | v         | impossible   |
| v     | f         | v         | impossible   |
| f     | f         | v         | impossible   |
| v     | v         | f         | non bissextile, d'après la 2 <sup>e</sup> règle grégorienne (comme 1900, 2100) |
| f     | v         | f         | impossible   |
| V     | F         | F         | année <b>bissextile</b> "ordinaire" (comme 1996, 2004)                         |
| f     | f         | f         | année normale de 365 jours   |

Deux cas seulement conduisent à une année grégorienne bissextile. La notation  $An$  indique que  $A$  est divisible par  $n$  et  $\underline{An}$  indique le résultat contraire. D'après ce tableau, pour que  $A$  soit une année grégorienne bissextile, il faut et il suffit que la condition suivante soit vraie :

$$(A4 \text{ ET } A100 \text{ ET } A400) \text{ OU } (A4 \text{ ET } \underline{A100} \text{ ET } \underline{A400})$$

Mais  $A400$  implique  $A100$ , de même que  $\underline{A100}$  implique  $\underline{A400}$ . Le critère s'écrit donc :

$$(A4 \text{ ET } A400) \text{ OU } (A4 \text{ ET } \underline{A100}).$$

qui se simplifie en

$$A400 \text{ OU } (A4 \text{ ET } \underline{A100}).$$

Les règles de distributivité conduisent également à :

$$A \text{ grégorienne bissextile} \Leftrightarrow A4 \text{ ET } (A400 \text{ OU } \underline{A100})$$

La fonction "Reste" permet le calcul du reste de la division entière de  $A$  par  $n$  :

$$\text{FNR}(A, n) = A - n * \text{INT}(A/n)$$

où  $\text{INT}(x)$  représente la fonction mathématique "Partie entière de  $x$ " donnant le nombre entier *au plus égal* à  $x$ , c'est à dire  $n$  tel que  $x - 1 < n \leq x$ . Ainsi,  $\text{INT}(2) = 2$  et  $\text{INT}(2,3) = 2$  mais  $\text{INT}(-2) = -2$  et  $\text{INT}(-2,3) = -3$  (et non  $-2$  comme ferait une troncature, ou un arrondi, de  $-2,3$ ). La fonction mathématique  $A \text{ MODULO } n$  donne le même résultat.

L'algorithme du test d'année bissextile s'écrit donc (pour l'année  $AN$  grégorienne ou julienne) :

```
Initialiser Biss := 0 et NJ(2) := 28 (année normale)
Si [FNR(AN, 4)=0] ET [ [FNR(AN, 400)=0] OU [FNR(AN, 100)≠0] ]
    alors Biss := 1
Si [FNR(AN, 4) = 0] ET [ AN < 1582 ] alors Biss := 1 (cas de
    l'année julienne bissextile)
Si Biss = 1 alors NJ(2) := 29 (l'année est bissextile, février a 29 jours).
```

### Calcul du jour de semaine

Rappelons l'algorithme (inspiré de celui proposé par J. Méeus), donnant le jour de semaine d'une date quelconque sous la forme  $J / M / AAAA$  (l'écriture  $AAAA$  précise que l'année doit s'écrire avec *tous* les chiffres, et non pas seulement les 2 derniers : 97 est ainsi l'an 97 de notre ère et non l'année 1997).

```
Soient s := AAAA et m := M
Si m < 3 alors modifier m := m+12 puis s := s-1
Calculer N := INT(365,25*s) + INT(30,6*(m+1)) + J
Si (AAAA + M/100 + J/10000) > 1582,10145 alors faire
    intervenir la correction grégorienne CG par
    q := INT(s/100) puis CG := 2 - q + INT(q/4)
    puis N := N + CG
Calculer P := N + 4 et JS := FNR(P, 7)
Si JS = 0 alors JS := 7 (JS est le n° du jour de semaine : 1 pour lundi,...)
```

Voyons sur l'exemple du 1/01/1997 (date grégorienne). On obtient successivement :  $J=1$ ,  $M=1$ ,  $AAAA=1997$  puis  $s=1997$ ,  $m=1$  qui sont modifiés en  $m=13$  et  $s=1996$ . Alors  $N=729039+428+1=729468$ . Ensuite,  $q=19$  et  $CR=-13$  d'où  $N=729455$  et  $P=729459$ , conduisant à  $JS=3$  : mercredi 1<sup>er</sup> janvier 1997.

Dans le calendrier julien, on fait bien évidemment  $CR=0$ .

## Le calendrier perpétuel

L'algorithme est alors le suivant (pour le mois M) et cela de mois en mois, par bloc de 4 mois successifs:

```
Pour JS variant de 1 à 7, faire :
- calculer  $J := 1 + JS - J_1(M)$ 
- répéter :
  - si  $J < 1$  alors afficher 3 espaces (et laisser le curseur),
  - sinon, afficher J (et laisser le curseur),
  - itérer  $J := J + 7$ 
jusqu'à  $J > NJ(M)$ .
```

Décrivons le début de l'algorithme pour janvier 1997. On vient de calculer  $J_1(1)=3$  correspondant au mercredi 1/01/1997. On sait de plus que  $NJ(1)=31$ .

On fait alors varier js de 1 à 7. Pour js = 1 (lundi), on calcule  $J = 1 + js - J_1(1)$  c'est à dire  $J = 1+1-3$  soit -1. Comme  $J < 1$ , on affiche 3 espaces en laissant le curseur. L'itération  $J = J + 7$  donne 6. On affiche alors 6 (précédé d'un espace équivalent à 06), puis de même, on affiche 13, 20 et 27 qui sont les lundis de janvier 1997.

Le suivant conduit à  $J = 34$ , supérieur à 31 [c'est  $NJ(1)$ ]. On arrête pour janvier et on passe aux lundis des mois suivants, février à avril, puis aux mardis de janvier, etc...

Le listage du programme est écrit ici en Quick-Basic (QBasic) présent sur chaque PC. Il est aisément adaptable en Basic (ne pas oublier de numéroter chaque ligne) ou en d'autres langages. Concernant la présentation à l'écran, il s'agit ici d'une version "minimale" que chacun modifiera selon ses goûts ! On peut par exemple ajouter quelques lignes permettant de passer facilement à l'année suivante (touche '+') ou à la précédente (touche '-'). L'appui sur la touche 'F' met fin ici au programme.

Afin d'afficher l'année entière à l'écran, se placer en mode 80 colonnes, et 31 (ou mieux 43) lignes de texte. L'instruction SCREEN 2 (en QBasic et Basic standard) donne 80x31 et l'instruction WIDTH 80, 43 (en QBasic) permet les 43 lignes.

*Remarque.* Le mois d'octobre 1582 est particulier : il est julien jusqu'au jeudi 4 octobre inclus et grégorien à partir du lendemain vendredi 15 octobre. L'algorithme donné ici affiche un mois d'octobre 1582 entièrement julien, mais novembre et décembre 1582 sont bien grégoriens. La réforme a été appliquée à Rome dès le 4 octobre, mais seulement deux mois plus tard en France : le dimanche 9 décembre 1582 (julien) a été suivi du lundi 20 décembre 1582 (grégorien). Dans les pays protestants, la réforme ne fut pas appliquée facilement : Kepler, vivant à Graz (aujourd'hui en Autriche) et favorable à la réforme du calendrier, critiquait ses coreligionnaires qui "préféraient être en désaccord avec le Soleil plutôt qu'en accord avec le Pape".

## Bibliographie

Concernant le calendrier en général, le livre de base est "*Le Calendrier*" de Paul Couderc (QSJ 203). Vient de paraître le très bon "*Calendriers et chronologie*", de Jean-Paul Parisot et Françoise Suagher (Masson, 1996), qui étudie également de très nombreux types de calendriers d'hier et d'ailleurs.

Parmi tous les articles consacrés aux calendriers, publiés dans les CC, on pourra relire celui sur les "*Aspects historiques et astronomiques de notre calendrier*" (CC 42, été 88) ou, sur le temps en astronomie et des approches informatiques, le fascicule 12 du CLEA "*Simulations en Astronomie sur Ordinateur*".

Et .... Bonne Année !

Michel TOULMONDE

```

10  Calendr (version en QBasic) =====
    SCREEN 1: SCREEN 0: KEY OFF: CLS
    PRINT TAB(10)"Calendrier perpétuel": PRINT: PRINT TAB(11) "(Michel Toulmonde)"
    TR$=STRING$(80,"-"): PRINT TR$
20  PRINT" Ce programme écrit le calendrier de"" n'importe quelle année."
    PRINT: PRINT TAB(10)"Fin avec la touche F)": PRINT TR$: PRINT

30  DIM NJ(12), M$(12), J1(12), JS$(7)
    DEF FNR(X,Y) = X - Y*INT(X/Y) ' ou bien = X MOD Y
    GOSUB 100: ' init
40  PRINT"Quelle année (AAAA ou F) ? : ": INPUT "",AN$: IF AN$="" THEN GOTO 40
    IF AN$ = "F" OR AN$ = "f" THEN PRINT TR$: END
    AN = VAL(AN$)
50  IF ( FNR(AN,4) = 0 ) AND ( FNR(AN,100)<>0 OR FNR(AN,400) = 0 ) THEN NJ(2) = 29
    IF ( FNR(AN,100) = 0 AND AN<1582 ) THEN NJ(2) = 29
    FOR M0 = 1 TO 12
        J = 1: GOSUB 150: J1(M0) = JS: ' jour semaine du 1/mo/an
    NEXT
60  SCREEN 2: SCREEN 0: CLS
    GOSUB 200: ' calendrier
    PRINT TAB(27)"année :";AN;" .....(espace)";
70  A$ = INKEY$: IF A$<>" " THEN GOTO 70 ELSE RUN
100 ' init -----
    FOR I = 1 TO 12: READ M$(I), NJ(I): NEXT
        DATA Janvier,31, Février,28, Mars,31, Avril,30, Mai,31, Juin,30
        DATA Juillet,31, Août,31, Septembre,30, Octobre,31, Novembre,30, Décembre,31
    FOR I = 1 TO 7: READ JS$(I): NEXT
        DATA L, m, M, J, V, S, D
    RETURN
150 ' jour de semaine du jour (j/mo/an) -----
    s = AN: M = M0: IF M<3 THEN M = M + 12: s = s - 1
    N = INT(365.25*s) + INT(30.6*(M+1)) + J
    IF ( AN + M0/100 + J/10000 ) > 1582.10145 THEN q = INT(s/100): N = N + 2 - q + INT(q/4)
    P = N + 4: js = P - 7*INT(P/7): IF js = 0 THEN js = 7
    RETURN
200 ' calendrier -----
    PRINT TAB(36); AN
    FOR ML = 1 TO 12 STEP 4
        IF ML = 1 THEN PRINT TAB(7) M$(1):: PRINT TAB(25) M$(2):: PRINT TAB(45) M$(3)::
            PRINT TAB(62)M$(4)
        IF ML = 5 THEN PRINT TAB(9) M$(5):: PRINT TAB(27) M$(6):: PRINT TAB(43) M$(7)::
            PRINT TAB(63)M$(8)
        IF ML = 9 THEN PRINT TAB(7) M$(9):: PRINT TAB(25) M$(10):: PRINT TAB(43) M$(11)::
            PRINT TAB(61) M$(12)
220  FOR js = 1 TO 7
        PRINT JS$(js);
        FOR M = ML TO ML+3
            TB = 3 + 18*FNR(M - 1, 4): PRINT TAB(TB)"";
240  J = 1 + js - J1(M)
250  IF J<1 OR J>NJ(M) THEN N$ = " " ' (3 espaces)
            IF J<10 AND J>0 THEN N$ = " "+STR$(J) ' (1 espace)
            IF J>9 AND J<= NJ(M) THEN N$ = STR$(J)
            PRINT N$;
            J = J + 7: IF J<= NJ(M) THEN GOTO 250
        NEXT
    PRINT TAB(78) JS$(js);" ";
    NEXT
    NEXT
    NEXT
    RETURN

```

1996

|   | Janvier       | Février      | Mars          | Avril        |   |
|---|---------------|--------------|---------------|--------------|---|
| L | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | L |
| m | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30 | m |
| M | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | M |
| J | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | J |
| V | 5 12 19 26    | 2 9 16 23    | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | V |
| S | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | S |
| D | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | D |

|   | Mai           | Juin         | Juillet       | Août          |   |
|---|---------------|--------------|---------------|---------------|---|
| L | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26    | L |
| m | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27    | m |
| M | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28    | M |
| J | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29  | J |
| V | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30  | V |
| S | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | 6 13 20 27    | 3 10 17 24 31 | S |
| D | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30 | 7 14 21 28    | 4 11 18 25    | D |

|   | Septembre    | Octobre       | Novembre     | Décembre      |   |
|---|--------------|---------------|--------------|---------------|---|
| L | 2 9 16 23 30 | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | 2 9 16 23 30  | L |
| m | 3 10 17 24   | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | 3 10 17 24 31 | m |
| M | 4 11 18 25   | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | 4 11 18 25    | M |
| J | 5 12 19 26   | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | 5 12 19 26    | J |
| V | 6 13 20 27   | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | 6 13 20 27    | V |
| S | 7 14 21 28   | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30 | 7 14 21 28    | S |
| D | 1 8 15 22 29 | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | 1 8 15 22 29  | D |

1997

|   | Janvier       | Février    | Mars          | Avril        |   |
|---|---------------|------------|---------------|--------------|---|
| L | 6 13 20 27    | 3 10 17 24 | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | L |
| m | 7 14 21 28    | 4 11 18 25 | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | m |
| M | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26 | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30 | M |
| J | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27 | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | J |
| V | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28 | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | V |
| S | 4 11 18 25    | 1 8 15 22  | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | S |
| D | 5 12 19 26    | 2 9 16 23  | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | D |

|   | Mai           | Juin         | Juillet       | Août          |   |
|---|---------------|--------------|---------------|---------------|---|
| L | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30 | 7 14 21 28    | 4 11 18 25    | L |
| m | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26    | m |
| M | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27    | M |
| J | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28    | J |
| V | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29  | V |
| S | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30  | S |
| D | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | 6 13 20 27    | 3 10 17 24 31 | D |

|   | Septembre    | Octobre       | Novembre     | Décembre      |   |
|---|--------------|---------------|--------------|---------------|---|
| L | 1 8 15 22 29 | 6 13 20 27    | 3 10 17 24   | 1 8 15 22 29  | L |
| m | 2 9 16 23 30 | 7 14 21 28    | 4 11 18 25   | 2 9 16 23 30  | m |
| M | 3 10 17 24   | 1 8 15 22 29  | 5 12 19 26   | 3 10 17 24 31 | M |
| J | 4 11 18 25   | 2 9 16 23 30  | 6 13 20 27   | 4 11 18 25    | J |
| V | 5 12 19 26   | 3 10 17 24 31 | 7 14 21 28   | 5 12 19 26    | V |
| S | 6 13 20 27   | 4 11 18 25    | 1 8 15 22 29 | 6 13 20 27    | S |
| D | 7 14 21 28   | 5 12 19 26    | 2 9 16 23 30 | 7 14 21 28    | D |

## Parmi nos lettres

### Pour saluer l'année nouvelle

Les hasards du calendrier nous proposent de commémorer deux dates, 1797 et 1897 ainsi que deux astronomes amateurs qui firent de belles découvertes, Wilhelm Olbers et Joseph Norman Lockyer.

On associe généralement le nom d'Olbers (1758-1840) à l'énoncé du "paradoxe" du noir de la nuit. Or le problème avait déjà été posé par Jean-Philippe Loys de Chéseaux dans son **Traité de la comète** publié en 1744. Mais l'énoncé par Olbers date bien de 1797, une époque favorable aux découvertes pour les observateurs amateurs ; on doit à Olbers la découverte des petites planètes Pallas et Vesta et maintes observations de comètes. Quant au noir de la nuit, rappelons l'excellent livre que lui a consacré Edward Harrison (dont il a été rendu compte dans le Cahier n°50, été 1990). Ce livre donne, p.251, la traduction d'un texte d'Olbers à relire en 1997.

Lockyer (1836-1920) fut l'inventeur du prisme objectif avec lequel il commença par observer les raies de la couronne solaire. On lui doit aussi, en 1897, le premier modèle d'évolution stellaire.

Après ces rappels historiques, voici quelques curiosités calendaires que nous soumet Maurice Carmagnole :

- Pâques, en 1997, tombe le 30 mars ce qui ne s'est produit que 13 fois depuis Grégoire XIII.

- 1997 et 1999 sont des nombres premiers jumeaux.

- Quand on écrit les dates sous la forme normalisée (année, mois, quantième), soit 19970101 pour le premier janvier, la première date *première* est 19970117 et la dernière 19971101 ; soit 23 dates *premières* en 1997.

- La particularité la plus étrange du nouveau millésime est sans doute l'égalité suivante

$$1997 = 227 + 239 + 251 + 263 + 311 + 347 + 359$$

somme de sept nombres consécutifs dans le crible des nombres qui sont à la fois premiers d'Eratosthène, premiers de Gauss et premiers d'Eisenstein-Jacobi.

Mais, comme dit Carmagnole, on sait aussi depuis Peano, et peut-être même avant, que  $1997 = 1996 + 1$

**Almucantarar** - A la page 40 du CC 75, nous disions notre hésitation entre almicatarar et almucantarar. Notre Collègue Gérard Georges nous renvoie à la page 38 de l'**Astronomie Générale** de Danjon que nous citons : "*Le petit cercle qui a pour pôle Z (le zénith) et qui passe par A est le cercle de hauteur ou l'almucantarar du point A.*"

**Eclipse et fête de la science** D'une lettre enthousiaste de Marie-Claude Paskoff, professeur au lycée La Bruyère de Versailles :

*"L'éclipse de Soleil du 12 octobre 1996 était une excellente occasion de s'intéresser de plus près à notre étoile, un projet pluridisciplinaire a été mis sur pied sur le thème du Soleil. Dès la rentrée des enseignants de diverses disciplines ont choisi avec leurs élèves un thème d'étude. Les scientifiques ont retenu des sujets en relation avec les enseignements scientifiques de Seconde, de Première L, de spécialité en Première S et en Terminale S : éclipses, rotation du Soleil, énergie solaire, constante solaire, spectre de la lumière, carte d'identité du Soleil, histoire de l'astronomie de l'antiquité à Newton, le Soleil source de vie, Soleil et santé, Soleil et paysages. Les littéraires n'ont pas été moins actifs. Les thèmes retenus ont montré la place du Soleil dans la mythologie, dans certaines civilisations et dans l'histoire (à Versailles, le roi-soleil...). Il y a eu aussi des thèmes de littérature (Soleil et poésie) et même de philosophie (la peur des éclipses). Tous ces travaux ont abouti à la confection de 28 panneaux et d'une maquette du système solaire qui ont été exposés au lycée du 8 au 18 octobre.*

*Pour compléter notre information, M.Mochkovitch, de l'Institut d'Astrophysique de Parisa donné au lycée le 10 octobre une conférence au cours de laquelle il a présenté les recherches actuelles sur le Soleil.*

*Le jour de l'éclipse, dans le cadre de la Fête de la Science, le lycée ouvrait ses portes au*

public. Par chance, le ciel s'est dégagé vers midi ! Le télescope du club astro avait été installé de façon à projeter sur un écran l'image du Soleil. On a pu suivre l'éclipse en toute commodité et les élèves ont mesuré le taux d'occultation. Des spectros réalisés par des élèves de Première S (merci au CLEA pour la feuille de réseaux !) ont permis à de nombreux visiteurs de découvrir les raies d'absorption du spectre solaire. Chacun a pu s'initier à la conversion de l'heure solaire en heure légale sur un cadran solaire analemmatique réalisé par les membres du club astro sous la direction d'un professeur de mathématiques. Enfin, au laboratoire des sciences de la vie et de la Terre, diverses expérimentations étaient proposées (absorption chlorophyllienne, pigmentation, ...).

Pour inciter le public à suivre de près les panneaux-exposition, un jeu-questionnaire était proposé. Les gagnants ont reçu des cadeaux solaires offerts gracieusement par des commerçants de Versailles.

L'exposition est maintenant démontée et le lycée a retrouvé son visage habituel. Mais nous ne sommes pas près d'oublier ces semaines de préparation et la pleine réussite de la journée du 12 octobre ! Grande aussi est la satisfaction d'avoir mené à bien un projet pluridisciplinaire sur un thème astronomique. Il est certain que la présence de notions d'astronomie dans les actuels programmes des lycées a été un facteur déterminant et que les documents pédagogiques fournis par le CLEA ont été d'une grande aide pour les enseignants scientifiques."

**Le logiciel CLEASTRO** est toujours disponible. Ecrire à Jean-Paul ROSENSTIEHL, 73 bd Mutuel, 72000 LE MANS en joignant à la commande la somme de 20 F, prix coûtant. Ce logiciel, rappelons-le, contient des applications concernant le géocentrisme et l'héliocentrisme. Il offre la possibilité de calculer les longitudes héliocentriques des planètes avec animations graphiques, tracé de planétaires, positions des planètes, etc. L'auteur serait particulièrement heureux de connaître les réactions des utilisateurs.

A la question posée, p.39 du CC74, "Que vous suggère la date du 30 octobre 1996 à 14 h 13 min 20s ?" la réponse était évidemment la suivante : il restait exactement cent millions de secondes avant l'an 2000. Sans oublier qu'il ne s'agit pas alors du début du 21<sup>ème</sup> siècle mais seulement le début de la dernière année du vingtième. Car contrairement à ce qu'ont prétendu certains journalistes, Clinton a été le dernier Président des Etats-Unis du vingtième siècle, mais pas le premier du vingt et unième

**Les diapositives nouvelles vont arriver** - La nouvelle série de diapositives, numérotée D8 dans le catalogue du CLEA, a été présentée lors de l'Assemblée Générale du CLEA par Jean-paul Rosenstiehl et Daniel Toussaint. Le tirage de cette nouvelle série à 400 exemplaires a été aussitôt commandée. A partir du 20 décembre, le secrétariat du CLEA pense être en mesure de satisfaire les commandes de ces diapositives aux conditions habituelles.

Prière de se conformer aux recommandations indiquées sur les bons de commande, voir la fiche rose dans ce numéro.

**Et vous qui recevez ce numéro 76 des CAHIERS CLAIRAUT**, ne manquez pas de noter si la mention "fin d'abonnement au n°76 " y figure.

Vous savez alors ce qui vous reste à faire : remplir la fiche rose qui vous annonce la couleur des numéros à paraître en 1977.

Faites-le sans tarder. Le Trésorier vous en remercie.

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

## Les fiches d'activités pédagogiques du CLEA

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

- HS1. L'astronomie à l'école élémentaire (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS2. La Lune niveau collège 1 (60F- 68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS3. Le temps, les constellations, niveau lycée (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS4. Astronomie en Quatrième (60F-68F) (40F-48F pour les abonnés)
- HS5. Gravitation et lumière, niveau Terminale (75F-83F) (65F-73F pour les abonnés)
- HS6. L'âge de la Nébuleuse du Crabe (avec 4 diapositives et 12 jeux de deux photographies ; niveau lycée) (100F-110F)(90F-100F pour les abonnés)
- HS7. Etude du spectre du Soleil (50F-58F) (42F-50F pour les abonnés)

## Documents pour les fiches CLEA-BELIN

- DCB. 10 exemplaires 40F (35F pour les abonnés)
- 20 exemplaires 65 F (60 F pour les abonnés)

## Transparents animés pour rétroprojecteur

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

## Diapositives (Séries de 20 vues+livret de commentaires)(60F-65F)(50F-55F pour abonnés)

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

## Filtres colorés et réseaux

- FCR. Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux (65F) (55F pour les abonnés)

## Le Cinéciel

- CIN. Une sphère armillaire à monter, en kit (100F)

## Cours photocopiés d'Astrophysique (M3.C4 de l'Université Paris XI-Orsay)

- CI. Astrophysique générale
  - CII. Mécanismes de rayonnement en astrophysique
  - CIII. Etats dilués de la matière : le milieu interstellaire
  - CIV. La structure interne des étoiles
  - CV. Relativité et cosmologie
  - CS. Cours d'astrophysique solaire : le Soleil
- chaque fascicule : 30 F, 35 F

Pour chaque publication, le deuxième prix est celui qui comprend les frais d'expédition et concerne donc les commandes par la poste.

Chèques à l'ordre du CLEA envoyés au secrétaire

Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 ST CLOUD

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

### CONDITIONS D'ADHESION ET D'ABONNEMENT POUR 1996 :

|   |       |
|---|-------|
| Cotisation simple au CLEA pour 1996   | 30 F  |
| Abonnement simple aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n° 73 à 76                            | 120 F |
| Abonnement aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n°73 à 76<br>ET cotisation au CLEA pour 1996 | 150 F |
| Contribution de soutien au CLEA (par an)  | 50 F  |
| Le numéro des <i>Cahiers Clairaut</i> (port compris)                                | 40 F  |

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

### COLLECTIONS DES CAHIERS CLAIRAUT

C1 . Collection complète du n° 1 au N°72 (1100 F- 1200 F)

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

C90. à C95. (chaque 90 F- 100 F)

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

Adresser inscriptions, abonnements ou commandes au secrétaire du CLEA  
Gilbert Walusinski, 26 Bérangère, 92210 ST CLOUD

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

## Autres publications diffusées par le CLEA

### FASCICULES POUR LA FORMATION DES MAÎTRES EN ASTRONOMIE

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

### PUBLICATION DU PLANETARIUM DE STRASBOURG

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

Commande à adresser au service librairie du Planétarium de Strasbourg

Directeur de la publication : Lucienne Gouguenheim

Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

Dépot légal 1er trimestre 1979

Numéro d'inscription CPPAP 61660