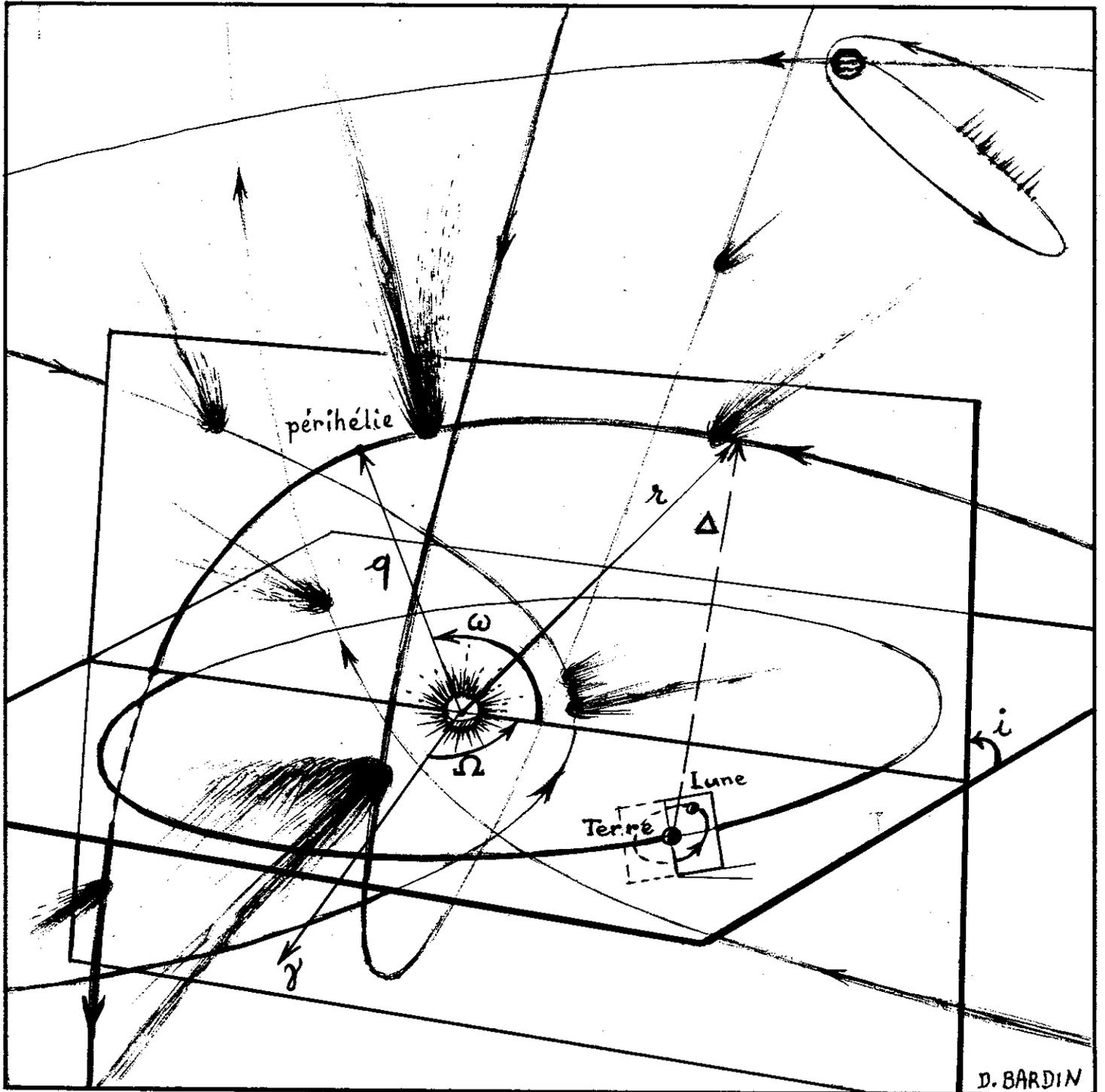


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison enseignants et astronomes



n° 80 - H I V E R 1997-1998

ISSN 0758-234 X

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 MAFPEN. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école primaire, du collège et du lycée. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc).

Aussi bien au cours de 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 1997

<i>Présidents d'honneur</i>	Jean-Claude PECKER Evry SCHATZMAN
<i>Présidente</i>	Lucienne GOUGUENHEIM
<i>Vice-Présidents</i>	Agnès ACKER Marie-France DUVAL Hubert GIE Jean RIPERT Josée SERT
<i>Secrétaires-trésoriers</i>	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 1997-1998

	<u>Page</u>
Edito	2
Articles de Fond	
Retour sur la structure interne des étoiles	3
Un entretien avec André Brahic	9
La classe au Soleil	14
Avec nos élèves	
Mathématiques et Astronomie (niveau lycée)	23
De la boule de polystyrène au CD-Rom (niveau primaire)	29
Observations	
Les prochaines éclipses de Soleil en France	34
Perspective lunaire	42
Mettez votre planétaire à l'heure	44
Travaux Pratiques	
Un simulateur de cadran solaire	46
Fictions et réalités	58
Lectures pour la marquise et ses amis	
20 ans de bonnes lectures	61
Un long compagnonnage	66
Liste des ouvrages analysés	67
Vie associative	
Compte rendu de l'Assemblée Générale à St Etienne	72
Organisation du CLEA	78
Le mot	80
Informations diverses	cf p.1, p.13, p.65
Curiosités	
A l'aube de 1998	22
Mots fléchés	71

**Si votre abonnement se termine avec le numéro 80,
pensez à vous REABONNER pour 1998 et 99**

Editorial

Le voici donc, ce numéro 80 des Cahiers, préparé et annoncé depuis plusieurs mois, - avec les 80 pages que Gilbert lui a voulues de longue date. Avec son double regard sur le passé et sur l'avenir, il nous donne l'occasion de revenir sur nos objectifs. Notre cher Victor Tryoën, qui fut l'un de ceux dont l'empreinte marque nos orientations, a joliment rappelé, au cours de l'Assemblée générale de St Etienne, les quelques voeux - modestes mais essentiels - que Gilbert avait déjà formulés lors de la réunion fondatrice de Grenoble, en 1976. Plutôt que d'outils délivrés "clef en main", les "E" du CLEA ont besoin de dialoguer entre eux, d'échanger leurs expériences, d'élaborer des collaborations entre disciplines... ; ils ont tout autant besoin de dialoguer avec les "A", dont ils attendent une information "digérée" sur la science qui se fait aujourd'hui, sur celle qui s'est faite hier et sur les enjeux essentiels qui se posent à celle de demain. Notre politique éditoriale en découle ...

Au cours de cette déjà longue histoire - 20 ans, c'est un bel âge ! - nombreux sont ceux qui cheminèrent avec nous ; nous leur avons lancé un appel auquel beaucoup ont répondu : nous avons même dû reporter plusieurs contributions au numéro 81...

Comme ils le furent au long de ces 20 ans, nos présidents d'honneur sont présents, chacun dans un genre différent. Evry Schatzman nous donne une mise au point particulièrement lumineuse et pénétrante des connaissances actuelles sur l'évolution stellaire ; Jean-Claude Pecker nous parle du Soleil avec passion. La première partie de son article sera fort précieuse pour les enseignants devant s'adresser à de jeunes enfants. Peu à peu, il construit une connaissance du Soleil qui devient de plus en plus approfondie ; nous gardons cette partie plus complexe pour le numéro 81.

Il était impensable de ne pas associer l'ami André Brahic à cet anniversaire : au cours d'un entretien animé avec Gilbert, il nous raconte, avec sa verve habituelle, son expérience du lancement de la sonde Cassini-Huygens et dresse un tableau éclairant de la recherche actuelle.

Le bel article d'Esteban Esteban et Rosa Maria Ros, qui propose un travail pratique original, conciliant maths et physique "avec les mains", témoigne des liens européens du CLEA.

S'il passe aujourd'hui la main, après avoir consacré au CLEA et aux Cahiers ses "premières 20 années de retraité", Gilbert, infatigable lecteur, continuera, pour notre plus grand bonheur, à animer la rubrique de "la Marquise" ; il revient aujourd'hui sur celles de ses lectures qui l'ont le plus marqué au long de ces 20 années ; Lucienne rappelle le cheminement parallèle à celui du CLEA suivi par Jean-Pierre Penot au CNES ; et Michel Toulmonde complète ici la liste qu'il avait établie dans le numéro 51 des ouvrages analysés dans cette rubrique des lectures.

On retrouvera dans le riche sommaire de ce numéro, des noms de collaborateurs de longue date - Jean Ripert, Jean-Paul Rosenstiehl, Michel Toulmonde, Maurice Carmagnole - et de nouveaux noms. Impossible de tout citer ici ; nous mentionnons seulement l'atelier effectué avec des stagiaires d'IUFM par Gérard Frizet et Michel Lemenicier, professeurs de math, et le CD-ROM que Marie-Claire Ricou, a réalisé avec ses élèves de CM₂. Merci à tous !

Enfin, vous retrouverez la vitalité et la convivialité du CLEA, à travers la relation de l'Assemblée générale de Saint Etienne...

La rédaction

Retour sur la structure interne des étoiles

Les étoiles sont des systèmes physique complexes¹, où interviennent simultanément un grand nombre de processus physiques. On peut admettre *à priori* que les processus qui interviennent dans les étoiles sont les mêmes que les processus connus des physiciens, la difficulté étant cependant que l'on ne sait pas à l'avance quels sont les processus les plus importants qui interviennent et quels sont ceux dont l'importance est négligeable. C'est là que se trouvent toutes les difficultés d'expliquer les phénomènes observés.

Une autre difficulté vient de ce qu'il n'y a pas deux étoiles identiques. Comparant les données provenant de l'observation de deux étoiles qui se ressemblent, on trouve toujours des différences entre ces deux objets d'étude. Trouver la nature de ces différences, trouver leur explication, est un des sujets fondamentaux de l'étude des étoiles.

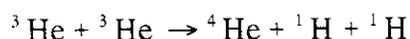
En même temps, l'étude des systèmes stellaires permet d'évaluer leur âge. Ce qui a changé au cours des dernières années est l'acquisition de données précises, en particulier des distances des étoiles. Une détermination plus précise des distances fixe la puissance lumineuse des étoiles des amas d'étoiles et permet d'obtenir des meilleurs valeurs de leur âge. C'est ainsi que l'on a obtenu récemment (1996) de nouvelles valeurs de l'âge des amas globulaires, qui se retrouvent en accord avec les données de l'expansion de l'univers. Cette relation d'un problème de **structure interne** avec une question de **cosmologie** montre à quel point l'étude des étoiles, de leur structure et de leur évolution, joue un rôle essentiel pour l'ensemble de l'astrophysique.

L'exposé qui suit n'est pas une revue de tous les problèmes de structure interne. Il ne sera pas question ni de novae, ni de supernovae, ni des étoiles à neutrons, ni des étoiles de grande masse (100 masses solaires) ... mais des sujets proches de ceux étudiés par l'auteur.

Structure interne.

Rappelons ici brièvement en quoi consiste la structure interne des étoiles et sa relation avec les données d'observation.

Dans son principe, la théorie de la structure interne consiste à calculer les propriétés d'une sphère de gaz, en équilibre de gravitation, et à établir leurs relations avec les données observationnelles : masse, luminosité, rayon et composition chimique de la surface². Les premières tentatives datent du milieu du XIX^{ième} siècle³ et c'est à Eddington (1926) que l'on doit la première mise au point cohérente sur ce sujet. Bien des données physiques manquent encore. La théorie du transfert du rayonnement est encore balbutiante et l'idée des sources nucléaires d'énergie des étoiles (Henry Norris Russell, 1919 ; Jean Perrin, 1920) n'est que qualitative. Elle permet cependant de mettre en accord l'âge du Soleil et l'évaluation géologique de l'âge de la Terre. L'explication de la puissance rayonnée par les étoiles par les réactions thermonucléaires est donnée par Bethe en 1938. Le taux des réactions thermonucléaires dépend de la température et de la densité, et l'écran des charges négatives des électrons autour de chaque noyau facilite ces réactions (Schatzman, 1948). Les cycles de réactions dépendent bien évidemment des sections efficaces et Schatzman (1951) met en évidence peu avant Fowler (1951) le rôle de la réaction :



Fowler (1957) donne l'ensemble des réactions thermonucléaires qui la suivent, mettant en évidence les réactions de production de béryllium, lithium et bore. Ces réactions indiquent les différents régimes de production de neutrinos et presque immédiatement Ray Davis met en route la célèbre expérience de mesure du flux de neutrinos solaires avec le chlore ^{37}Cl .

Ondes acoustiques.

Il s'agit ici de propriétés certainement présentes dans les étoiles en général, mais qui n'ont été observées que dans le Soleil. Le Soleil sert ici d'exemple en attendant l'observation de ce phénomène dans d'autres étoiles. L'intérêt des ondes acoustiques est que leurs propriétés nous renseignent sur l'intérieur du Soleil.

On sait, depuis les travaux de Unsöld (1938) et surtout ceux de Erika Böhm-Vitense (1953) qu'il existe juste au dessous de l'atmosphère solaire une profonde zone convective. De la même manière que dans l'atmosphère terrestre, quand les conditions sont réalisées, les mouvements de convection sont des mouvements turbulents. Les ondes acoustiques nous renseignent en particulier sur la profondeur de la zone convective qui est d'environ 200 000 km, presque un tiers du rayon solaire.

Dans une région proche de la surface solaire, à environ mille kilomètres de profondeur, la relation entre pression et densité dépend de la façon dont le transport d'énergie s'effectue. L'énergie thermique est transportée en partie par le mouvement de matière. Il y a alors un grand écart entre la relation, **dans le milieu**, entre pression P en fonction du rayon r et la densité ρ en fonction du rayon :

$$\left(\frac{d \log P}{dr} \right) / \left(\frac{d \log \rho}{dr} \right)$$

et la relation adiabatique, qui localement ne dépend que de l'équation d'état donc seulement des valeurs locales de la pression de la densité et de la température :

$$\left((d \log P) / (d \log \rho) \right)_{ad}$$

On admet que les bulles de gaz qui montent ont une densité moyenne plus faible que la densité moyenne du milieu et doivent leur mouvement à la poussée d'Archimède. La vitesse de cette ascension devient si grande après un certain parcours que la bulle subit une forte interaction avec le milieu et perd son énergie cinétique qui se trouve répartie dans le gaz. Une partie de l'énergie de la bulle contribue au transport d'énergie de l'étoile, une autre partie sert à la production d'ondes de pression ou encore d'ondes acoustiques.

Ces ondes acoustiques se propagent jusqu'à la surface du Soleil, et le mouvement qui lui est associé se traduit par un effet Doppler. L'étude d'une raie spectrale en fonction du temps permet de mettre en évidence des changements de fréquence en fonction du temps et de découvrir par une analyse de Fourier un très grand nombre d'oscillations de petite amplitude, qui sont la manifestation à la surface du Soleil de modes propres de petite amplitude. Ces oscillations sont engendrées par la turbulence qui règne dans la zone convective dans la région située à environ mille kilomètres au dessous de la surface du Soleil (telle qu'elle a été définie précédemment). L'effet Doppler ainsi mis en évidence révèle des vitesses de 10cm / s ou même de 1cm / s.

L'intérêt de l'étude de ces mouvements est que l'on a affaire à l'excitation de modes propres. On a mis en évidence depuis 1983 environ 3000 modes différents, qui révèlent à travers l'indice de réfraction des ondes de pression, ou encore de leur vitesse de propagation, une propriété physique essentielle de l'intérieur du Soleil : la température en fonction du rayon.

Dès le milieu des années 80, l'accumulation des données observationnelles permet de mettre en évidence la subdivision des modes par effet Doppler dû à la rotation, et par conséquent d'en déduire la vitesse de rotation de l'intérieur de Soleil en fonction de la profondeur. Les résultats les plus récents ont été obtenus au moyen d'une série d'observations dans l'espace, faites dans l'expédition spatiale Soho. Ces résultats, décrits de façon schématique, sont les suivants. Dans la zone convective solaire, la vitesse de rotation dépend de la latitude et elle varie peu le long d'un rayon. Dans la zone radiative stable de l'intérieur, la rotation est très proche de la rotation solide. Ces données observationnelles se sont trouvées être complètement à l'écart de tout ce que les modèles de structure interne avaient prévu antérieurement. La nécessité de mettre en évidence une physique oubliée a été nécessaire pour comprendre ces derniers résultats.

Ondes de gravité.

Nous connaissons typiquement les ondes de gravité en mer : ce sont les vagues, dans lesquelles la force de rappel est la gravité. Ces ondes se propagent dans un milieu stable, si bien que dans le Soleil c'est dans la région en équilibre radiatif, situé sous la zone convective, que se propagent ces ondes. Ce que l'on trouve est à l'heure actuelle une formule de théoricien ! Les ondes de gravité, en traversant la zone convective, subissent un amortissement et on cherche leur manifestation à la surface du Soleil. En atteignant la surface, elles ont une très faible amplitude, si bien que les efforts qui ont été faits pour les détecter observationnellement à la surface du Soleil ont été jusqu'ici sans résultat.

Cependant trois effets des ondes de gravité ont été envisagés. Le premier, mis en évidence par Press (1981), est un processus de transport par diffusion, qui permet d'expliquer de façon cohérente les problèmes d'abondance du lithium. Le deuxième concerne le transport de moment angulaire par ondes de gravité et permet d'expliquer la quasi rotation solide des régions centrales du Soleil. Le troisième, plus subtil encore, se rapporte à de très petites modifications de la structure interne du Soleil, avec lesquelles on espère expliquer le déficit de neutrinos solaires. Mais tout cela doit être repris point par point.

Lithium.

Les très grandes différences d'abondance du lithium d'une atmosphère stellaire à une autre ont été mises en évidence il y a déjà trente ans par Herbig. Peu à peu, la multiplication des observations a permis de mettre en évidence l'ensemble des propriétés, tout en laissant un certain nombre de caractéristiques inexpliquées. On peut s'en désoler, ou au contraire y voir la possibilité de mettre en évidence le rôle de nouveaux processus physiques.

Les caractéristiques essentielles se rapportent à des étoiles de la séquence principale. L'étude des amas ouverts permet de voir la différence d'abondance dans des amas d'âges différents. On constate une grande dispersion de l'abondance de lithium dans les amas « jeunes », et au contraire une très faible dispersion dans les amas « vieux ».

L'exemple le meilleur est celui des Hyades, âgé de 600 millions d'années. Dans cet amas, on observe pour les étoiles de type spectral G une décroissance régulière de l'abondance de lithium en fonction du type spectral, du type spectral F8 au type spectral K0.

Pour des étoiles plus chaudes que F8, on trouve dans un étroit intervalle de type spectral une chute rapide, puis une remontée rapide de l'abondance de lithium et ensuite, dans les étoiles plus chaudes, une abondance plus grande de lithium, que l'on serait tenté de considérer comme l'abondance de lithium dans ces étoiles au moment de leur formation.

Dans l'intervalle spectral F8-K0 la décroissance régulière de l'abondance de lithium paraît reliée à l'augmentation progressive de la profondeur de la zone convective.

Initialement, on a cherché à interpréter le déficit d'abondance de lithium par un processus de diffusion engendré par la rotation stellaire. Ce processus de diffusion aurait assuré le transport de lithium depuis la base de la zone convective jusqu'au niveau de destruction thermonucléaire du lithium. Cependant, ce mode de transport est très dépendant de la vitesse de rotation stellaire et on aurait dû trouver une relation entre l'abondance de lithium et la rotation stellaire. Or cette relation n'apparaissant pas, il a été nécessaire de trouver un autre mode de transport de la matière, de la base de la zone convective jusqu'au lieu de combustion du lithium.

C'est un processus de diffusion macroscopique dû aux ondes de gravité. Il est engendré à la frontière de la zone radiative par la turbulence présente dans la zone convective. La rapidité de ce transport dépend de la distance entre la base de la zone convective et le niveau de combustion du lithium. On arrive ainsi de cette façon à une représentation cohérente du déficit de lithium dans les amas ouverts. Le déficit de lithium dans le petit intervalle spectral F2-F7 est dû probablement à une profondeur de la zone convective plus grande que celle des étoiles voisines plus chaudes ou plus froides. La question est encore à l'étude.

Rotation

Avant 1933, on supposait que le transport de moment angulaire à l'intérieur des étoiles était assuré par la turbulence présente aussi bien dans la zone convective que dans la zone radiative. Dans la zone convective, le rôle déterminant est celui de la convection et de la turbulence associée à la convection. Naturellement le cas critique est celui du Soleil, tout simplement parce que, grâce à l'héliosismologie, on arrive à *voir* l'intérieur du Soleil. Disons, pour simplifier, en faisant de grands mouvements des bras, que le transport de moment angulaire par la circulation méridienne d'une part et par la convection d'autre part explique la variation de la vitesse de rotation des couches superficielles du Soleil, de l'équateur au pôle.

Par contre, on supposait que la turbulence dans la zone radiative était engendrée par la rotation différentielle. Ce modèle conduisait à un modèle de la vitesse de rotation en fonction du rayon, à l'intérieur du Soleil, qui s'est trouvé sans aucun rapport avec les résultats tirés de l'héliosismologie. L'efficacité étonnante du transport de moment angulaire par les ondes de gravité résout le problème, au moins dans son principe : il reste sans aucun doute beaucoup de choses à faire. Il faut que les spécialistes se mettent d'accord sur l'amplitude des ondes de gravité engendrées à la frontière de la zone convective.

Il faut appliquer le modèle aux étoiles en général, et la situation, lorsque l'étoile possède une zone convective, centrale est sans aucun doute inattendue. Dans le cas solaire, où la zone convective est *extérieure*, le moment angulaire présent dans la zone radiative *intérieure*, est transporté vers l'*extérieur*.

On pourrait s'attendre, lorsqu'il y a une zone convective *intérieure*, à ce que le moment angulaire soit transporté vers l'*intérieur*. le résultat serait une zone convective centrale tournant plus vite que la zone radiative qui l'entoure. Cette proposition est provocante et il reste à la vérifier. Il faut enfin être cohérent et mettre à la fois en jeu le transport de moment angulaire et le processus de diffusion. macroscopique dû aux ondes de gravité stochastiques. Comme on le voit, les perspectives sont riches et un important domaine de recherche est ouvert.

Neutrinos solaires

Ce problème est passionnant, car il réunit un problème fondamental de physique des particules et un problème d'astrophysique. Dans le Soleil, les neutrinos sont produits par trois réactions thermonucléaires :

- la première réaction, fondamentale, est la réaction proton-proton, qui s'accompagne de la production d'un électron positif et d'un neutrino.

- la deuxième réaction est la capture d'un électron par le béryllium ${}^7\text{Be}$, lui-même produit par la réaction ${}^3\text{He} + {}^4\text{He}$.

- le troisième groupe de réactions vient de la production de bore ${}^8\text{B}$ par capture d'un proton par le béryllium. Le bore, en émettant un électron positif et un neutrino devient du ${}^8\text{Be}$, qui se dissocie immédiatement en deux noyaux d'hélium. L'énergie maximum de ces neutrinos est de 14 MeV.

L'expérience de Homestake Goldmine consiste à mesurer le flux de neutrinos au moyen de ${}^{37}\text{Cl}$. Elle donne le flux de neutrinos d'énergie supérieure à 0,816 MeV, provenant des réactions (2) et (3).

Les expériences SAGE (russo-américaine au Caucase) et GALLEX (européenne au Gran Sasso) détectent avec du gallium les neutrinos d'énergie inférieure à 0,25 MeV.

Elles détectent essentiellement les neutrinos de la première réaction.

La détection de neutrinos par l'expérience de Kamiokande et maintenant de super-Kamiokande détectent seulement les neutrinos de la troisième réaction d'énergie supérieure à environ 7 MeV.

Dès les premiers résultats de Ray Davis (expérience au chlore) le désaccord avec les prévisions du modèle solaire est apparu. Il s'est confirmé avec les autres expériences. Pour résumer, on peut donner la tableau des prédictions⁴ et de ce qui a été mesuré :

- Expérience au chlore :	prédit : $\approx 7 \text{ SNU} \cdot \text{s}$	observé : $\approx 2,5 \text{ SNU} \cdot \text{s}$
- Expérience au gallium :	prédit : $\approx 120 \text{ SNU} \cdot \text{s}$	observé : $\approx 80 \text{ SNU} \cdot \text{s}$
- cerenkov :	prédit : $\approx 4,4 \cdot 10^6 / \text{cm}^2$	observé : $\approx 2,9 \cdot 10^6 / \text{cm}^2$

Il y a clairement un déficit de neutrinos par rapport aux prédictions du modèle standard.

Deux explications ont été envisagées :

(1) il s'agit d'un effet dû aux propriétés des neutrinos. Les neutrinos auraient une masse, et la transformation du neutrino ν_e en neutrino ν_μ au cours de la traversée du Soleil expliquerait le déficit.

(2) il s'agit d'un défaut de prédiction propre au modèle solaire standard. Il faut poursuivre jusqu'au bout la correction du modèle solaire.

C'est bien évidemment la deuxième hypothèse qui est privilégiée chez les astrophysiciens. La mise en évidence du rôle des ondes de gravité fait apparaître aussi la possibilité d'importantes corrections du modèle standard. Le processus macroscopique de diffusion change un peu la structure du Soleil dont les régions centrales se trouvent enrichies en ^3He . Cela entraîne une baisse de la température centrale, donc une diminution du flux de neutrinos. A cela viennent s'ajouter des effets non linéaires dus aux oscillations dans les régions centrales. Cela entraîne également une diminution de la température, donc une diminution du flux de neutrinos. La combinaison des effets thermiques et d'une nouvelle distribution des concentrations des différentes espèces de noyaux pourrait rapprocher appréciablement la nouvelle prédiction des flux de neutrinos des données observationnelles. Il suffirait peut-être alors de compléter par de petites modifications des sections efficaces et de tenir compte plus complètement des problèmes de plasma pour mettre en accord théorie et observation. On pourrait alors affirmer que les neutrinos ont une masse nulle.

Conclusions

On se trouve aujourd'hui face à un grand renouvellement de la théorie de la structure interne. Les nouvelles données observationnelles et expérimentales ont obligé les théoriciens à regarder de plus près la nature de l'écart entre théorie et observation. Cela a conduit à tenir compte de processus physiques dont on n'avait pas tenu compte et dont l'importance apparaît aujourd'hui comme considérable. Nous allons vers une meilleure compréhension des propriétés des étoiles. Et, comme l'histoire nous l'a déjà montré, vers une meilleure compréhension de l'Univers.

Eury Schatzman ■

Notes :

¹ Ne pas confondre l'emploi ici du mot « complexe » avec la notion de « complexité » que l'on trouve dans bien des publications, terme utilisé en particulier par Edgar Morin. Le mot « complexité » me paraît toujours exprimer un refus de regarder la nature des problèmes.

² Le mot « surface » désigne la frontière entre l'intérieur et l'extérieur de l'étoile. A l'extérieur la matière stellaire est transparente, tandis qu'à l'intérieur la matière stellaire est opaque. Cela veut dire qu'à l'intérieur le libre parcours des photons est « petit » devant le rayon de l'étoile. Il y a naturellement une formule mathématique conventionnelle qui définit cette frontière. un rayon lumineux qui passe au bord d'une étoile a son intensité diminuée par $\exp(-2)$, un facteur $\exp(-1)$ avant d'arriver au bord, multipliée par un facteur $\exp(-1)$ en allant du bord de l'étoile jusqu'à l'oeil de l'observateur.

³ On trouve dans les notes bibliographiques du livre de Chandrasekhar « *an introduction to the Study of Stellar Structure* » une excellente mise au point des données historiques (jusqu'en 1938 !) sur la structure interne.

⁴ T. Kirsten (1994).

Un entretien avec André Brahic

Amis depuis vingt ans, nos activités respectives font que nos rencontres sont rares. La première remonte à 1977 ; c'était à la première école d'été d'astronomie, à Lanslebourg ; on ne parlait pas encore du CLEA ou des CAHIERS CLAIRAUT, on inaugurerait, ou plutôt on inventait, ce climat studieux et convivial qui allait devenir la marque des réunions du futur CLEA. Comment, alors, ne pas être enthousiasmé par le cours délivré par un André plein de fougue ! Il y avait "Les forces dans l'Univers", le sujet traité, et la façon de l'exposer, l'homme.

J'ai souvenir de ses premières conférences à l'occasion des prouesses des sondes VOYAGER en particulier. A chaque rencontre, c'est le même étonnement pour son ardeur exubérante et la difficulté de plus en plus grande pour le vieux prof retraité de suivre son discours abondant et rapide. Le hasard fait que nos logis sont voisins - de mes fenêtres je vois les siennes. Mais il va vite, très vite, et je m'essouffle .

Je ne suis pourtant pas peu fier d'avoir réussi à capter cet André tout feu tout flamme entre un voyage à Cap Canaveral - pour la réunion de l'équipe qui a conçu la mission CASSINI et qui lui a permis d'assister au lancement de la sonde (le 15 octobre 1997) - et ses heures de cours. Réussirai-je, dans la suite de cet article, à rendre compte, pour les vingt ans des CAHIERS CLAIRAUT, de la vie actuelle de la recherche astronomique ? A écouter André on la sent vivre - je dirai même palpiter - Excusez, Amis lecteurs, que ma plume soit inévitablement plus froide, plus lente même si elle s'efforce de vous transmettre la jubilation qu'André sait communiquer à ses auditeurs.

Gilbert Walusinski : André, avant tout, raconte-nous ce lancement réussi, je crois que tu en brûles d'envie.

André Brahic : Il est vrai que ce fut pour moi un événement qui restera un souvenir exceptionnel. J'avais déjà assisté au lancement d'une fusée Ariane dont les moteurs sont à combustible liquide. Dans le cas du lancement de la sonde Cassini-Huygens, la fusée porteuse américaine Titan possède des boosters à poudre dont l'explosion donne au départ un spectacle extraordinaire d'illumination, surtout, comme ce fut le cas, pour un lancement de nuit. Et puis, je me sentais vraiment concerné par la réussite de cette mission vers Saturne et Titan avec toutes les données attendues sur un sujet qui me tient particulièrement à cœur, qui seront recueillies en 2004, juste avant ma retraite...

Quelques mots sur les circonstances du lancement. Pour la NASA, c'est un événement à répercussion médiatique ; il lui faut donc penser aux influences politiques qui ont eu, ont ou auront à intervenir dans les votes des budgets. Pour les invitations au lancement, la NASA avait donc eu plus d'attention pour ces milieux d'influence que pour les centaines ou milliers de personnes, dont environ 240 scientifiques, qui travaillaient depuis des années à la réalisation du projet. Après quelques discussions, nous avons tout de même été nombreux à assister au spectacle.

Par ailleurs, la presse américaine donnait un certain écho à une campagne de certains écologistes qui prétendaient que la sonde Cassini représentait un danger mortel pour l'humanité en raison de la présence à bord de la sonde d'une centrale au plutonium. Campagne injustifiée, le blindage de la centrale a été étudié et vérifié pour résister même en cas d'explosion du lanceur ; d'autre part, si en repassant au voisinage de la Terre, la sonde rencontrait un météorite, ce qui est hautement improbable, les débris ne tomberaient pas sur la Terre, entraînés qu'ils seraient à poursuivre le mouvement prévu, conformément au principe d'inertie. Aucune argumentation raisonnable ne semblait toucher ces

écologistes qui jusqu'à la dernière minute eurent recours à des manoeuvres juridiques pour empêcher ou retarder le lancement. Ce dernier obstacle fut enfin levé, le lancement pouvait avoir lieu.

Prévu pour le 13 octobre, il dut être remis en raison d'un vent défavorable. Au contraire, le 15 octobre, à 4 h 43 temps local, tout s'est déroulé à la minute près, dans un ciel parfaitement dégagé, la Lune presque pleine, on pouvait voir Saturne se lever.

Dans la nuit, ce fut l'illumination comme en plein jour pour les spectateurs au milieu desquels je me trouvais à 10 km du pas de tir. La fusée s'élève ; juste un petit nuage, elle y pénètre, l'éclaire par l'intérieur, - c'était superbe -, en sort très vite, on voit la séparation des boosters. Immense soulagement de constater le lancement réussi, la grande mission Cassini commence.

On disposait d'une fenêtre de lancement de 140 minutes à partir de 4 h 43 (fenêtre de même ouverture le lendemain s'il avait fallu remettre, à six minutes près pour le départ). La sonde se dirige d'abord vers Vénus qu'elle frôlera à 300 km, ce qui l'accélélera et lui permettra de recommencer cette opération de relance en juin 1999, cette fois à 1530 km de la planète. Elle repassera alors à 800 km de la Terre le 17 août 1999 ce qui la relancera vers Jupiter. Le 30 décembre 2000, à 9 655 000 km de la planète, la sonde subira sa dernière relance vers Saturne qu'elle atteindra en juillet 2004. Ce savant billard avec Vénus, Terre, et Jupiter aura eu l'avantage d'économiser l'énergie. Il est prévu que deux ans avant l'arrivée vers Saturne, les instruments du bord seront remis en marche et la récolte des données commencera. A l'arrivée dans le système de Saturne, des fusées devront freiner la sonde pour en faire un satellite de la planète. La sonde Huygens, restée en sommeil ne sera réveillée que six mois avant son lâcher sur Titan le 6 novembre 2004. Cassini restera autour de Saturne jusqu'en 2008, voire même 2010, en parcourant des orbites qui lui permettront de frôler la plupart des satellites de Saturne et récolter, par conséquent de précieuses données.

Les liaisons avec la sonde sont assurées par le réseau de la NASA dont les relais sont installés en Californie, en Espagne et en Australie. Le Jet Propulsion Laboratory de Pasadena centralise les informations relatives à la sonde Cassini, alors que celles de Huygens sont centralisées à Darmstadt en Allemagne.

Il faut saluer cette entreprise internationale, groupant des équipes européennes et américaines pour une mission qui aura coûté 3,5 milliards de dollars, sans doute la plus chère de toutes celles qui ont été engagées (75% des frais assurés par la NASA, 25% par l'ESA dont le tiers de ces 25% par la France). On comprend l'appréhension au moment du départ et l'attente impatiente des résultats ... en 2004, c'est demain.

G.W. : Je comprends, cher André, ton enthousiasme. Mais il n'y a pas que la mission Cassini-Huygens. Il y a dix ans tu reconnaissais que le grand élan de la recherche en astronomie datait des années soixante et qu'il restait bien vif en 1987. Est-ce encore le cas en 1997 ?

A.B. : Certainement et c'est toujours sensible dans tous les domaines de l'astronomie avec, bien sûr, des pointes d'activité extrême sur des sujets nouveaux ou sur des sujets anciens complètement renouvelés par le perfectionnement des moyens d'observation ou d'analyse des données. J'essaierai d'en donner une bonne idée par quelques précisions sur certains sujets. Avec cette réserve, que personne, pas plus moi qu'un autre, ne peut être assuré de ne pas négliger telle ou telle recherche encore embryonnaire mais peut-être prometteuse.

L'exploration du système solaire avait été marquée par les progrès décisifs obtenus grâce aux données recueillies par les sondes, les VOYAGER en particulier. Il y a eu multiplication, diversification et prolongement des missions, si bien que l'exploration a continué fructueusement :

- On connaît maintenant la surface de la Lune avec une précision supérieure aux données des cartes routières Michelin ; on a repéré des volcans éteints ...
- Sur Mars, on ne doute plus qu'il y ait eu, antérieurement présence de l'eau et phénomènes de ravinement.
- La sonde Galileo a permis une étude in-situ de l'atmosphère de Jupiter.
- On a travaillé sur Neptune et l'extraordinaire Triton.
- Sur les comètes, nous avons eu le passage de la comète de Halley, la chute des fragments de la comète Shoemaker sur Jupiter, ...
- La sonde CASSINI-HUYGENS qui a été lancée le 15 octobre nous apportera, à partir de 2004 de précieux renseignements sur l'atmosphère de Titan.
- J'insisterai sur le problème posé par la découverte des anneaux autour des grosses planètes et, particulièrement, par les arcs d'anneaux autour de Neptune. La gravitation newtonienne et les lois de Kepler expliquent bien la formation d'anneaux. Mais alors, pourquoi des arcs alors qu'en raison des lois de Kepler un tel arc devrait s'étaler en un temps de quelques semaines ? On a là peut-être un exemple de phénomènes qui ont pu jouer un rôle dans la formation du système solaire : l'action conjuguée de la gravitation, des collisions et des phénomènes de résonance peuvent conduire au confinement de la matière. Des chercheurs travaillent sur la question en particulier par des simulations.

Sur l'intérieur des étoiles, et sur le milieu interstellaire au sein duquel se forment les étoiles, les lecteurs de ce Cahier ont l'information à la meilleure source avec l'article de Evry Schatzman. Je dirai seulement que nos connaissances sur le milieu interstellaire se sont étendues grâce à l'observation devenue réalisable selon toutes les longueurs d'onde du spectre. On découvre de plus en plus de nouveaux objets dans cet espace que longtemps on a cru vide.

Retenir aussi que le problème de la formation des étoiles est exemplaire du point de vue de la méthode : l'observation d'abord, l'observation à la base accumule des données qui permettent de construire des modèles théoriques ; à partir de ceux-ci on réalise des simulations qui renvoient à l'observation pour être confirmés ou infirmés et le cycle observation-théorie-observation continue. Exemple de cette démarche quand on veut comprendre comment s'effectue la contraction d'un nuage de gaz : la contraction est associée à la formation d'un disque de matière en rotation (par conservation du moment cinétique). Mais on observe simultanément des jets de gaz à partir des pôles de l'étoile. Alors que jusqu'à présent les modèles de formation d'étoiles étaient imaginés à partir de la seule contraction, nous prenons conscience que contraction, présence d'un disque et expulsion de matière sont indissociables, qu'il faut les trois ensemble. Il y a aussi le problème de la matière invisible (communément appelée matière "noire") ; on estime que plus de 90% de la masse d'une galaxie échappe à nos moyens d'investigation. On n'insistera jamais assez sur l'importance de la recherche des nouveaux moyens de détection.

Sur le perfectionnement des moyens d'observation : Ils entraînent une profonde évolution des méthodes dans tous les domaines de l'astronomie. Exemple : les excellentes données sur la position et l'éclat des étoiles recueillies par HIPPARCOS ont justifié un nouveau recalibrage des céphéides qui sont le premier outil des mesures de distances extragalactiques. Il en est résulté une correction de la valeur de la constante de Hubble avec toutes les conséquences que l'on imagine en cosmologie. L'objet le plus lointain qui ait été repéré serait ainsi à quelques douze milliards d'années de lumière.

Aussi bien pour les visées à partir du télescope spatial Hubble qu'à partir d'observatoires terrestres, on obtient aujourd'hui une haute résolution angulaire très supérieure à tout ce qui a jamais été mesuré depuis les premières mesures de distances terrestres réalisées par Thalès. Meilleures mesures de distances, finesse accrue des détails décelés : on a réalisé aussi bien aux longueurs d'onde de la lumière visible qu'aux longueurs d'onde de la radio une image de l'étoile Bételgeuse sur laquelle on décèle des éruptions du même type que ce qu'on observe sur le Soleil.

Dans le domaine des galaxies, il y a cette information surprenante que notre Galaxie qu'on a toujours vue comme typiquement spirale serait une spirale barrée.

Les galaxies à noyaux actifs sont les lieux de sursauts gamma, les GRB (Gamma-Ray-Bursts) dont Lucette nous a parlé dans le Cahier 79.

Les mirages gravitationnels nous offrent un nouveau moyen d'explorer l'Univers lointain ou si l'on veut, l'Univers jeune, tel qu'il était bien avant la formation du système solaire.

Une branche nouvelle de l'astronomie s'est ouverte, celle des **astro-particules**. L'Univers vu en gamma est très riche, certainement beaucoup plus que nous pouvons l'imaginer actuellement. Sans doute sera-ce le grand sujet de l'astronomie au siècle prochain. Sur Terre, les physiciens pour pénétrer la structure fine de la matière ont construit de grands accélérateurs de particules. Ils sont parvenus à la limite des réalisations possibles, compte tenu des moyens matériels et financiers que ces grandes machines requièrent. Au contraire, l'observation astronomique fournit aux physiciens, à moindre coût, des protons à 10^{20} e.V ce qui est loin des possibilités des machines terrestres.

Découverte imprévue, celle des **micro quasars**, des sortes de trous noirs de masse stellaire desquels partent des jets de matière à très grande vitesse. On en connaît déjà deux spécimens dans la Galaxie.

Les médias ont donné beaucoup d'éclat à la découverte de planètes extrasolaires. Il faut aussi mettre en garde le public trop sensible à ce fantasme que planète extrasolaire équivaut à découverte potentielle d'autres mondes habités par des êtres vivants. Peut-être, mais il ne faut pas s'emballer. On peut confondre une grosse planète proche d'une étoile avec un couple d'étoile double dont une composante est très faible.

Au cours de cette vision rapide des recherches vivantes, je n'ai pas la prétention d'avoir signalé tout ce qui mérite de l'être ni d'avoir observé une hiérarchie des potentialités de développement. Ce qui me paraît évident, c'est la vitalité de ces recherches, les missions se multiplient, CASSINI vers Saturne, FIRST pour l'exploration en infra rouge, AXAF et XMM pour l'exploration en X, INTEGRAL et GLAST pour l'exploration en gamma. Et cela continuera sûrement, rendez-vous en 2007 pour le N° 120 des CAHIERS CLAIRAUT.

G.W. : Tu nous a certainement convaincus, l'astronomie est bien vivante. Mais cette vitalité, et l'importance de ces recherches sont-elles bien comprises par le public ?

A.B. : Il y aura toujours plus à faire dans ce domaine de la communication entre chercheurs et public. En fin de compte, c'est un problème d'orientation générale de l'éducation : ou bien celle-ci est dominée par la formation professionnelle - et il y a le très grand risque de former des techniciens pour des techniques qui deviennent rapidement obsolètes - ou bien on se préoccupe avant tout de former des esprits libres, donc capables de s'adapter aux techniques nouvelles, d'apprendre des sciences nouvelles. Conséquence, former les jeunes à bien comprendre les sciences, cela ne peut consister à

leur faire mémoriser des résultats mais surtout leur faire saisir l'importance des principes, la valeur des méthodes, la mémorisation des lois viendra ensuite, par surcroît via les travaux pratiques.

De ce point de vue, l'astronomie est merveilleusement placée, une véritable science de culture bénéficiant des avancées et des réflexions de toutes les autres disciplines. C'est pourquoi il faut que l'astronomie soit enseignée à tous les niveaux, de la Maternelle à l'Université. Et pas par des professeurs spécialisés mais par des enseignants volontaires de toutes les disciplines, bien motivés et bien formés comme ceux qui suivent les stages du CLEA. Des professeurs spécialistes ne devraient intervenir qu'au niveau de la formation des enseignants et des chercheurs en astronomie.

L'effort fourni au niveau de l'enseignement général devra être très important et poursuivi avec continuité. C'est à ce prix qu'il aura son bon effet sur le public et corrigera donc les dégâts ou méfaits dus aux excès de certains médias qui attachent trop de prix au sensationnel ou au spectaculaire sans analyser vraiment ce que signifient les recherches entreprises.

Au niveau de l'enseignement supérieur, là où la formation professionnelle des futurs chercheurs est évidemment la charge de spécialistes, il faudrait que le recrutement des jeunes chercheurs se fasse de façon régulière, qu'on évite ces à-coups qui raréfient une année les postes disponibles pour les libérer une année suivante. Il faudrait aussi empêcher que se développe un climat malsain de compétition à outrance là où devrait régner un sens naturel de la coopération. On juge trop souvent les qualités d'un postulant au nombre de ses publications ; ne vaudrait-il pas mieux prendre en considération le contenu plutôt que le nombre de pages ?

G.W. : En 1987, tu déplorais, cher André, que dans nos sociétés "la distraction superficielle prenne le pas sur la culture qui fait réfléchir ". Dix ans, plus tard, estimes-tu qu'il y a un progrès, un frémissement de progrès ?

A.B. : Comme tout le monde, je répondrai oui un jour et non le lendemain. Oui comme le jour où j'ai appris que la démonstration du théorème de Fermat était trouvée et non le lendemain après lecture dans la grande presse de commentaires stupides sur le coût de la recherche scientifique. Mais les jours OUI comme les jours NON, je crois que nous devons continuer au CLEA notre travail avec confiance, le temps des jours OUI fréquents viendra. ■

Eclipse totale visible en France, le 11 Août 1999

Définissez dès maintenant vos projets pédagogiques relatifs à l'éclipse, à mener pendant l'année scolaire 1998-1999. Un appel d'offre par le Ministère devrait avoir lieu avant Juin 1998.

« L'IAYC, une aventure »

Le 33^{ème} IAYC (International Astronomical Youth Camp) a eu lieu l'été dernier à Sayda, près de Dresde, en Allemagne. Comme chaque année, ce camp européen de trois semaines rassemble des jeunes de 16 à 24 ans. La langue officielle est l'anglais. Sa particularité réside dans l'absence de cours magistraux, puisque chacun au sein d'un des groupes thématiques, prend l'initiative d'un petit travail de recherche (même les débutants sont les bienvenus). Le NAP (Non Astronomical Programme) contribue de façon originale à faire découvrir différentes cultures et à créer une atmosphère inoubliable.

Si vous êtes intéressé(e) par l'Astronomie et parlez anglais (même imparfaitement !), vous pouvez demander (en anglais) une documentation gratuite pour l'été 98 :

Gwendolyn Meeus Parkstraat 91 3000 Leuven Belgique

La classe au Soleil

1 Le Soleil des hommes et des enfants, des peintres et des poètes...

" Il n'est aucun de vous, braves enfants, qui n'ait vu le Soleil, ou tout au moins qui n'en ait entendu parler "...Certes ! C'est à peu près (mais au lieu d'enfants c'est à des collègues que s'adressait l'orateur ; et il parlait de la Lune et non du Soleil) la phrase par laquelle le président Barbicane, s'adressant à l'Assemblée Générale du Gun-Club commença le discours qui devait l'emmenner autour de la Lune - selon Jules Verne en tout cas. C'est à coup sûr la façon dont un enseignant d'aujourd'hui pourrait parler à ses élèves.

Car il est bien vrai que l'on connaît assez peu le Soleil. On en a d'abord une image un peu mythique. On a dit, en se souvenant d'Icare ou de Phaéon, qu'il ne fallait pas le regarder les yeux ouverts sous peine d'être brûlés. Et cette expérience, quand elle a été osée, a le plus souvent été douloureuse....L'avertissement est on ne peut plus sérieux. Alors, timide et effarouché, on a vu des photos, on a lu des livres... on l'a regardé notre Soleil, mais bien rapidement, au moment de son coucher (plus rarement de son lever)...Il est rouge alors...Pourtant, la définition même, la lumière " blanche ", c'est une lumière qui a le même " spectre ", la même intensité relative des différentes couleurs de l'arc-en-ciel, que la lumière, précisément, du Soleil...Mais pas à son coucher ! Et il est rare en effet qu'un enfant ait bien vu, même une fois dans la vie, le Soleil. Et comme les enfants, les poètes ou les peintres connaissent surtout le Soleil lorsqu'il est bas...

*Pause : petite anthologie francophone
(un seul vers par poète... Trouvez les autres ! ...et trouvez en d'autres...)*

Victor Hugo : *Le soleil s'est couché ce soir dans les nuées...*
Charles Baudelaire : *Le soleil moribond s'endormir sous une arche...*
Stéphane Mallarmé : *...Se traîner le soleil jaune d'un long rayon.*
Arthur Rimbaud : *J'ai vu le soleil bas taché d'horreurs mystiques...*
Robert Desnos : *Le soleil ce jour-là couchait dans la cité...*
René Char : *La teinte du caillot devient la rougeur de l'aurore..*
G. Gratiat : *De ma chambre j'ai vu un soleil tout de sang...*

Et les peintres ne sont pas en reste !

Soleil orangé couchant sur un port - vu par Claude Lorrain
Soleils couchants ou levants - de Claude Monet
(dont le fameux : « Impression, Soleil levant »)
Soleil couchant sur le semeur - de Van Gogh
Soleil rouge des abstractions - de Klee ou Kandinski
Soleil noir - d'Albrecht Dürer (« le soleil noir de la mélancolie, selon Nerval)
et mille autre soleils, rouges, oranges ou noirs.

Concours pour les élèves d'une petite classe : trouver à la bibliothèque, ou chez papa-maman, des oeuvres de peintres ou de poètes où le Soleil est représenté... L'est-il souvent comme un soleil brillant, ou plus souvent comme un soleil rouge ?

Parfois ce n'est qu'un symbole (divin ou héraldique) : une représentation soit, mais pas une véritable description, pas l'oeuvre d'un peintre qui aurait regardé le Soleil !! ...Et pour cause !

Car le mythe d'Icare nous poursuit. Dans le célèbre tableau de Brueghel, « la chute d'Icare », Icare est déjà tombé dans l'eau. Le Soleil est doublé. Au ciel, c'est un éblouissement brillant mais informe, celui qui a tué Icare, mais au soir de cette tragique équipée, c'est un Soleil orange et net, à l'horizon du couchant, un Soleil de paix et de calme.

Et le poète Gérard de Nerval reprend l'avertissement à son compte :

*Quiconque a regardé le Soleil fixement
Croit voir devant ses yeux voler obstinément
Autour de lui, dans l'air, une tache livide...*

Alors ?

Il me semble que si j'avais la chance (mais oui !) d'enseigner l'astronomie à des enfants d'une école ou d'un lycée, je leur dirais d'abord : "*Ne regardez jamais le Soleil en face*"... Certes. "*Mais regardez le partout autour de vous. La lumière qui éclaire et colore les fleurs du jardin, les rochers de la falaise, qui étincelle sur la mer*" en mille et mille idoles du soleil" (Paul Valéry)... "*c'est toujours la lumière solaire*". "Et", continuerais-je, "*vous savez bien que le Soleil nous chauffe aussi. Et que toute l'énergie que nous recevons du Soleil suffit à maintenir notre Terre à une température acceptable pour tous ses habitants ; il fait parfois un peu chaud, parfois un peu froid... Mais enfin, sans Soleil, ce serait le zéro absolu, ou presque ; un froid mortel, des océans de glace, l'impossibilité de toute vie...*"... Et je citerais enfin un poème, pour terminer mon introduction, l'*Hymne au Soleil*, par exemple, tiré du *Chantecler*, d'Edmond Rostand :

*"Je t'adore Soleil ! tu mets dans l'air des roses,
Des flammes dans la source, un dieu dans le buisson !
Tu prends un arbre obscur et tu l'apothéoses !
Ô Soleil, toi sans qui les choses
Ne seraient que ce qu'elles sont !"*

"*La première question que je vous poserais donc, chers enfants, à propos du Soleil, c'est : d'où vient toute cette énergie qui nous fait vivre ?*"...

La réponse ne s'impose pas ... Et je quitte ici ma chaire, pour me transformer en tableau noir, ou plutôt en une ébauche de manuel. Car je crois que l'enseignant se doit non seulement de "faire savoir", ou de montrer quand c'est possible, mais surtout de "**faire comprendre**" ne fût-ce qu'un peu, que partiellement, pour bien le montrer sur quelques exemples, que la connaissance scientifique s'appuie d'abord sur une compréhension des phénomènes observés, et sur une compréhension qui est unique, la même dans tous les pays et dans toutes les langues. En ce sens, la connaissance scientifique diffère, par son caractère universel, de toute autre forme imaginable de connaissance... Cela peut et doit être compris très tôt dans la vie...

Et bien sûr, pour comprendre le Soleil, il faut **observer**, **mesurer**, et que l'enfant mette son savoir-faire au service de cet apprentissage. Des expériences faciles (cadran solaire, chambre noire) peuvent déjà lui montrer les mouvements apparents du Soleil, et l'image du Soleil avec ses taches. Ces petites expériences (et celles que je propose ci-après ; mais on peut en imaginer d'autres, les CC

en ont proposé) peuvent donner à l'enfant l'intuition qu'avec de plus gros moyens, ceux des astronomes professionnels, il pourrait en savoir observer beaucoup plus et comprendre beaucoup mieux.

Montrer aussi à l'enfant que la physique qui régit les astres est la même que celle qui régit notre physique, sur Terre (chute des corps, champs magnétiques...) ne serait-ce pas une bonne prévention contre les tentations médiévales de l'astrologie, auxquelles les enfants, hors de la classe, sont continuellement exposés ?

2 L'origine de l'énergie solaire

Je reviens à ma question sur l'origine de l'énergie solaire, si essentielle pour nous, habitants de la Terre. Une vieille question, à laquelle il a fallu des dizaines de siècles pour répondre... Et, de fait, comment y répondre tant qu'on ne savait ni la **distance**, ni les **dimensions** du Soleil ?

Distance donc d'abord. Ceci est facile (en principe !) à mesurer. L'astronome grec Aristarque de Samos (vers -310 ; -230), avait déjà imaginé une bonne méthode, en utilisant la Lune à l'un des ses quartiers, quand elle nous montre exactement une demi-face éclairée ; alors le triangle Terre-Lune-Soleil est droit, l'angle sous lequel on voit la distance Lune-Soleil est une mesure de la distance du Soleil si on connaît celle de la Lune (bien sûr, il faut connaître celle de la Lune ; mais d'autres méthodes géométriques ont été mises au point, depuis l'antiquité, tout comme la mesure du rayon de la sphère terrestre.: excellents exercices pour les élèves ! Notamment à l'occasion d'une prochaine éclipse de Lune...). Une autre, c'est, comme le touriste qui regarde la tour Eiffel, d'utiliser ses deux yeux, de cligner des yeux (fig.1). la distance se déduit de la position apparente de l'objet proche, tour ou Soleil, par rapport aux objets lointains, quasiment à l'infini (colline de Meudon, ou étoiles)... Oui, me direz-vous, mais il n'y a pas d'étoiles en plein jour ... Voire ! pendant une éclipse totale de Soleil... Mais c'est rare. Alors le doigt, ce peut être une planète comme Vénus, ou un astéroïde comme Eros, et c'est le Soleil qui est la montagne, quasiment à l'infini, lui aussi... De savantes déductions permettent de connaître le rapport des deux distances ; des mesures directes la nuit permettent de connaître la distance de Vénus. Bref, c'est possible. Mais pas à un élève de cinquième, pas même à un astronome chevronné : il faut une équipe avec des observateurs en différents sites distribués sur la Terre. Ce sont des mesures que l'on fit déjà, presque parfaites au XVII^es, et qu'aujourd'hui, l'utilisation de radars, de satellites, rend encore plus précises... L'élève de cinquième, lui, peut mesurer la distance d'un arbre, sachant la distance entre ses deux yeux, et en supposant que la montagne est à l'infini... Voilà un exercice simple !

Et pour revenir au Soleil, sa **distance** est de 1 500 000 km (en chiffres ronds ; on la connaît beaucoup mieux que cela) ; la lumière met 8 mn (à 300 000 km par seconde) à nous en parvenir (combien de km dans la distance d'une année de lumière ?). On connaît aussi son **diamètre apparent** (mesurez-le, c'est facile, avec une droite graduée ou un double décimètre au bout de votre bras tendu, au moment du coucher du Soleil bien sûr, pour éviter les brûlures) ; il est de un demi-degré, environ. On en a déduit son diamètre : environ 1 400 000 km.

Car il est essentiel, comme premier contact avec l'astronomie, de se rendre compte que le Soleil est environ cent fois plus grand, un million de fois plus volumineux que la Terre, de se rendre compte que les distances des astres sont énormes, et que le ciel est extrêmement profond, que certaines étoiles visibles sont des millions de fois plus loin que le Soleil... Le ciel n'est pas la voûte étoilée à laquelle croyaient les anciens. C'est un espace immense. Nous connaissons des galaxies qui contiennent des milliards d'étoiles et sont à des distances de plusieurs milliards d'années de lumière.

C'est dire que la lumière que nous observons a quitté ces astres (qui ont bien du mal à changer depuis lors !) depuis des milliards d'années. L'Univers est au moins aussi vieux !...

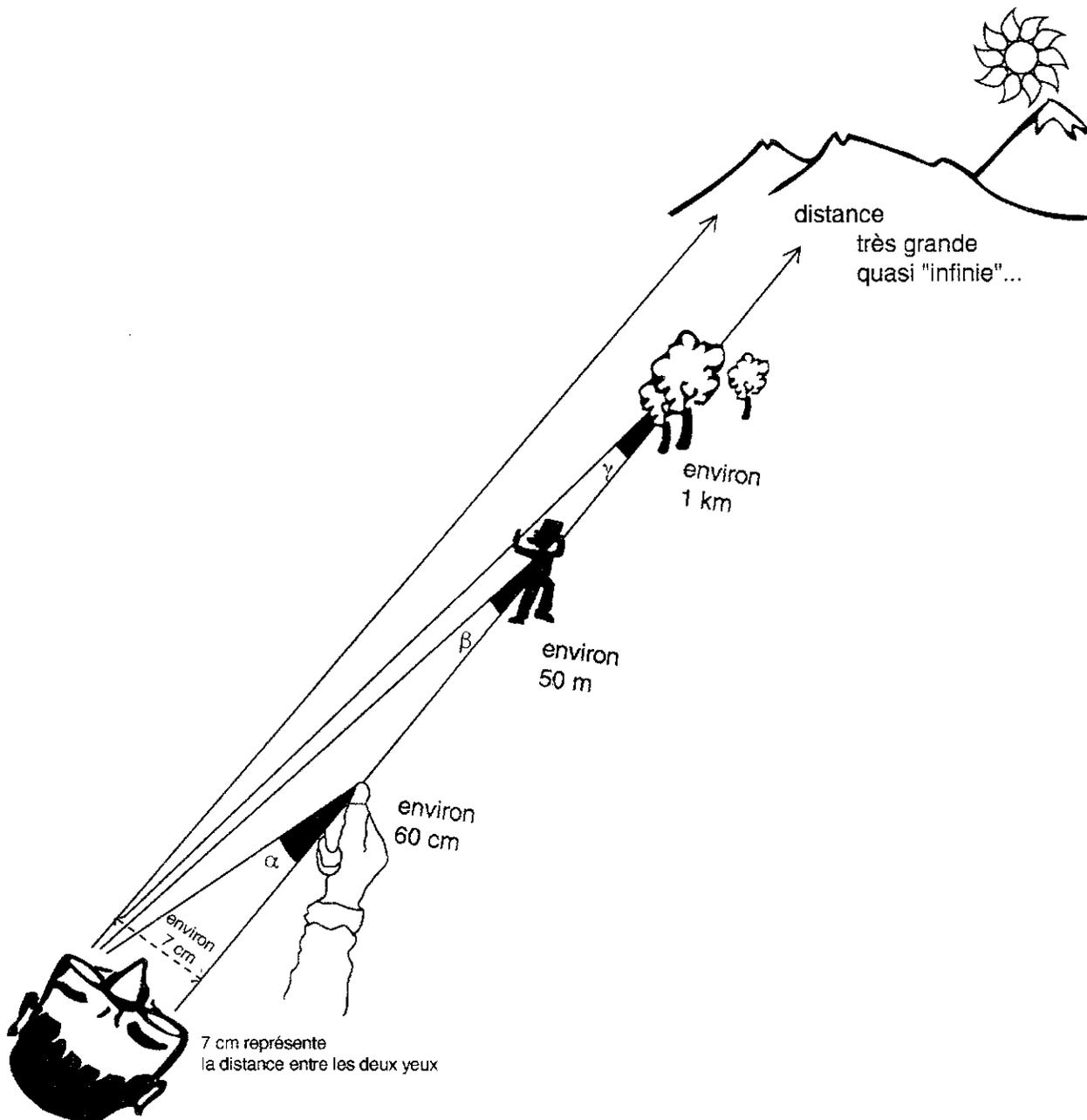


Figure 1 : Mesurer simplement la distance d'un objet proche

Avec deux yeux, et un doigt, on voit, en clignant des yeux, l'objet proche se déplacer par rapport à l'objet lointain d'un certain angle. Cet angle (mesurable !) est α pour un objet proche (le doigt), β , pour un personnage, γ pour un élément de paysage, et, par définition, zéro pour la montagne ou le Soleil, quasiment à l'infini. La mesure des angles α , β , γ est une mesure de la distance de ces objets. Il suffit de connaître la distance entre les deux yeux, et de calibrer les angles par rapport à α , connu, si l'on connaît la longueur de son bras tendu, 60 cm à peu près... On procède ainsi avec le « doigt de Vénus », et le Soleil... Pour déterminer la distance du Soleil, on utilise le rapport (connu grâce aux lois de Kepler) entre la distance de Vénus au Soleil et celle de la Terre au Soleil.

Un autre exercice pratique, facile. Mesurer l'énergie qui nous vient du Soleil. Un petit calorimètre, plein d'eau, dont on mesure la température, sera notre outil. Face au Soleil, de combien l'eau s'est-elle réchauffée en une heure ? Facile à mesurer. On en déduit (mettez au point les détails !) la température de la surface du Soleil... puisque l'on sait la distance du Soleil, et puisque l'on sait quel est le rayonnement émis par un cm^2 de surface portée à telle ou telle température T (depuis Planck, 1900). Je vous épargne ce calcul !... La température de la surface du Soleil est en moyenne (c'est sa température "effective") de 5770°K .

La question toute naturelle qui vient ensuite, c'est : "le Soleil brûle-t-il ?"... Ou plutôt, comment le Soleil produit-il l'énergie qu'il produit ?

Est-ce une réaction chimique comparable à une oxydation, à une combustion, comme celle du charbon, voire à une réaction très exothermique, comme celle du sodium avec l'eau ? L'énergie mise en jeu, quelle que soit la réaction exothermique considérée, est du même ordre de grandeur, quelques calories par molécule-gramme. Là encore, connaissant la masse du Soleil, un calcul rapide doit permettre de montrer que la combustion aurait raison du Soleil en quelques milliers d'années... Compte-tenu des déterminations géologiques de l'âge de la Terre (quelques millions d'années : cela aussi on doit expliquer comment on peut le mesurer, avec les rapports d'isotopie d'éléments radioactifs de la croûte terrestre).

Et le Soleil s'effondrant sur lui-même lentement, avec libération donc de l'énergie potentielle, est-ce explication plausible ? Connaissant le rayon et la masse du Soleil on peut très vite se livrer à une approximation en calculant l'énergie libérée par une demi-masse solaire, tombant d'un rayon solaire sur le centre solaire, où la moitié de la masse solaire est supposée concentrée... Là encore, le temps de chute, calculable, correspondant à l'énergie libérée, est de quelques centaines de milliers d'années... C'est encore insuffisant.

D'où l'idée ("Eurêka !" , dit Einstein en swysserdütsch, en sautant hors de son bain, ou à peu près) : il y a équivalence entre masse et énergie, soit : $E = mc^2$...Cela, c'est une hypothèse. Mais elle est confirmée largement par l'analyse des données physiques : un noyau d'hélium résulte (dans un astre, comme dans la bombe H) de la "fusion", dans des régions de haute température et de haute pression de 4 noyaux d'hydrogène (fig.2). Consultez les tables de masses atomiques : cela représente une perte de masse. C'est cette masse qui devient énergie, et c'est cette énergie qui est rayonnée ... Si l'on admet que tout l'hydrogène du Soleil (75% de sa masse) se transforme en hélium, et au taux de (environ) 4.10^{33} ergs par seconde rayonnés par le Soleil, on voit que le Soleil pourrait si cette idée est correcte, durer cent milliards d'années. Certes, avant d'avoir consommé tout son hydrogène, le Soleil sera instable, et ceci est une autre histoire... Au moins comprend-on maintenant la grande durée de la vie Solaire.

3 Le Soleil est une étoile

On peut se poser des tas d'autres questions, on doit même se les poser, en classe, à propos du Soleil. Tout d'abord, ce Soleil dont nous connaissons maintenant la distance et la température est-il une étoile ? Pour le savoir, il faut connaître aussi la distance des étoiles, celle des planètes, et leur éclat...Distance d'abord : c'est encore plus difficile, bien sûr que de connaître celle du Soleil. Cependant, depuis près de quatre siècles (Copernic, Kepler...), on sait faire cette mesure pour les planètes, en évaluant la dimension de la "boucle de rétrogradation" d'une planète (fig.3), qui est en quelque sorte l'image de l'orbite de la Terre autour du Soleil.

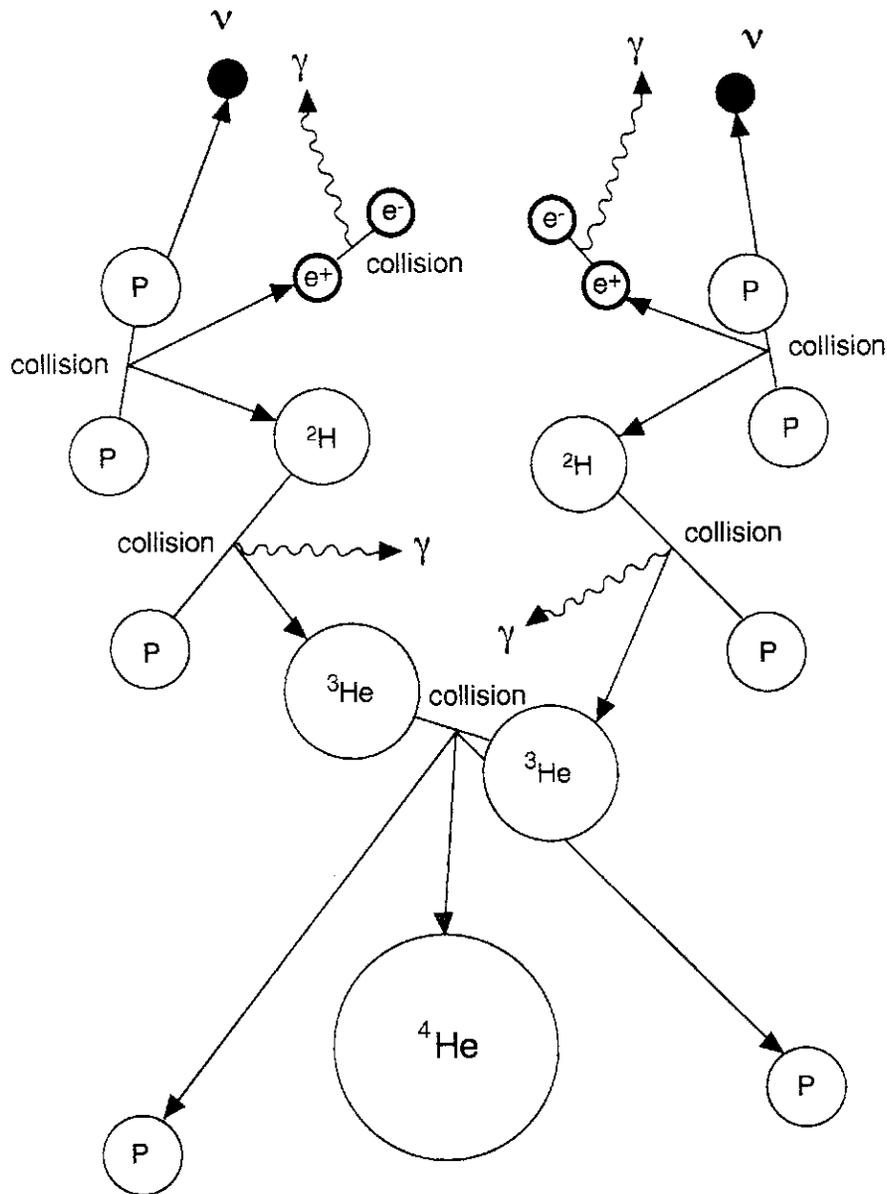


figure 2 : La série des réactions thermonucléaires dans le cœur solaire (schéma simplifié de la chaîne P1)

Les cercles représentent des particules d'autant plus complexes que le cercle est grand. Des collisions (fréquentes à haute densité et haute température) ont lieu dans le milieu où protons libres et électrons libres se déplacent rapidement...Elles sont du type : $p + p$ (p =proton), et conduisent à des noyaux de deutérium (ou hydrogène « lourd » ^2H), à des neutrinos ν , et à des électrons positifs (e^+) ; ceux-ci rentrent en collision avec des électrons (e^-) libres, et un photon γ de lumière est produit. Les noyaux ^2H formés entrent en collision avec les protons libres : production d'un photon γ de lumière, et d'un noyau d'hélium léger instable (^3He). Deux noyaux ^3He entrent en collision, produisant un noyau stable d'hélium (^4He) et deux protons. Bilan : six protons en collision, en sortent un noyau d'hélium et deux protons, ainsi que deux neutrinos et quatre photons, véhicules ultrarapides de l'énergie produite...

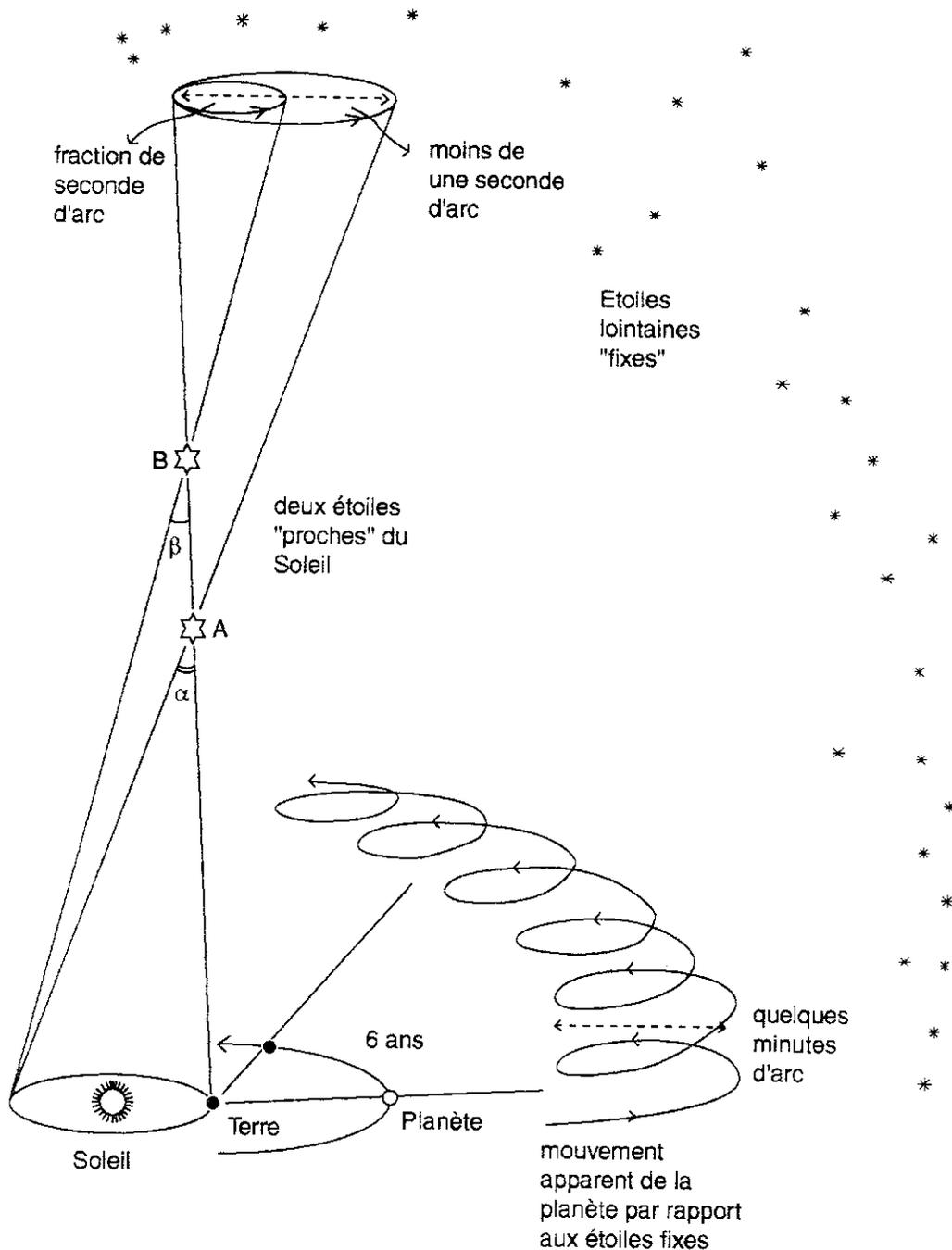


figure 3 : Distance des planètes et des étoiles proches.

Les planètes, pendant que la Terre se déplace autour du Soleil, tournent aussi autour du Soleil. Leur mouvement apparent résulte de ces deux mouvements bien réels...Il se décrit par des « boucles de rétrogradation » (elles semblent en effet, à intervalles réguliers, revenir en arrière, ...rétrograder) qui sont une combinaison de ces deux mouvements, d'où leur complexité apparente. En séparant ces deux mouvements, le diamètre apparent de l'image de l'orbite terrestre, quelques minutes d'arc, fournit la distance de la planète.

Pour les étoiles A ou B, le mouvement propre de l'étoile est négligeable : ne reste que l'image du mouvement de la Terre autour du Soleil, ellipse apparente dite « parallactique ». Son diamètre fournit la distance de l'étoile et se mesure en fractions de seconde d'arc... voire en millièmes de seconde d'arc, pour les plus lointaines dont la distance a été mesurée de cette façon.

Pour les étoiles (fig.3), depuis environ 1830-1840 (W. Struve, Bessel, Henderson), en observant le mouvement des étoiles brillantes (a priori plus proches de nous) par rapport aux étoiles les moins brillantes (à priori les plus lointaines), on peut mesurer aussi la dimension de l'orbite apparente qu'elles décrivent sur le ciel, dont la dimension est celle qu'aurait l'orbite terrestre, si le Soleil était à la distance de l'étoile considérée... Ainsi, petit problème : connaissant la distance Terre-Soleil quelle est (en km ou en années de lumière) la distance d'une étoile dont l'orbite apparente sur le ciel a un demi-diamètre de 1/10 de seconde d'arc ?

Alors, si on pouvait porter le Soleil à cette distance, quel serait son éclat, qui décroît comme l'inverse du carré de la distance ? Sera-t-il, de fait, un milliard de fois plus brillant qu'une étoile située à cette distance ; ou bien un milliard de fois moins brillant ? Pour les astronomes un facteur d'un milliard, ce n'est pas grand chose ; mais cela suffit à distinguer deux classes différentes d'astres, étoiles et galaxies par exemple... Or on peut faire le calcul et l'on vérifie que le Soleil est dans une bonne moyenne, un peu plus brillant que certaines étoiles, un peu moins que d'autres. Le Soleil est une étoile ! (fig.4)

On peut alors dresser une carte d'identité du Soleil, qui permette de le "ficher" parmi ses concitoyens, les autres étoiles (fig.5)... **Diamètre** de la sphère solaire, **masse** du Soleil (tirée du fait que la Terre tourne autour du Soleil en un an : autre problème facile à poser, et à résoudre par des élèves de grandes classes), **luminosité** du Soleil, c'est à dire son débit d'énergie par seconde (ergs par seconde produits par le Soleil).

Suite et fin dans le n° 81

Jean-Claude Pecker ■

figure 4 : Le Soleil est une étoile

Ni trop bleue, ni trop rouge, ni trop grosse, ni trop naine, ni trop chaude, ni trop froide, ni trop vieille, ni trop jeune, ni trop active, ni trop calme... Le Soleil se situe dans une bonne moyenne, au sein de l'immense famille des étoiles de toute sorte.

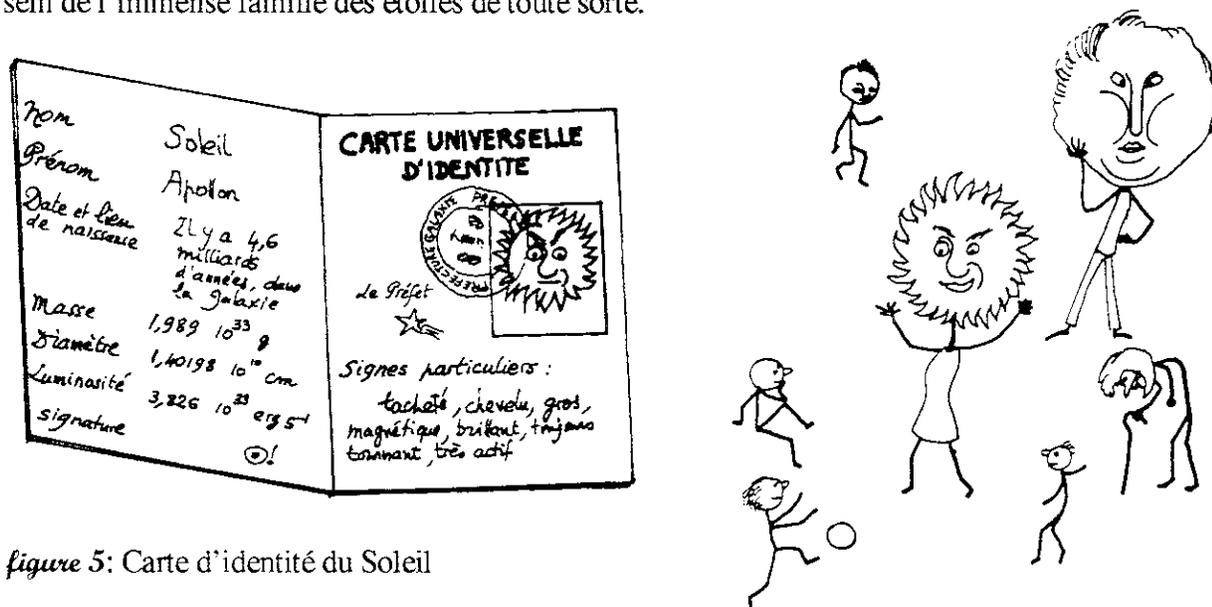


figure 5: Carte d'identité du Soleil

Le Soleil n'a pas de sosie parfait.

A l'aube de 1998

*Voici quelques réflexions sur le nouveau millésime qui nous attend.
Il s'agit seulement de faire « tilt » chez ceux des lecteurs qui auraient oublié telle ou telle notion.
Les question de développements qui demanderaient des dizaines de pages.*

1998 est coincé entre deux millésimes qui sont des nombres premiers jumeaux. Circonstance rare mais qui n'a rien d'extraordinaire à ceci près qu'on ne sait pas s'il y a une infinité de nombres premiers jumeaux.

1998 ! + 1 est divisible par **1999**, voilà qui ne vous étonne pas du tout puisque le théorème de Wilson dit bien : "Si p est premier, alors $(p-1) ! + 1$ est divisible par p ".

En 1998, Pâques a lieu le 12 avril selon le calendrier grégorien, tout comme en 1626, 1637, 1648, 1705, 1716, 1789, 1846, 1857, 1868, 1903, 1914, 1925, 1936.

Moins banal qu'on ne serait tenté de le croire : l'équation diophantienne :

$$(1000n + 1)^2 - 1000n^2 = (n + 1)^2$$

n'a qu'une solution, $n = 1998$, hormis la solution triviale $n = 0$.

$$(1000n+1)^2 - (1000n)^2 = (n+1)^2$$

1998 est le nombre de diviseurs de 8 333 954 541 158 400

$$1998 = 6 \sqrt{12321 \times (1+2+3+2+1)}$$

1998 est la somme de quatre nombres hautement composés :

$$1998 = 6 + 12 + 720 + 1260$$

(Rappelons qu'un nombre hautement composé a plus de diviseurs que l'un quelconque des nombres qui le précèdent.)

la pêche miraculeuse - Selon l'Evangile de Jean (chap XXI, verset 11): Jésus leur dit : "Apportez de ces poissons que vous venez de prendre".

Alors Simon Pierre monta dans le bateau et tira à terre le filet, plein de gros poissons, cent cinquante trois ; et quoiqu'il y en eût tant, le filet ne se déchira pas.

Or 153 est formé des trois chiffres 1, 5, 3 qui se permutent six fois et :

$$135 + 153 + 315 + 351 + 513 + 531 = 1998$$

Pour les émotifs, disons que l'apôtre Jean (ou son rédacteur) écrivait sans doute en araméen et peut-être en grec. Dans un cas comme dans l'autre, le système de numération employé ne pouvait permettre cette coïncidence numérique.

Maurice Carmagnole ■

Mathématique et astronomie

Séquence de formation des stagiaires de mathématiques de 2^{ième} année d'IUFM

Nos collègues Gérard Frizet et Michel Lemenicier, professeurs de mathématiques respectivement au lycée Ed. Branly et au lycée Rotrou de Dreux nous présentent leur travail, effectué à l'IUFM de Chartres en mai 1997.

Descriptif de l'atelier

- Présentation visuelle (diapos, maquettes, vidéo) du système solaire et en particulier des comètes en utilisant les événements astronomiques de l'année (comète Hale-Bopp, opposition de Mars, rétrogradation des planètes, mission Magellan)
- Utilisation de planétaires héliocentriques
- Tracé d'orbites circulaires décentrées et de l'orbite de la comète Hale-Bopp au voisinage du Soleil.
- Utilisation d'éphémérides (banque de données)
- Calcul de petits angles et de vitesses (utilisation d'une calculatrice programmable)

Organisation :

- 1^{ère} séance (3h) : présentation du système solaire et des comètes, jeu-test.
- 2^{ième} séance (3h) : histoire des idées sur le système solaire, planétaires, tracés, calculs.
- 3^{ième} séance (3h) : utilisation de maquettes et de l'ordinateur ; travaux d'élèves en lycée.

Matériel : calculatrice (si possible programmable) , rapporteur circulaire, papier millimétré

Prérequis : aucun

Préparation demandée aux stagiaires :

- noter les faits d'actualité (TV, revues) en rapport avec les sujets abordés
- s'informer sur le système solaire (idées anciennes et récentes)
- repérer des énoncés d'exercices d'astronomie dans des livres scolaires de math (de la 6^{ième} à la terminale).

I - Représentation en trois dimensions de l'orbite de Hale - Bopp

Le but du TP est de représenter, en trois dimensions, une partie de l'orbite de Hale-Bopp à proximité du Soleil, ainsi que les orbites des planètes Terre et Mars puis d'utiliser cette maquette pour répondre à certaines questions.

Matériel nécessaire : crayon, règle, compas, rapporteur, calculatrice, deux feuilles de papier ou de carton, ciseaux.

Notions mathématiques abordées (à adapter selon les niveaux) : angles orientés, cercle, ellipse, parabole, tableau de données, courbe d'une fonction paire, repère de l'espace, rotation, changement de repère, trigonométrie, distance de deux points, proportionnalité, pour les changements d'unité.

1 - Sur la feuille n°1 :

- dessiner l'orbite de la Terre assimilée à un cercle centré sur le Soleil S et de rayon représentant une unité astronomique. On choisira comme unité 5 cm pour 1 u.a..
- Tracer une demi-droite $[S\gamma)$ à partir de laquelle on mesurera les angles orientés.
- Placer les points T_1, T_2, T_3 , correspondant aux positions de la Terre respectivement les 23 mars, 1^{er} avril et 6 mai 1997, sachant que les longitudes héliocentriques de la Terre étaient respectivement $183^\circ, 192^\circ, 227^\circ$.
- pour tracer l'orbite de Mars, on utilisera un cercle excentré :
 - . La longitude du périhélie étant 336° , tracer une demi-droite $[SP)$ telle que $([S\gamma), [SP)) = -24^\circ$.
 - . Le demi-grand axe est $a = 1,524$ u.a., l'excentricité est $e = 0,0934$; placer le centre O de l'ellipse (assimilée au cercle excentré) tel que $SO = e \times a$ et O, S, et P soient alignés dans cet ordre.
 - . Tracer le cercle de centre O et de rayon a.
- Placer la Terre et Mars sur leurs orbites le 17 Mars 1997 sachant que leur longitude commune était 177° et mesurer la distance séparant les deux planètes lors de cette opposition (donner le résultat en millions de km).
- La longitude du noeud ascendant Ω de la comète est 282° ; tracer la droite des noeuds en utilisant la direction du noeud descendant N telle que $([S\gamma), [SN)) = 102^\circ$.

2 - Sur la feuille n°2 :

- Placer le Soleil au centre et tracer un repère orthonormal direct (S, \vec{i}, \vec{j}) .
- Tracer l'orbite de la comète Hale-Bopp, assimilée dans le voisinage du Soleil à un arc de la parabole d'équation : $y = 0,276 x^2 - 0,914$.
- Placer sur cette parabole les points H_1 et H_2 d'abscisses respectives $-0,34$ u.a et 0 u.a. Construire H_3 point de la parabole tel que $([SH_2), [SH_3)) = 49^\circ$: la droite (SH_3) est la ligne des noeuds ; H_1 est la position de la comète le 23 mars (date à laquelle elle s'est approchée le plus près de la Terre ; H_2 est sa position le 1^{er} avril (date de passage au périhélie) et H_3 est sa position le 6 mai (date du passage au noeud descendant N, dans le plan de l'écliptique).

3 - Mesurer la distance SH_3 (c'est à dire SN) sur la feuille 2 et placer $N = H_3$ sur la feuille 1. Mesurer la distance T_3H_3 et calculer la distance (en km) séparant les deux astres le 6 mai.

4 - Pour la visualisation en trois dimensions :

L'angle du plan de l'orbite et du plan de l'écliptique est $89,43^\circ$. On peut donc considérer que ces deux plans sont perpendiculaires.

Entailler la feuille 1 sur la droite (H_3S) : couper le segment ne contenant pas S qui va du bord de la feuille jusqu'à S_3 ; puis entailler la feuille 2 : couper le segment contenant S qui va du bord de la feuille jusqu'à H_3 ; faire coïncider ces entailles en tenant les deux feuilles perpendiculaires de façon à ce que le point H_2 de la feuille 2 soit vu « au-dessus » de la feuille 1.

5 - Utilisation du repère orthonormal de l'espace $(S, \vec{n}, \vec{v}, \vec{w})$

(S, \vec{v}, \vec{w}) est l'image de (S, \vec{i}, \vec{j}) par la rotation de centre S et d'angle 139° sur la feuille 2 et

(S, \vec{n}, \vec{v}) est un repère direct sur la feuille 1. (\vec{v} a même direction et même sens que la demi-droite $[S\Omega)$).

Vérifier que les coordonnées de T_1 sont (en u.a) environ $(0,988 ; -0,156 ; 0)$ et que celles de H_1 sont environ $(0 ; -0,32 ; 0,887)$. Calculer alors la distance T_1H_1 en km.

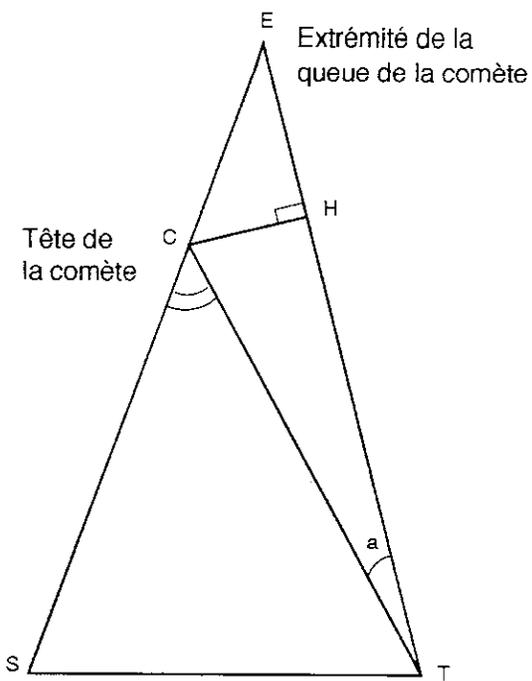


fig 1

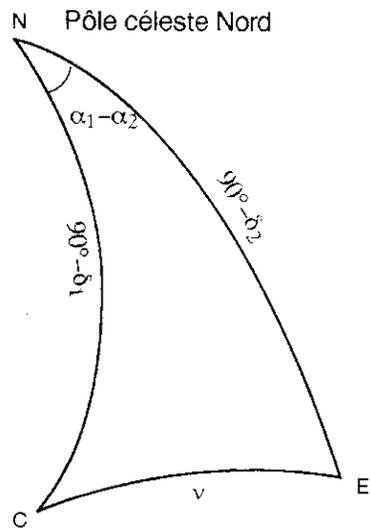


fig 2

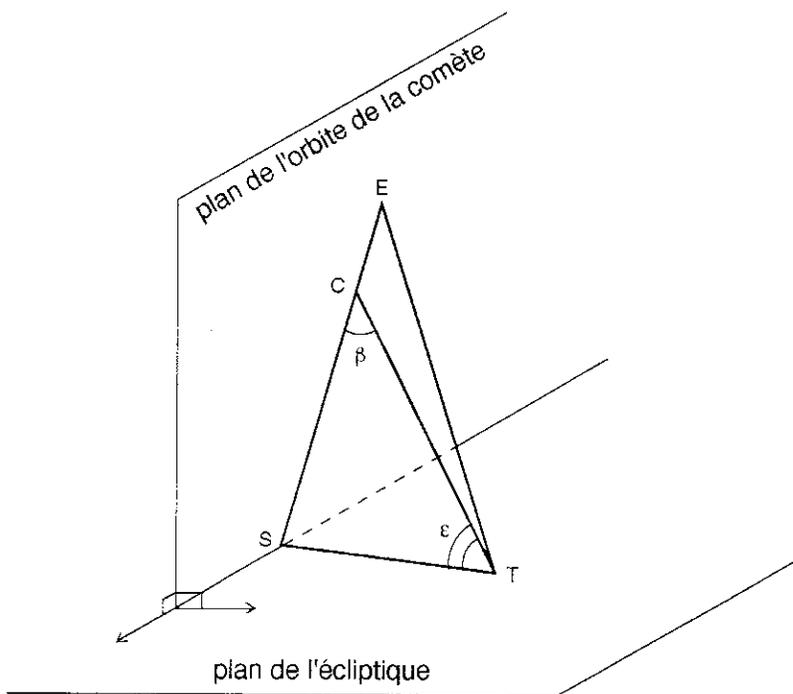


fig 3

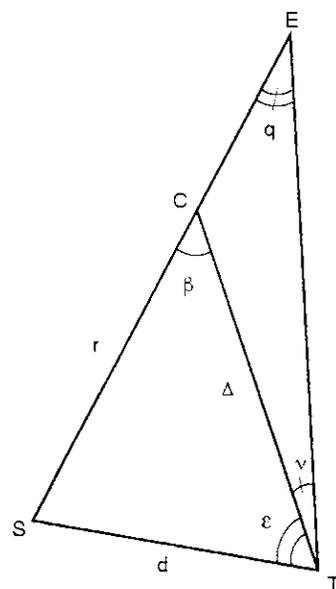


fig 4

II - Petits problèmes pour aller plus loin sur les comètes.

1 - Problème A : longueur de la queue de la comète Hale-Bopp.

Niveau seconde :

Sur une photo prise le 28 Mars 97, on a mesuré la queue (bleue de plasma) de la comète : 6cm. En utilisant les étoiles de la constellation de Cassiopée visible sur la photo on a pu établir que 2cm sur la photo correspondaient à un angle de $4,9^\circ$.

Calculer l'angle α sous lequel est vue la queue CE de la comète. Calculer successivement l'angle $e = \text{SET}$ et les longueurs CH et CE en km. $CT \approx 199 \times 10^6$ km et l'angle SCT mesure $48,7^\circ$ (fig.1).

Niveau première S (ou supérieur) :

C est la tête de la comète (noyau), E est une étoile vue par transparence à travers la queue et située approximativement à son extrémité. On connaît les coordonnées équatoriales de C à cette date (α_1, δ_1) et celles de l'étoile E (α_2, δ_2).

Alors la longueur angulaire apparente de la queue vue depuis la Terre est l'angle ν donné par la relation : $\cos \nu = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$. (fig.2)

On pose : $r = CS$ (distance comète-Soleil) ; $d = ST$ (distance Soleil-Terre) ; $\Delta = CT$;

$\epsilon =$ élongation de la comète ; $\beta =$ angle de phase de la comète (fig.3). Les distances sont exprimées en u.a (1 u.a \approx 149,6 millions de km.). On peut trouver d, r, ϵ dans les éphémérides. La donnée supplémentaire de β (ou de Δ) permet de calculer Δ (ou β) avec le théorème d'Al-Kashi : dans le triangle SCT, la formule : $d^2 = r^2 + \Delta^2 - 2r\Delta \cos \beta$ permet de calculer β (fig.4).

Si ν est donné ou calculé, alors dans le triangle CET, avec $q = \beta - \nu$, on peut trouver la longueur CE de la queue de la comète en utilisant la formule des sinus : $CE / \sin \nu = \Delta / \sin q$

Question 1 : le 17 mai 1997 on peut lire dans les éphémérides :

$d = 1,01$ u.a ; $\Delta = 2,041$ u.a ; $r = 1,215$ u.a. Calculer β et ϵ .

Question 2 : le 1^{er} Avril 1997, la comète passait au périhélie à 3h TU. La queue était vue depuis la Terre sous un angle d'environ 16° ; $\Delta = 1,353$ u.a ; $\beta = 47,4^\circ$. A la radio, un journaliste enthousiaste a dit que la longueur de la queue dépassait la distance Terre-Soleil. A-t-il exagéré ?

Question 3 : le 27 Mars 1997, l'extrémité de la queue de la comète passe près de l'étoile Ruchbah (δ Cassiopée), de coordonnées équatoriales $\alpha_2 = 1\text{h } 9,3 \text{ mn}$; $\delta_2 = 45^\circ 36,5'$. Calculer la longueur apparente ν au demi-degré près. Sachant qu'à cette date on a $\beta \approx 48,5^\circ$ et $\Delta \approx 1,325$ u.a calculer la longueur de la queue en millions de km.

2 - Problème B : utilisation de la maquette réalisée lors du TP

Le jour où la comète traverse l'écliptique au noeud descendant, elle est dans une constellation du zodiaque : laquelle ? Où se trouve la Planète Mars ce jour là ? Estimer les distances Terre-Mars, Mars-comète et Terre-comète ce jour là à l'aide de la maquette. Contrôler éventuellement sur des éphémérides.

3 - Problème C : l'orbite réelle de la comète Hale-Bopp

C'est une ellipse de foyer S et d'excentricité $e = 0,995$; la distance au Soleil de la comète lors du passage au périhélie est : $SP = 0,914$ u.a. Trouver, en u.a, le demi-grand axe a . Quelle est en années terrestres sa période de révolution ?

4 - Problème D : vitesse de la comète

D'après la deuxième loi de Kepler, la vitesse de la comète est variable : elle est donnée par la formule : $v = \mu \sqrt{2/r}$ avec $\mu \approx 29,8$; r est la distance au Soleil en u.a.
Calculer sa vitesse le 1^{er} Avril et le 17 mai 1997, puis lors du passage à l'aphélie.

Gérard Frizet ■

Lycée Ed Branly, 29, avenue J.F.Kennedy, 28100 Dreux.

Solutions des petits problèmes

Problème A : longueur de la queue de la comète Hale-Bopp

- niveau seconde : 6cm sur la photo représente un angle $a = 14,7^\circ$.

Donc $e = 48,7^\circ - a = 34^\circ$.

Alors dans le triangle rectangle CHT : $CH = CT \sin a$ et dans le triangle CHE : $CE = CH / \sin e$.
 $CE \approx 90,3 \times 10^6$ km.

- niveau première S :

1 - le 17 mai 97 : $\cos \beta = (r^2 + \Delta^2 - d^2) / 2r\Delta \approx 0,932$ donc $\beta \approx 21,269^\circ$. $\sin \varepsilon / r = r \sin \beta / d$
donc $\varepsilon \approx 25,873^\circ$.

2 - le 1^{er} avril 1997 : $q = \beta - \nu = 31,4^\circ$; $CE = \Delta \sin \nu / \sin q$ donc $CE \approx 0,716$ ua
soit 107×10^6 km.

3 - le 27 mars 1997 : $1h15mn = 18,75^\circ$; $1h9,3mn = 17,325^\circ$; $45^\circ 36,5' \approx 45,6^\circ$.

$\cos \nu = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos (\alpha_1 - \alpha_2)$ donc $\nu \approx 14,4^\circ$.

$q = \beta - \nu \approx 34,3^\circ$; $CE = \Delta \sin \nu / \sin q$ donc $CE \approx 0,585$ ua soit $87,5 \times 10^6$ km.

Problème B : utilisation de la maquette.

Le 6 mai 1997, la comète passait au noeud descendant N (ou H₃). La terre était en T₃ ; on place Mars sur la feuille 1 : sa longitude est 199° . On mesure alors les distances MT₃, MH₃, T₃H₃, en cm et on utilise l'échelle du dessin. On trouve environ : 0,85 ; 2,05 ; 1,856.

La longitude de T₃ étant 227° , l'angle (T₃, TS) mesure 47° . L'élongation de la comète est (TS, TN) = $\varepsilon = 29,8^\circ$. Donc l'angle (T₃, TN) = $76,8^\circ$. Or, dans un repère géocentrique, la constellation du Taureau s'étend de 50° à 89° , à partir de T₃, sur l'écliptique.

Problème C : l'orbite réelle de la comète

C'est une ellipse de foyer S, d'excentricité $e = 0,995$; $SP = q = 0,914$ u.a. Or $q = a - c$ et $e = c/a$. Donc $a = q / (1 - e)$; $a = 182,8$ ua $\approx 27 \times 10^6$ km.

D'après la 3^{ème} loi de Kepler, si la période de révolution de la planète est T années, alors $a^3 / T^2 = 1$ (si a est exprimée en u.a et T en années terrestres).

Donc pour Hale-Bopp : $T = \sqrt{a^3} \approx 2471$ ans.

Problème D : vitesse de la comète

Le 1^{er} avril, $r = 0,914$ donc $v \approx 44$ km/s. Le 17 mai, $r = 2,041$ donc $v \approx 29,5$ km/s.

A l'aphélie, $r = 2 \times 182,8 - 0,914$ donc $v \approx 2,2$ km/s.

De la boule de polystyrène au CD-ROM

Une expérience en CM 2

Je vais essayer de relater une action que j'ai soutenue cette année en CM₂. N'étant pas l'acteur principal, j'espère faire pour le mieux et réussir à traduire ce qu'a été le travail des élèves de la classe et de leur maîtresse.

En début d'année scolaire un IEN de Cahors, connaissant mon léger faible pour l'astronomie, me demandait de contacter une collègue qui avait un projet d'astronomie en CM₂. Et me voilà embarqué, dans le cadre d'un C.A.T.E. pour une merveilleuse aventure.

La maîtresse avait déjà une idée de projet. Nous avons discuté de ce qui était possible de faire. Pour ma part, je ne souhaite pas intervenir directement en classe. Je préfère donner un certain nombre d'informations à l'enseignant, préparer les manips avec lui, mais le laisser avec ses élèves. Je pense qu'il peut alors maîtriser un certain nombre de savoir-faire et ceci est important pour les années suivantes. Le projet de l'enseignante, Marie Claire Ricou, allait dans ce sens puisqu'elle souhaitait faire passer un certain nombre d'apprentissages dans la plupart des matières au travers du thème de l'astronomie. Le projet pédagogique (annexe 1) permet de mieux cerner le travail effectué.

En fait, le projet initial a été dépassé car les élèves très enthousiastes ont poussé leurs recherches très loin. Marie Claire m'a dit : "j'ai initié le projet, mais il m'a vite échappé". Les élèves se l'étaient approprié. A ce moment là, on aurait pu déjà dire que la partie était gagnée. Les élèves recherchaient et amenaient toutes sortes de documents : articles, photographies, vidéos. Se regroupant par affinité, ils ont choisi les thèmes qu'ils allaient traiter. En parallèle, l'enseignante faisait observer, interpréter (mouvements des astres, phases de la Lune, repérage, ...), construire des maquettes ; elle mettait en place les connaissances tout en structurant l'Univers. Le matériel CLEA a servi et a été apprécié (les boules de polystyrène : un point de départ).

L'astronomie a été un thème fédérateur par lequel un grand nombre d'objectifs du programme ont été atteints dans différentes matières : objectifs de connaissance (questionnaires initial et final : annexes 2 et 3), mais également méthodologiques.

L'ensemble de tout ce travail devant aboutir en fin d'année à la réalisation d'un CD-ROM. Et quel CD ! Evidemment, les élèves n'ont pas fait la programmation confiée à une dynamique équipe de l'IUFM. Mais à partir des recherches, chaque groupe a réalisé un panneau qui a été présenté au reste de la classe, puis un dossier a été monté en vue de la réalisation du CD. Comment présenter le sujet pour un large public ? C'est la question sur laquelle se sont penché nos jeunes. Les enfants ont tout fait : choix des textes, des images, des voix enregistrées, des musiques, des dessins, de la mise en page et jusqu'à la réalisation de la jaquette du CD. Et c'est là le travail le plus enrichissant, le plus formateur (mille excuses à mes collègues qui ont fait la programmation).

En dehors de ce travail en classe, les élèves ont visité en novembre un camion exposition qui présentait alors la future Cité de l'Espace de Toulouse (inaugurée le 27 juin 97). Les caprices du temps ne leur a pas permis de faire une soirée d'observation à l'observatoire de Gigouzac, mais ils ont fait une classe d'astronomie à Anglet. Le 1^{er} juillet ils ont visité la Cité de l'Espace. Visite fructueuse à plus d'un titre.

Elle fut commentée par un collègue chargé de l'accueil pédagogique, les enfants se déplaçaient dans un environnement qui leur était familier (planètes, cadrans solaires,...jusqu'aux puissances de dix) et la séance de planétarium a été un résumé de ce qu'ils avaient rencontré au cours de l'année.

Mais revenons dans leur classe. Au mois de juin, ils ont présenté le CD aux parents et à l'école. Ils ont accueilli, montré, expliqué et fait passer leur enthousiasme. Qu'ils étaient fiers! Voilà une classe qui a vécu une belle aventure. Que de changements pour le groupe et pour chaque individu!

Je vous rapporte pêle-mêle ce que m'a dit Marie Claire : le thème et la méthode ont fédéré les élèves, il y a eu plus de cohésion dans la classe, plus de cohérence dans le travail. Tous ont fait des efforts (par exemple, effort de celui qui a des difficultés en lecture orale et qui travaille le week-end pour être enregistré le lundi). Il faut également noter les progrès en autonomie et en savoir faire : ils ont appris à utiliser des sommaires, des index, à faire un résumé de texte, à poser des questions sur ce texte et à critiquer les questions des copains. L'astronomie mène à tout. Les notions difficiles sont mieux passées car il y avait un besoin: résumé de texte pour le CD, puissances de dix pour se promener dans l'Univers, échelles pour réaliser une maquette du système solaire. La motivation n'est jamais retombée car tout était lié. Pour satisfaire sa curiosité, pour arriver au but (le CD), chaque jeune a fait du français, des calculs, de la géographie, ... Et Marie Claire de conclure : "je ne pourrai plus travailler autrement. Je ne me vois pas arriver le matin et dire aujourd'hui nous allons travailler sur les puissances de dix".

Quelles conclusions tirer ? Tout d'abord nous pouvons constater une fois de plus que l'astronomie est un thème porteur. Il permet d'aborder des parties très diverses et de plus il motive les jeunes. Est-ce que ceci peut être refait ailleurs ? Quelles sont les conditions à réunir ? Pour ma part je répondrai OUI. Il n'est pas nécessaire d'arriver jusqu'au CD (car il faut une bonne équipe derrière), une exposition de fin d'année peut être une aussi belle raison. Ceci dit, je crois que la seule condition est l'enthousiasme de l'enseignant. Il n'est surtout pas nécessaire d'être spécialiste en étoiles variables ou en planétologie pour débiter. Il faut commencer dès que l'on a un petit bagage. Marie Claire n'était pas spécialiste d'astrophysique. L'année précédente elle avait suivi un stage de recyclage sur l'astro et les quelques travaux faits ensemble ont suffi. Je crois qu'il faut simplement oser, ne pas attendre de tout savoir (qui le pourrait ?) avant de se lancer. Voilà les conditions, alors il me semble qu'en France nombreux sont ceux et celles qui pourraient essayer. Il suffit de faire un petit stage, de trouver un membre du CLEA (il y en a partout, se renseigner) et de prendre un gros sac d'enthousiasme. Ensuite vous serez emporté par la motivation et le dynamisme des élèves.

Pour finir, je souhaite à tous ces jeunes de CM₂ que j'ai côtoyés cette année de rencontrer des professeurs au collège et au lycée qui leur permettront de vivre d'aussi belles aventures.

Je sais, pour être en lycée, que cela est plus difficile à organiser et que nous avons des programmes chargés. Aussi je lance un appel à notre Ministre de l'éducation et/ou à ses successeurs pour qu'il fasse la réforme que j'aurais envie de faire : réduire tous les programmes de 30%. Ainsi nous aurions du temps pour faire un peu plus de méthodologie et nous pourrions compter sur les connaissances acquises, plutôt que de survoler une immensité dont il ne reste rapidement rien ou presque.

Je ne vais pas rester sur cette note morose. Je dois vous avouer qu'au cours de l'année, j'ai encadré une autre classe de CM₂, mais qui avait également un autre projet sur la musique. Ils n'ont pas eu le temps d'approfondir autant la partie astronomie. Ils ont tout de même traité les phases de la Lune, les mouvements, les saisons. Je leur ai fait une animation planétarium (matériel prêté par Jeunesse et Sports) et surtout ils ont passé une longue soirée à Gigouzac pour l'observation. Hale-Bopp a été un point de ralliement de tous les observateurs. Aussi dans les dessins du système solaire, les comètes ne sont jamais oubliées.

Jean Ripert (Cahors)

1) Projet pédagogique de l'enseignante

- Stimuler le **raisonnement logique** et la **démarche scientifique**: émettre des hypothèses, faire des choix, vérifier et contrôler ses réponses..
- Acquérir une **culture** scientifique .
- Travail approfondi sur les **concepts d'espace et de temps**.
- **Production d'écrits: rédaction** d'article, compte-rendu, schémas, exposés, résumés, questionnaires ...
- **Réalisation d'objets: maquettes**, instruments.
- **Utilisation d'un appareil Multimédia: Production d'un document CD ROM** ; l'intérêt de ce support étant, comme son nom l'indique, les Multiples moyens d'expression qu'il réunit: écrit, son, musique, images et photos, vidéo, enregistrements sonores, dessins . . en vue d'une communication réelle vers un public large.

2) Elaboration du projet avec les enfants

Réalisation d'une exposition sur le thème (exposés, affiches, photos et compte-rendu de la classe « Astronomie » à Anglet...) et création d'un document multimédia qui seront les supports du projet pédagogique et destinés aux autres élèves de l'école, aux familles (ou à tout autre public.)
Déterminer le savoir initial des élèves, prendre conscience des lacunes, déterminer les besoins.

3) Mise en oeuvre

a. Préquestionnaire pour : déterminer le savoir initial des élèves, prendre conscience des lacunes, déterminer les besoins.

b. Observation du mouvement des astres dans le Système solaire :

- L'ombre (propre, portée, zone d'ombre) ; relevés d'ombres (fabrication d'un gnomon)
- relations Terre / Soleil (jour, nuit, saisons, équinoxe, solstice,...) et maquette.
- relations Terre / Lune / Soleil (phases de la Lune, éclipses, marées) et maquette Terre / Lune.

c. la planète Terre :

- ses représentations de l'antiquité à nos jours, cartes, planisphères, mappemondes,.....
- les pôles, les hémisphères
- les lignes imaginaires (équateur, tropiques, méridiens, parallèles ...) et repérages du lieu (travail sur Vendée-Globe) et Maquette en volume de la Terre
- prolongements : les zones climatiques, répartition des richesses, de la population..
- Le temps: comment le mesurer ? instruments artificiels et repères astronomiques ; fuseaux horaires, changement de date, saisons inversées.

d. Notre satellite naturel : la Lune.

Description, les phases, influence sur les artistes, la conquête de la Lune...

e. Notre étoile : le Soleil

Travail sur le thème: littérature, croyances, civilisations, le Roi Soleil, sciences: ses effets (photosynthèse..) les risques....

f. Les planètes du système solaire.

Les nommer et les décrire: les classer: telluriques ou non, par taille croissante, par proximité par rapport au soleil Maquette du système solaire à l'échelle (pour l'exposition).

g. Les autres corps célestes.

Comètes, astéroïdes, galaxies, la Voie Lactée, étoiles, constellations, nébuleuses, amas de galaxies... Trouver un moyen de les classer.

h. Les grands astronomes.

Historique des grands noms de l'astronomie à travers leurs découvertes et les instruments qu'ils ont inventés.

i. La conquête spatiale

Les grandes dates, les grands noms, les stations, les autres engins..

4) Les ressources, les intervenants

a. Ressources :

- Recherche de documents écrits et photographiques dans journaux, revues, livres, exposés, CD-ROM...
- Recherche de documents sonores : disques, enregistrements, bruitages.
- Recherche de documents géographiques.
- Recherche et lecture de textes, de romans, de contes, de CD-ROM documentaires, de vidéo, émission de télévision ("Tous sur Orbite" sur la 5).
- Observations directes avec instruments (lunettes, télescope...).

b. visites : Visite d'un planétarium., camion de la Cité de l'Espace Cité de l'Espace à Toulouse.

c. Classe Astronomie à Anglet:

Observations, travail précis sur la Lune, les distances astronomiques, le système solaire, les cadrans solaires, les constellations de l'hémisphère Nord,

d. Intervenants extérieurs:

Monsieur Ripert professeur et animateur du club astronomie (CATE).

Monsieur Bouet (animateur informatique).

Patrick Boyer (IUFM . preneur de son).

Pierre Lasvènes (IUFM. programmation).

5) Apprentissages décrochés.

Contenus disciplinaires à mettre en oeuvre afin d'élaborer les différents dossiers du CD-ROM. (cette énumération n'est pas exhaustive)

- en français : compte-rendu, exposé, reportage, le conte, le roman de science-fiction, albums, BD...(valise "espace" du CDDP) (vocabulaire spécifique).

- en science : les mouvements des astres, le jour, la nuit, les saisons, les équinoxes, les solstices, les éclipses, les phases de la Lune, le Soleil, l'Univers...

- en géographie : les différentes représentations de la Terre, continents, océans, zones climatiques, repérages dans l'espace, fuseaux horaires.

- en mathématiques : mesure du temps, des distances (nouvelles unités), proportionnalité et échelles, grands nombres et puissances de dix. Représentations diverses (schémas, graphiques, tableaux). Description, représentation, reproduction, construction d'objets géométriques, utilisation d'instruments, concepts de longueur, d'aire, distance, périmètre...

- en histoire : évolution et progrès. Les représentations de l'espace depuis l'antiquité, les grands noms de l'astronomie, l'aventure spatiale.

- en informatique : maîtrise d'un appareil multimédia. Différentes étapes de la conception du CD-ROM : scénario, navigation, liens hypertextes...

- en technologie : fabrication de maquettes, utilisation et élaboration de fiches techniques.

6) Réalisation de l'exposition et du document multimédia

Donnant lieu à une **évaluation comparative** entre le projet du départ et la réalisation effective de l'exposition et du document multimédia. (Auto évaluation des élèves.)

7) Autres évaluations

- Evaluations pendant le déroulement des travaux afin d'en réajuster l'organisation, de déterminer les besoins d'apprentissages à apporter (au niveau du groupe ou individuellement) et d'anticiper les évolutions possibles.

- Evaluations finales après la réalisation du projet pour en vérifier l'efficacité et tenir compte des résultats en vue d'actions analogues.

Dans toutes ces phases d'évaluation on cherchera davantage à déterminer le niveau des compétences méthodologiques (pouvoir mobiliser et réinvestir des acquis dans une autre situation détachée du contexte de l'apprentissage), plutôt qu'à quantifier les savoirs ou à utiliser ceux-ci dans de simples situations analogues.

Annexe 2 : préquestionnaire.

1. Comment peux-tu expliquer que, sur la Terre il y ait le jour et la nuit ?
2. Dans les cadres suivants dessine : la Lune, le Soleil, la Terre.
3. Peut-on voir la Lune quand il fait jour ?
4. Peut-on voir le Soleil quand il fait nuit ?
5. Est-ce que le Soleil est toujours visible quand il fait jour ?
6. Est-ce que la Lune a toujours le même aspect ?
7. Lequel de ces deux astres est le plus gros :
la Terre ou la Lune ?
la Lune ou le Soleil ?
la Terre ou le Soleil ?
8. Existe-t-il des régions où il fait jour tout le temps pendant plusieurs semaines ?
9. A Cahors, pourquoi fait-il plus chaud en été qu'en hiver ?

(malheureusement, je n'ai pas pu avoir l'ensemble des réponses).

Annexe 3 : bilan.

1. Que peut-on voir dans le ciel ?
2. Avec quels instruments observe-t-on le ciel ?
3. Qu'est-ce que le système solaire ? (dessine-le tel que tu l'imagines).
4. Qu'est-ce qu'une planète ?
5. Combien y a-t-il de planètes connues ?
6. Cite les planètes que tu connais.
7. La Terre est-elle la planète la plus grosse du système solaire ?
8. Est-ce que la Terre tourne ? Si oui explique comment et en combien de temps.
Combien y a-t-il de saisons dans notre pays ? Lesquelles ?
9. Qu'est-ce qu'un satellite ?
10. La Terre possède-t-elle un satellite ? Si oui, donne son nom.
11. Pourquoi le sol lunaire est-il couvert de cratères ?
12. Peux-tu choisir n'importe quel jour pour observer la Lune ? Pourquoi ?
13. Qu'est-ce qu'une lunaison ? Combien y en a-t-il dans l'année ?
14. Qu'est-ce qu'une étoile ?
15. Combien y a-t-il d'étoiles dans le ciel ?
16. Qu'est-ce que la Grande Ourse ?
17. Qu'est-ce qu'une galaxie ?
18. Qu'est-ce que la vitesse de la lumière ?
Quelle unité de mesure de longueur a-t-on faite en l'utilisant ?
19. Cite les noms de quelques grands astronomes qui ont marqué l'histoire de l'astronomie.

Les prochaines éclipses de Soleil en France

Dans un an et demi, le 11 août 1999, on pourra observer une éclipse totale de Soleil en France et en Europe. L'événement est plutôt rare : les dernières "totales" visibles en Europe datent de 1954 (le 30 juin vers midi, à Oslo et en Suède), et de 1961 (le matin du 15 février, dans le Sud de la France et en Italie). La région parisienne a été obscurcie en 1406 (le 16 juin) et en 1724 (le 22 mai) lors d'éclipses totales ; on a pu observer une éclipse annulaire depuis Paris en 1764 (le matin du 1^{er} avril), en 1847 (le 9 octobre au matin), ainsi qu'en 1912 (le 17 avril à 12 h 10 UT) lors d'une très brève éclipse annulaire-totale.

L'éclipse totale suivante, visible depuis Paris, aura lieu le 3 septembre... 2081. Mais d'ici là, d'autres régions du monde passeront dans l'ombre de la Lune et, depuis la France métropolitaine, nous devons nous contenter d'observer des éclipses "partielles". Le tableau I donne la liste de toutes ces éclipses, visibles depuis Paris, au cours du siècle prochain.

Rappelons d'abord quelques notions relatives aux éclipses.

Occultation

En fait, une éclipse de Soleil n'est pas une... éclipse mais une *occultation*. Lors d'une éclipse de Lune, notre satellite disparaît dans l'ombre de la Terre, il est éclipsé. Le phénomène est semblable pour les satellites de Jupiter ou ceux de Saturne, vus depuis la Terre. Au contraire, quand la Lune passe "devant" un astre (une étoile, une planète ou le Soleil) cet astre nous est masqué, il est occulté.

Nature des éclipses

La Lune est 400 fois plus petite que le Soleil mais elle est située 400 fois moins loin ; le Soleil et la Lune ont ainsi le même diamètre apparent, de l'ordre de un demi-degré (ou 30'), ce qui est toutefois 3 fois moins que notre petit doigt vu bras tendu. C'est cette égalité (fortuite) des dimensions apparentes qui rend les éclipses totales de Soleil si spectaculaires.

La trajectoire orbitale de la Terre étant légèrement elliptique, la distance de la Terre au Soleil varie tout au long de l'année, de 147,1 millions de km au début de janvier (au périhélie) à 152,1 millions de km au début de juillet (à l'aphélie). Le diamètre apparent du Soleil vaut en moyenne 32' mais varie entre 31,5' (juillet) et 32,5' (janvier). Cette variation annuelle de 1' seulement (soit 3 % du diamètre) a été décelée en 1602 par Kepler : cela l'a conduit à considérer que l'orbite de la Terre n'est pas un cercle mais une ellipse.

De la même façon, l'orbite de la Lune est elliptique et le diamètre apparent géocentrique varie entre 29,4' et 33,4'. Il en résulte que selon la distance de la Lune, l'éclipse peut être *totale* (si la Lune est plus "grosse" que le Soleil) ou *annulaire*, si elle ne le masque pas entièrement et laisse voir alors un mince anneau lumineux. Une éclipse est dite *partielle* quand le cône d'ombre de la Lune ne rencontre pas la Terre, au contraire du cône de pénombre. Une éclipse est *centrale* pour un lieu donné de la Terre quand l'axe du cône d'ombre passe par ce point.

Fréquence des éclipses

Une éclipse de Soleil se produit au moment de la Nouvelle-Lune. Mais à cause de l'inclinaison de 5° du plan de l'orbite lunaire sur l'écliptique (le plan de l'orbite de la Terre), il ne se produit pas d'éclipse de Soleil chaque mois, à chaque Nouvelle-Lune, mais à deux (voire trois) périodes dans l'année, séparées d'un peu moins de 6 mois.

Chaque année ont donc lieu au moins 2 et au plus 7 éclipses (de Lune et de Soleil). Pour l'ensemble de la Terre, on compte en moyenne 2,4 éclipses de Soleil par an (et 1,5/an de Lune, sans comptabiliser les éclipses de Lune par la pénombre (0,9/an) très difficiles à observer car peu contrastées).

<i>date</i>	<i>nat</i>	<i>gr</i> (à Paris)	r_L/r_S	t_1 (UT)	<i>max</i> (UT)	h_0 (°)	t_4 (UT)	<i>note</i>	<i>centrale où ?</i>
11-08-1999	T	0,99	1,03	9.04	10.23	52	11.45		Compiègne, Noyon
31-05-2003	a	0,88	0,94	-	(3.30)	-4	4.26	(1)	Islande
3-10-2005	a	0,71	0,95	7.48	9.03	27	10.23		Madrid
29-03-2006	T	0,34	1,05	9.39	10.32	41	11.26		Tchad
1-08-2008	T	0,14	1,04	8.42	9.20	46	9.59		Sibérie
4-01-2011	p	0,73	0,94	(6.56)	8.09	3	9.26	(2)	-
20-03-2015	T	0,83	1,05	8.21	9.28	31	10.39		Mer de Norvège
10-06-2021	a	0,24	0,95	9.11	10.11	58	11.14		Nord du Groenland
25-10-2022	p	0,23	0,99	9.13	10.02	26	10.52		-
29-03-2025	p	0,34	1,05	10.08	11.01	43	11.55		-
12-08-2026	T	0,94	1,03	17.22	18.17	8	19.09		Nord de l' Espagne
2-08-2027	T	0,60	1,07	8.00	9.00	43	10.04		Gibraltar, Alger, Tunisie
21-06-2028	a	0,75	0,91	15.37	(16.51)	-3	-	(3)	Sud de l' Espagne
1-06-2030	a	0,63	0,94	4.19	5.16	11	6.18		Grèce
20-03-2034	T	0,04	1,04	9.59	10.19	37	10.39		Afrique centrale, Tchad
16-01-2037	p	0,56	0,92	7.49	9.05	10	10.29		-
5-01-2038	a	0,16	0,96	13.54	14.40	10	15.24		Afrique centrale, Niger
2-07-2038	a	0,22	0,99	13.14	14.08	53	14.59		Mauritanie
21-06-2039	a	0,69	0,94	17.35	18.38	11	19.36		Norvège, sud Suède
11-06-2048	a	0,65	0,95	11.54	13.29	58	14.56		Stockholm
14-11-2050	p	0,78	0,94	12.24	13.54	16	15.17		-
12-09-2053	T	0,61	1,03	7.12	8.14	26	9.19		Gibraltar, Tunisie
5-11-2059	a	0,84	0,93	6.26	7.36	7	8.53		Sud-Ouest de la France
30-04-2060	T	0,28	1,06	9.26	10.13	51	11.02		Libye
5-02-2065	p	0,82	0,96	8.28	9.49	19	11.15		-
22-06-2066	a	0,70	0,93	19.19	(20.14)	-3	-	(4)	Nord du Canada
21-04-2069	p	0,29	1,06	8.57	9.45	45	10.36		-
12-09-2072	T	0,16	1,06	7.04	7.39	21	8.13		Sibérie
13-07-2075	a	0,83	0,94	3.47	4.45	5	5.47		Nice, Vienne, Moscou
26-11-2076	p	0,49	0,98	9.53	11.05	20	12.19		-
11-05-2078	T	0,38	1,05	18.38	19.18	0	-	(5)	Atlantique Nord
1-05-2079	T	0,38	1,06	9.51	10.47	54	11.44		Groenland
13-09-2080	p	0,80	1,04	15.58	16.57	11	17.53		-
3-09-2081	T	1,02	1,06	6.35	7.36	23	8.41		Paris !
27-02-2082	a	0,84	0,92	15.14	16.31	9	17.41		Bayonne-Grenoble
21-04-2088	T	0,57	1,05	9.16	10.21	49	11.30		Tunisie, Grèce
23-09-2090	T	1,02	1,05	16.36	17.34	2	(18.28)	(6)	Paris !
18-02-2091	p	0,52	0,93	8.12	9.27	20	10.48		-
7-02-2092	a	0,60	0,97	15.28	16.33	3	(17.33)	(7)	Afrique du Nord
23-07-2093	a	0,83	0,95	10.54	12.34	60	14.09		Amsterdam, Berlin
15-07-2102	a	0,22	0,94	5.45	6.29	21	7.17		Pôle Nord, Est Sibérie

(Michel TOULMONDE)

Tableau I - *Liste des prochaines éclipses de Soleil visibles depuis Paris (de 1999 à 2102).*

La colonne "nat" indique la nature de l'éclipse : totale (T), annulaire (a) ou partielle (p) ; toutes ces éclipses seront vues comme partielles depuis la France (sauf les totales de 1999, 2081 et 2090). *gr* est la grandeur de l'éclipse locale. r_L/r_S donne le rapport des rayons apparents de la Lune et du Soleil.

Les instants des contacts t_1 et t_4 et celui du maximum sont sous la forme h.min (UT) ; ils sont entre parenthèses quand le Soleil est sous l'horizon. La valeur h_0 est la hauteur du Soleil à Paris lors du maximum local. La dernière colonne indique la région la plus proche de Paris d'où la centralité est observable. Les éclipses assez spectaculaires sont indiquées en gras.

notes : (1) lever du Soleil à Paris à 3.56 (UT) ; (2) lever à 7.46 ; (3) coucher à 16.34 ; (4) coucher à 19.55 ; (5) coucher à 19.18 ; (6) coucher à 17.44 ; (7) coucher à 16.56.

Les éclipses de Soleil se répartissent en moyenne selon les trois types : totales (0,6/an), annulaires (0,9/an), et partielles (0,9/an).

Si on considère maintenant non plus la Terre entière mais un grand pays comme la France, on n'y observe plus qu'une quarantaine d'éclipses par siècle (au lieu de 240 en moyenne pour la Terre entière) et les éclipses n'y sont alors vues que "comme partielles", les "centrales" (totales et annulaires) étant exceptionnelles : pour l'ensemble de la France, on en a vu quatre au 15^e siècle, une seule au 16^e, quatre aux 17^e, 18^e et 19^e, trois au 20^e et on en verra cinq au 21^e puis deux au 22^e siècle, soit une moyenne de l'ordre de 3 éclipses centrales par siècle (pour ces huit siècles-là).

Grandeur d'une éclipse

C'est la proportion maximale du *diamètre* solaire masqué par la Lune (et non la proportion de surface solaire masquée) : $gr = AM/AB$. Ce nombre est inférieur à 1 pour une éclipse partielle ou annulaire, et dépasse 1 pour une éclipse totale (au plus, $gr = 1,04$).

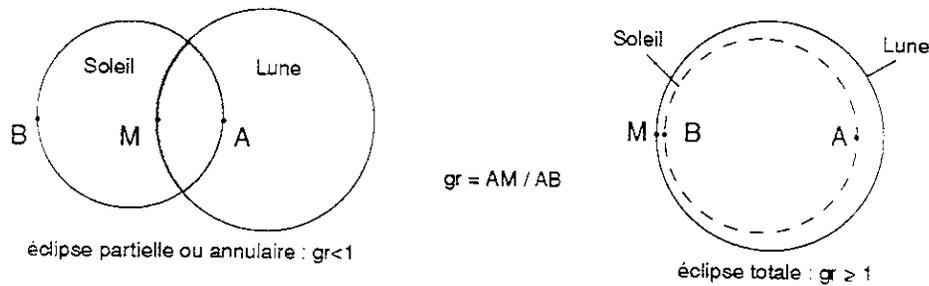
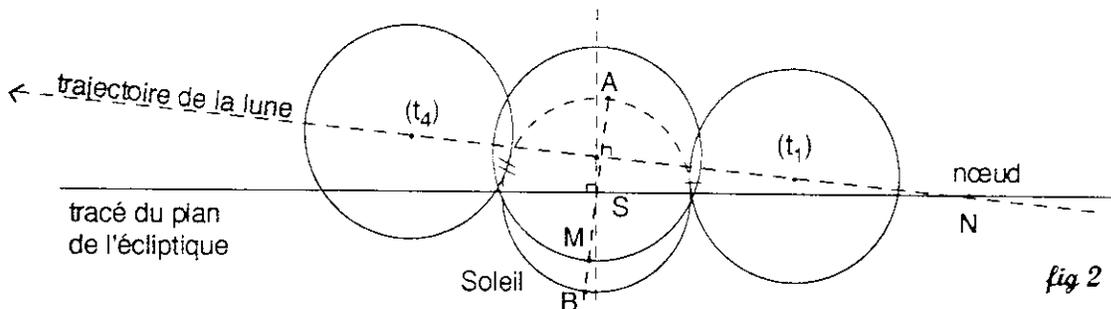


fig 1 : Grandeur d'une éclipse de Soleil

Durée des éclipses

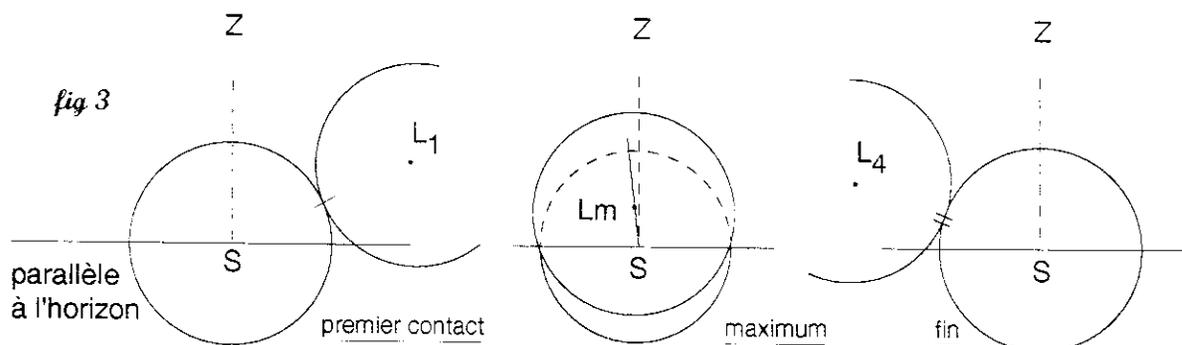
La durée globale du phénomène s'étend de l'instant t_1 du 1^{er} contact jusqu'à l'instant t_4 du 2^e contact, quand les disques du Soleil et de la Lune sont tangents extérieurement. Cette durée ($t_4 - t_1$), généralement de l'ordre de 2 à 3 heures, peut atteindre 3 h 1/2 environ dans certains cas d'éclipses centrales. La lecture d'Hergé (*Le Temple du Soleil*) est trompeuse sur ce point.

L'étape de la totalité ($t_3 - t_2$) est généralement brève, de l'ordre de 2 à 4 minutes entre les instants t_2 et t_3 où le disque solaire est tangent intérieurement à celui de la Lune. Les éclipses de longue durée ne se produisent que quand le Soleil est "petit", c'est à dire au début de juillet (cette condition n'est pas suffisante). Ce fut le cas récemment le 11 juillet 1991 où le Mexique fut plongé dans l'obscurité (mais pas dans la nuit noire !) pendant 7 minutes. Pour la durée maximale (7 min 30 s), rendez-vous le 16 juillet 2186 au Venezuela vers 14 h 30 UT...



Les prochaines éclipses de Soleil en France

La figure 4 représente les futures éclipses de Soleil dessinées telles qu'on les observera depuis Paris lors du maximum de l'éclipse partielle *locale*. Ce sont donc des dessins en coordonnées *horizontales*. Prenons l'exemple du 20 mars 2015.



Pendant un peu plus de 2 h 1/2, le Soleil se déplace dans le ciel mais l'arc de l'écliptique n'est pas parallèle à l'horizon. L'image représentée ici est la *superposition* des trois dessins précédents, où le zénith (le point du ciel à notre verticale) est toujours situé "en haut" du dessin, le bord de la feuille restant parallèle à l'horizon (parisien).

Le Soleil est dessiné ici (fig. 4) avec le même diamètre pour toutes ces éclipses. Par contre, celui de la Lune est tracé en proportion de celui du Soleil au moment de l'éclipse maximale. On indique le centre de la Lune lors de ce maximum ainsi que les positions (sur le bord du disque solaire) du 1^{er} contact (un trait) et du 2^e contact (2 traits). Il est aisé de simuler le phénomène complet à l'aide d'un pièce de monnaie représentant la Lune qui passe "devant" le Soleil.

Le choix de Paris est arbitraire mais, sauf exceptions signalées ci-après, les dessins sont quasi identiques pour d'autres régions françaises. Par contre, les instants du tableau I ne sont valables que pour Paris et peuvent différer jusqu'à 10 minutes pour d'autres localités. Quelques éclipses, invisibles depuis Paris, seront toutefois visibles (mais difficilement) ailleurs en France métropolitaine. C'est le cas des éclipses de 2013, 2049, 2067, 2087 et 2097, qui ne figurent pas dans le tableau I et dont voici quelques informations.

L'éclipse du 3 novembre 2013, totale en Afrique centrale, ne sera visible (en France) que dans les Pyrénées, entre Bayonne et Perpignan, vers 12 h 30 (UT). D'une "grandeur" de l'ordre de 0,01 elle sera "rasante". Même cas pour celle du 31 mai 2049, rasante au sud d'une ligne Arcachon-Toulouse-Narbonne (vers 14 h 50 UT). Celle du 6 décembre 2067 ne sera visible qu'à l'est de la ligne Bayonne-Strasbourg, rasante, juste avant le coucher du Soleil (vers 15 h 15 UT). Celle du 2 mai 2087 sera rasante en Bretagne juste avant le coucher du Soleil également. Dix ans plus tard, on aura des conditions toutes semblables pour celle du 11 mai 2097, en Bretagne encore. Cependant, cette éclipse sera totale au Cap Nord (le point le plus septentrional de l'Europe, au nord de la Norvège), vers 19 h 30 UT, très bas (4°) sur l'horizon nord-ouest. Mais attention, un autre spectacle va suivre : à 22 h 10 UT, le Soleil (non éclipsé) passera le méridien Nord au ras de l'horizon pour un "Soleil de minuit", le premier de l'année. Quelle journée !

Cartes des zones de centralité

Les figures 5 et 6 montrent les limites des zones de visibilité des éclipses centrales (totales ou annulaires) en France, aux 20^e et 21^e siècles.

L'éclipse du 17 avril 1912 fut annulaire dans l'Atlantique et en Mer Baltique, mais totale en France : le sommet du cône d'ombre y a frôlé la Terre. La zone de visibilité de l'éclipse totale fut donc très étroite, moins de 2 km seulement et l'étape de totalité n'a duré que... 2 s à St Germain-en-Laye à 12 h 10 UT !

Celle du 15 février 1961 est encore présente dans beaucoup de mémoires car c'est la plus récente des "totales" en France : tôt le matin (vers 7 h 30 UT) dans un ciel bien dégagé mais bas sur l'horizon est-sud-est (de 3° de hauteur à Royan, jusqu'à 10° à Nice). En dehors de cette bande de 200 km de large, l'éclipse fut vue comme partielle ($gr = 0,96$ à Paris).

La prochaine, celle du 11 août 1999, concernera le Nord de la France. L'ombre de la Lune survolera la bande de totalité à 3000 km/h, sur 110 km de large, de Cherbourg à Strasbourg (sans passer sur Paris). Le spectacle complet durera 2 h 40 min (vers 10 h 20 UT), pour seulement 2 min 15 s de totalité (et, encore plus à l'est, 2 min 23 s à Bucarest). Une carte, des horaires et des schémas ont déjà été publiés dans les *Cahiers Clairaut* (n° 50, été 1990).

Au siècle prochain, la France recevra 5 zones de centralité mais (sauf en 2081) les conditions d'observation ne seront pas favorables : les éclipses se produiront avec un Soleil très bas sur l'horizon, peu après son lever ou juste avant son coucher.

L'éclipse du 12 août 2026 sera totale en fin d'après midi dans le Nord de l'Espagne (très proche de Bayonne). Celle du 5 novembre 2059, annulaire, aura lieu dans le Sud-Ouest de la France, moins d'une heure après le lever du Soleil. Le 13 juillet 2075, c'est le Sud-Est de la France qui sera concerné par une éclipse annulaire, tôt le matin (vers 4 h 30 UT) vingt minutes après le lever du Soleil. Celle du 27 février 2082, annulaire également, sera visible dans la moitié sud de la France, moins d'une heure avant le coucher du Soleil. Enfin, le 23 septembre 2090, l'éclipse sera totale dans le Nord-Ouest et en région parisienne, mais ayant lieu au moment du coucher du Soleil, la nuit arrivera plus tôt que prévu !

L'éclipse totale du 3 septembre 2081 améliorera fort heureusement ces conditions d'observation avec une large zone de totalité (200 km), un Soleil déjà haut sur l'horizon, et une durée variant de 3 min 1/2 à Brest (à 17° de hauteur) jusqu'à 4 min à Mulhouse (à 27°). Bien plus à l'est, la durée atteindra 5 min 1/2 dans le Golfe Persique, à 70° de hauteur.

Observer une éclipse de Soleil

Il est *très important de se protéger efficacement la vue* car on regarde alors directement le Soleil, et des lunettes de soleil sont insuffisantes. Il suffit de trouver dès maintenant des bords noirs de radiographie, ou éventuellement des petits morceaux de mylar aluminé (on trouve ce matériau comme sachet d'emballage de purée en poudre ou de cacahuètes, ou... couverture de survie). Ça reste transparent tout en absorbant fortement la lumière mais certains sont trop peu aluminés (donc dangereux) ou diffusent légèrement la lumière, rendant floue l'image du Soleil. Il est temps de chercher le bon modèle !

Pour une observation avec un instrument, le mieux est de projeter l'image du Soleil avec une petite lunette astronomique, ou un télescope. Il ne faut *surtout pas* utiliser de petit filtre en verre indiqué "Sun" car, étant placé près du foyer de l'instrument, il chauffe et éclate : la pupille dilatée reçoit alors un terrible flash aveuglant.

Le Soleil des Antilles

La toute prochaine éclipse totale de Soleil aura lieu le 26 février 1998. La bande de totalité passe en Amérique centrale (Galápagos, Panama, Colombie) et en Guadeloupe. Pointe-à-Pitre, à 50 km de la ligne de centralité, sera dans l'ombre pendant 2 minutes, à 18 h 31 UT (ou 14h31 en heure locale). En Martinique, l'éclipse ne sera que partielle ($gr = 0,96$) ainsi qu'en Guyane ($gr = 0,56$ à 18 h 36 UT). Lors de la totalité (en Guadeloupe), on verra Jupiter juste à côté, à 3° "sous" la couronne solaire (à 49° de hauteur), et Mercure 4° au-dessus. N'en déplaie aux astrologues, le Soleil sera parmi les étoiles de la constellation du Verseau (et non dans celle des Poissons), comme chaque 26 février d'ailleurs...

Michel Foutmonde

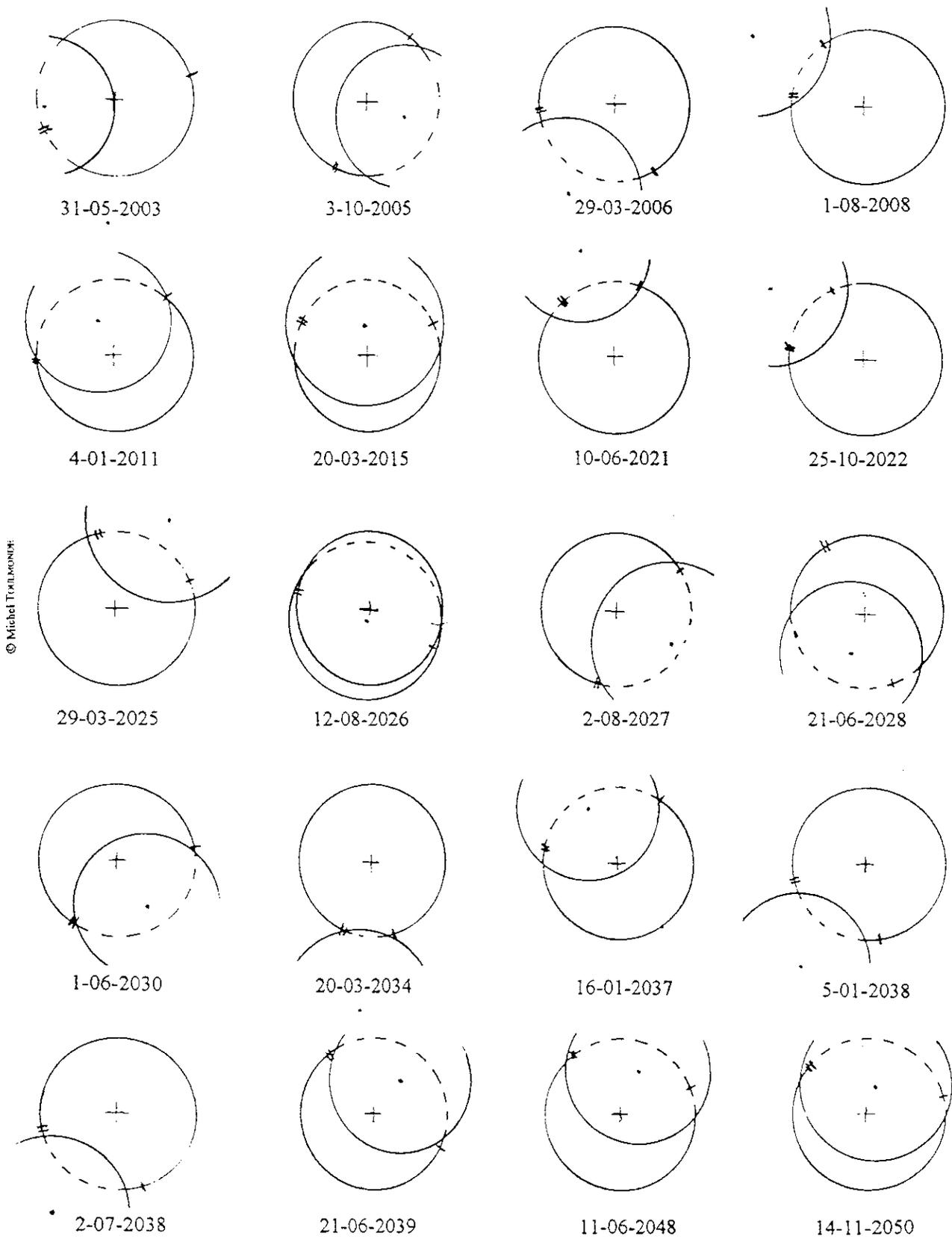


Fig. 4 - Les éclipses de Soleil visibles depuis Paris, de 2003 à 2050.

Les dessins sont en coordonnées horizontales, représentant le phénomène tel qu'on pourra l'observer lors du maximum local de l'éclipse ; le zénith est "en haut". On indique aussi les positions des centres des disques du Soleil (+) et de la Lune (•) ainsi que des deux contacts extérieurs (| et ||).

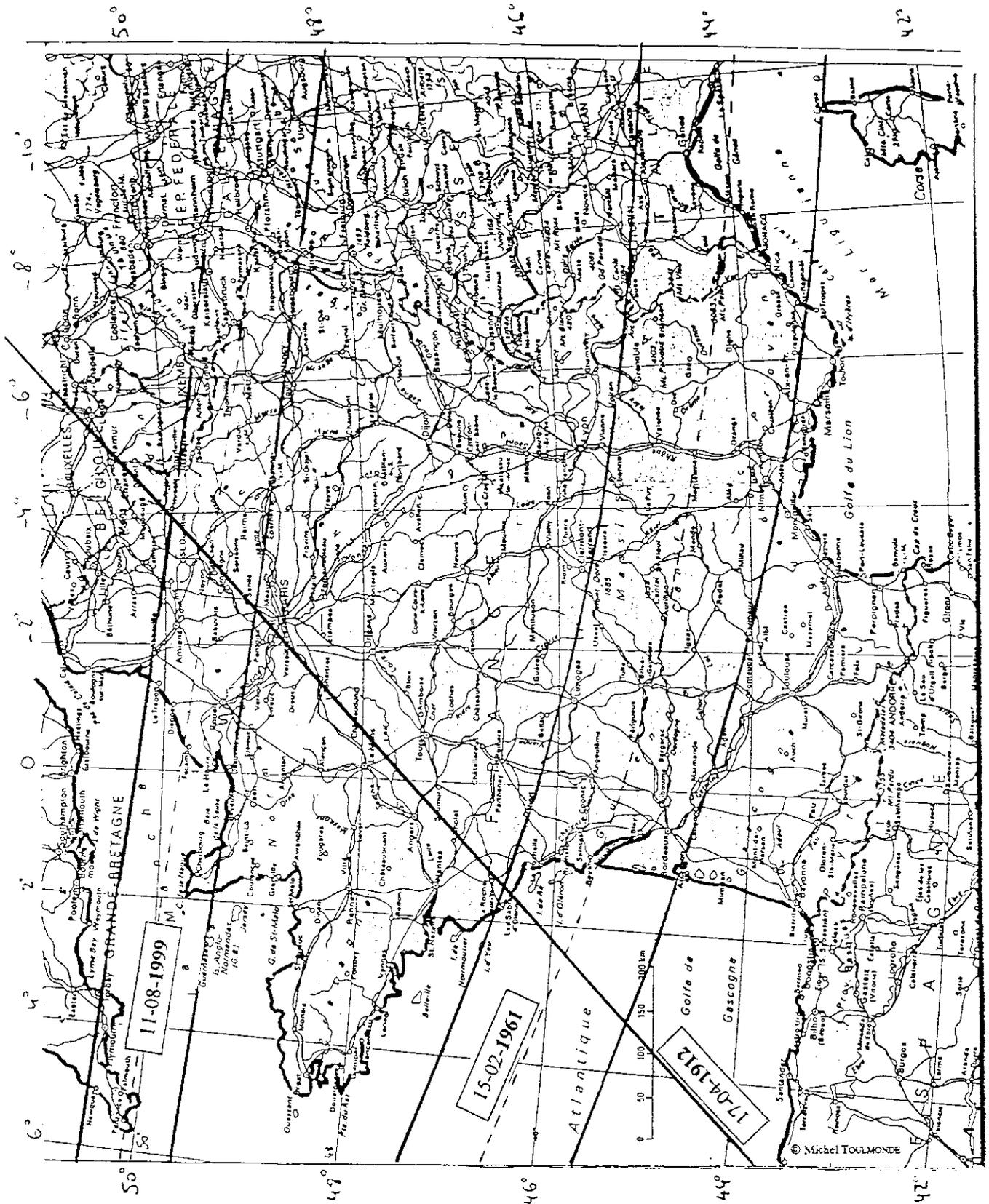


Fig. 5 - Zones de centralité des éclipses de Soleil en France au 20^e siècle
(1912 - 1961 - 1999)

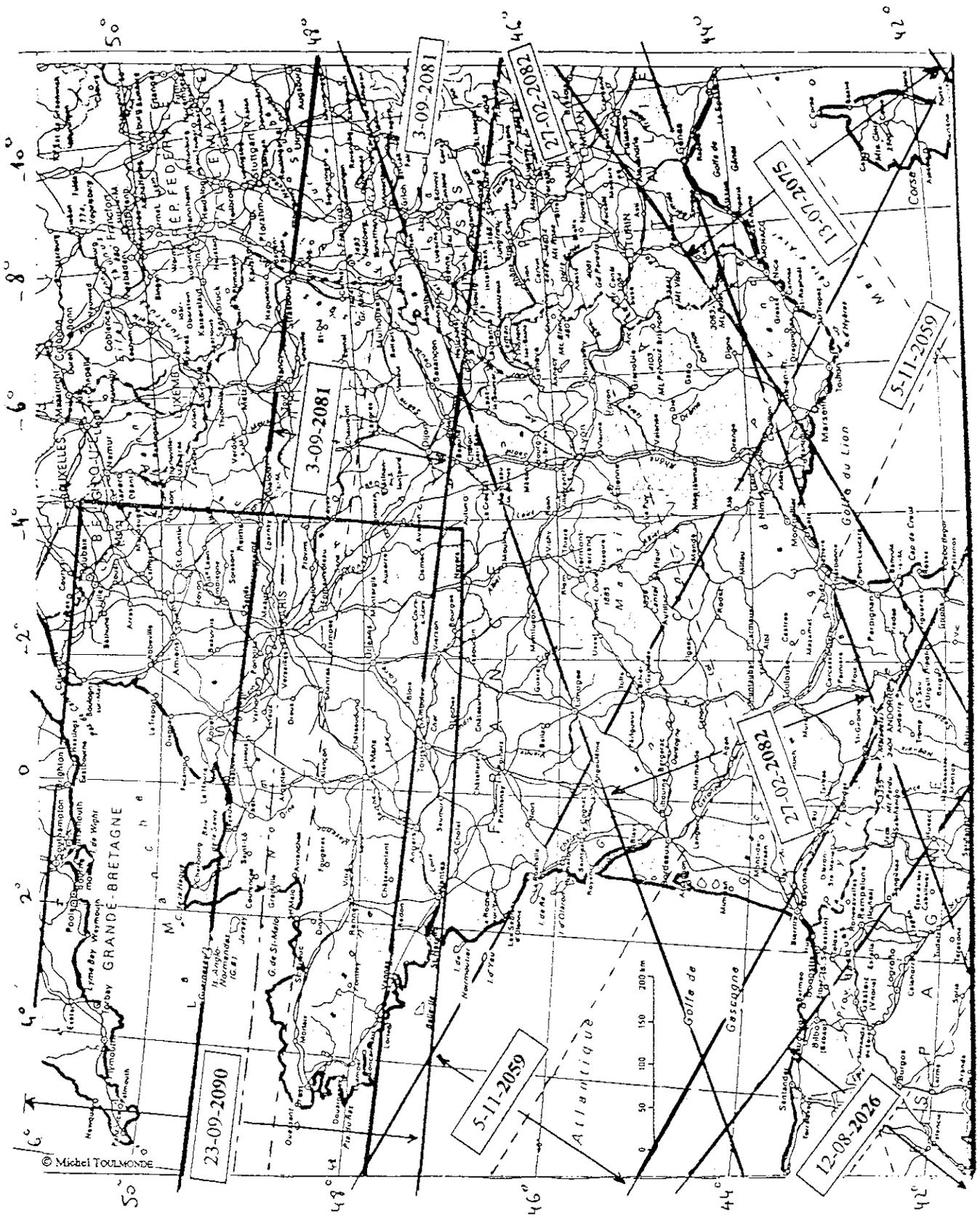


Fig. 6 - Zones de centralité des éclipses de Soleil en France au 21^e siècle
 (2026 - 2059 - 2075 - 2081 - 2082 - 2090)

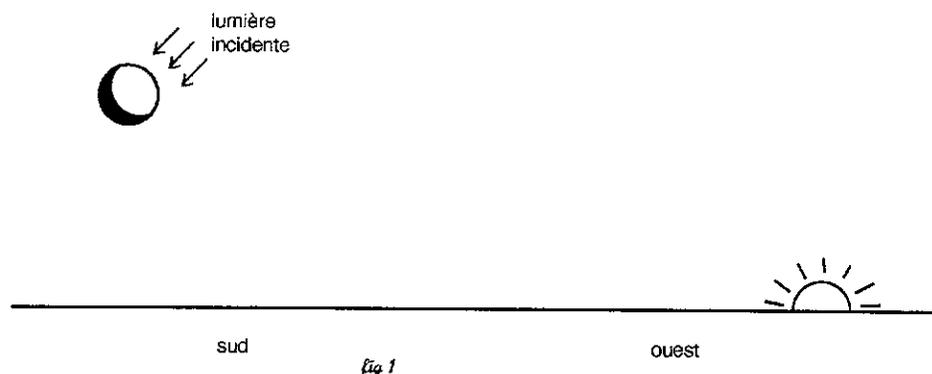
Perspective lunaire

N.D.L.R. En nous envoyant l'article qui va suivre, notre Collègue Pierre Lerich écrivait :

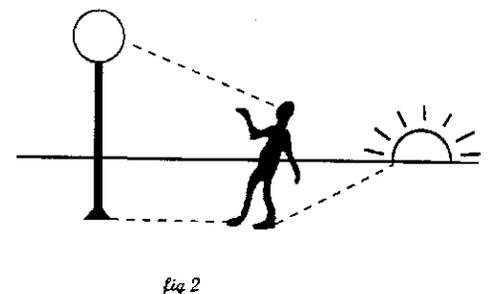
" Il y a un tableau du peintre impressionniste Gaillibotte représentant un rond-point de Paris vu du premier étage d'un immeuble. Le peintre a suivi scrupuleusement la méthode de perspective enseigné aux beaux-arts (à l'époque !) et son rond-point est absurde . il penche d'un côté, et pourtant il est correctement construit. C'est une variante du problème posé par le terminateur lunaire."

Pas de meilleure introduction à ce qui suit.

Dans les premiers jours de la lunaison, le croissant lunaire oriente sa convexité directement vers le Soleil. Mais dès le premier quartier apparaît un effet curieux : la partie éclairée de la Lune semble s'orienter vers un point situé au-dessus du Soleil, comme si la lumière issue du Soleil atteignait la Lune après avoir suivi un chemin courbe. Quand la Lune est à la fois gibbeuse et basse (20° de hauteur par exemple), on arrive à ce paradoxe qu'au moment où le Soleil se couche ou se lève, la Lune semble éclairée par le dessus, l'axe de symétrie de la partie éclairée montant nettement au lieu de descendre vers le Soleil (fig.1). Un peintre qui voudrait représenter la scène dans un panorama couvrant un champ horizontal de 120° serait dans l'obligation de corriger l'orientation de la partie éclairée de la Lune, sous peine d'entendre quelques ricanements dans le public. De même pour une photo de la Lune au téléobjectif : personne ne voudrait croire que la photo aurait été prise au Soleil couchant tant il semblerait évident que le Soleil était plus haut que la Lune au moment de la photo. Cet effet diminue quand la Lune approche de l'opposition, disparaît à la pleine lune, et se reproduit entre la pleine lune et le dernier quartier, cette fois au Soleil levant.



On peut comprendre cet éclairage paradoxal en faisant appel à des notions de perspective. Supposons (fig.2) qu'un observateur regarde une boule quelconque au sommet d'un mât, éclairée par le Soleil couchant, l'angle mât-observateur-Soleil étant d'environ 120°. Le dessin de la boule vue par l'observateur aura l'aspect de la figure 3. Tant que la boule est vue en relief grâce à l'équateur et au méridien qu'elle comporte, l'image est facile à interpréter : la boule est vue de bas en haut, éclairée horizontalement par une source éloignée située derrière l'observateur et à sa droite.



Mais que se passe-t-il si on efface les méridiens, l'équateur et le sommet du mât ? Le relief se perd aussitôt et l'observateur ne voit plus qu'une chose, c'est que l'axe de symétrie du terminateur (une demi-ellipse) est orienté vers le haut, donc la source lumineuse lui semble située plus haut que la boule.

C'est précisément l'illusion qui se produit quand on regarde la Lune gibbeuse au Soleil couchant. On voit la Lune plate sur un écran plat, et on interprète sa forme comme résultant d'un éclairage venant de plus haut. Si nous avons les yeux au bout de deux pédoncules longs de quelques kilomètres, la vision stéréoscopique qui en résulterait dissiperait aussitôt cette illusion optique.

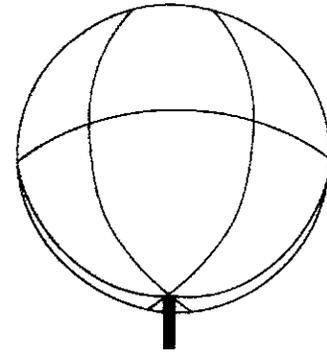


fig 3

On peut obtenir une perspective rigoureuse du terminateur au Soleil couchant en construisant point par point, sans connaître a priori les axes ni les foyers, l'ellipse passant par les points A, B, C, D (carré inscrit en perspective) et tangente en B à la verticale BV (figure 4). C'est l'ellipse que chacun peut observer en regardant d'en bas et en oblique n'importe quel panneau de stationnement interdit, cadran de pendule, etc. On constate que ses axes sont inclinés alors que le cercle dont cette ellipse est l'image, est réellement dans un plan vertical. Dans le cas où le Soleil serait lui-même à une certaine hauteur, l'ellipse se construirait de la même façon. Elle passerait par les mêmes points B et D mais la ligne AC pivoterait dans le sens direct sur la figure et l'ellipse déjà inclinée quand le Soleil était sur l'horizon, le serait encore plus, d'où certains aspects de la Lune parfois déconcertants.

La même figure pourrait être tracée beaucoup plus facilement en utilisant les données et la méthode (très bien expliquée) fournies par les EPHEMERIDES DU BUREAU DES LONGITUDES. Cependant la construction obtenue de cette manière analytique n'apporte pas d'explication globale aux situations paradoxales observées dans certains cas.

Dans toutes les occasions où la direction de l'axe de symétrie du terminateur pourra sembler "bizarre", un effort pour voir la scène en relief et en perspective, ce qui revient au même, permettra de mettre en évidence la logique de l'image observée.

Pierre Lerich (septembre 1996) ■

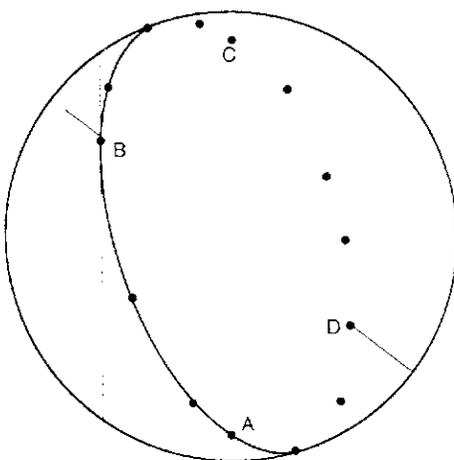
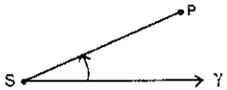


fig 4

Mettez votre planétaire à l'heure

La longitude héliocentrique éclipse d'une planète P est l'angle $(S\gamma, SP)$ 

Les grands schémas des figures 2 et 3 donnent à la fois une représentation héliocentrique et géocentrique.

Les petits schémas de gauche montrent les positions du Soleil et des planètes dans le modèle géocentrique ; les constellations zodiacales " traversées " sont indiquées ... ce qui permet de constater des différences significatives avec l'astrologie ... Les noms des constellations du zodiaque n'ont pas été reportés sur les grands schémas pour des raisons de clarté, mais il est facile de s'y retrouver.

Ainsi, dans la soirée du premier janvier 1998, les planètes Vénus, Mars et Jupiter seront visibles peu après le coucher du Soleil au-dessus du Sud-Ouest comme le montre la figure 1. Le Capricorne sera particulièrement encombré ; le Soleil vogue allègrement dans ... le Sagittaire !

(figures 2 et 3)

De plus, un fin croissant de Lune va s'intercaler entre Mars et Jupiter ...

Et pour ne pas être en reste ... Neptune et Uranus (invisibles à l'oeil nu) seront également au rendez-vous !

En fait, en tenant compte de leurs magnitudes, seules **Vénus, Jupiter et la Lune** apparaîtront aux yeux attentifs (et peut être un peu fatigués ...) des observateurs vers 18h légale en ce jour de l'an neuf... Mais ce rassemblement est tout à fait étonnant ...

Avis aux amateurs de rencontres célestes ...

Le passage des figures 2 et 3 à la figure 1 est particulièrement intéressant et recommandé !... Ne pas oublier que la Terre n'est pas un " point " et qu'elle tourne sur elle même dans le sens inverse des aiguilles d'une montre ...

Remarque: les documents 2 et 3 ont été réalisés avec le logiciel CLEASTRO qui permet d'obtenir le même type de résultat pour une autre date.

Jean - Paul Rosenstiehl
Lycée Montesquieu LE MANS

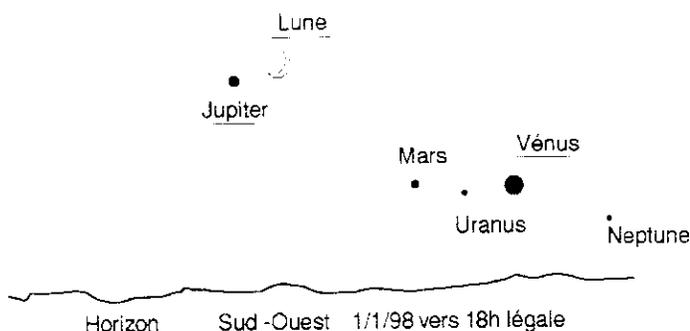


Figure 1

Longitudes héliocentriques - Planétaire

1 / 1 / 1998 (planètes lointaines)

TERRE	100.4
MARS	331.9
JUPITER	329.8
SATURNE	19.6

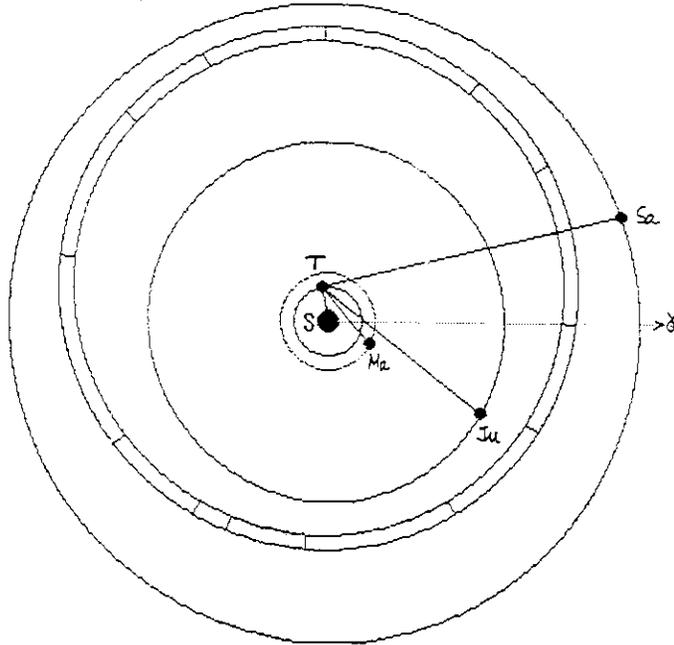
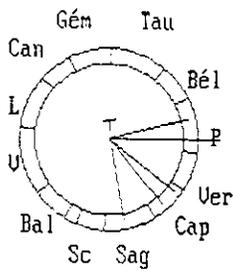


Figure 2

Longitudes héliocentriques - Planétaire

1 / 1 / 1998 (planètes proches)

MERCURE	166.3
VENUS	91.1
TERRE	100.4
MARS	331.9

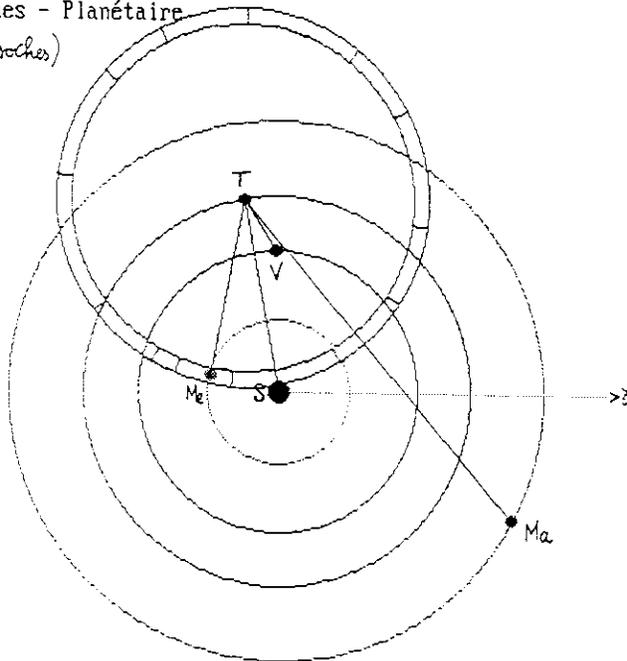
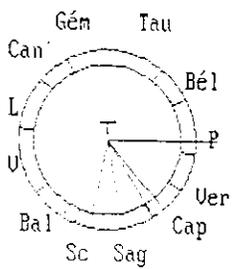


Figure 3

Un simulateur de cadran solaire

ou comment concilier géométrie, astronomie et bricolage

L'ombre au sol de la pointe du style d'un cadran solaire horizontal, décrit dans la journée une courbe qui est toujours une conique ou, exceptionnellement, une droite. Sous nos latitudes, ces coniques sont toujours des hyperboles, les autres formes n'apparaissant qu'au-delà des cercles polaires. Sur les cadrans que l'on peut observer dans nos villes, nous ne voyons jamais d'ellipse ni de parabole. C'est pourquoi il est très intéressant de reproduire ces situations avec un simulateur qui permettra de visualiser la trajectoire du Soleil sous différentes latitudes, ainsi que les ombres portées sur un plan horizontal.

1 Les différents types de coniques d'un cadran solaire horizontal

Un cadran solaire a toujours son style orienté selon l'axe de rotation terrestre ; on dit qu'il est horizontal quand son plan est parallèle à l'horizon (figure 1). Ces cadrans solaires donnent l'heure ; mais ils peuvent aussi nous informer sur la saison et même sur le mois de l'année. Les lignes horaires correspondent à l'heure et la lecture de l'ombre de la pointe du style, le premier jour de chaque saison, nous informe de l'époque de l'année. Tout de suite, nous centrerons notre intérêt sur ce second aspect en étudiant les types de courbes décrites.

Afin de faciliter le raisonnement, nous supposons qu'un seul rayon lumineux part du Soleil ; quand ce rayon de lumière touche la pointe du style, une ombre se forme. A mesure que le Soleil décrit sa trajectoire dans la journée, le rayon enveloppe une surface conique dont l'axe de rotation correspond à l'axe terrestre (figure 2). Les sections produites par le plan du cadran solaire, un jour donné, sont les courbes décrites ce jour là par l'ombre de la pointe du style. Les courbes du premier jour de chaque saison sont généralement dessinées sur le plan du cadran solaire : printemps, été, automne et hiver. On trouve aussi fréquemment les lignes qui correspondent au premier jour de chaque signe du zodiaque.

Évidemment, on peut penser que la largeur du style est nulle, comparée à la distance de la Terre au Soleil. Il est alors admissible de supposer que le style et la Terre sont un seul point au centre de la sphère céleste.

L'angle central du cône, α , dépend du parallèle où se trouve le Soleil, c'est-à-dire de la déclinaison D du Soleil (figure 3). L'angle du cône est $\alpha = 90^\circ - D$, et il change tous les jours avec la déclinaison du Soleil.

Les différentes courbes produites par l'intersection du cône de révolution avec le plan du cadran solaire dépendent des valeurs relatives de l'angle du cône α et de l'angle d'inclinaison du plan du cadran β (figure 4). Afin de relier les angles α et β à la classification des coniques nous calculerons l'excentricité en fonction de ces angles.

En fait, on entend par conique la section d'une surface de révolution conique, comme le cône décrit par le mouvement diurne du Soleil, avec un plan π , comme le plan du cadran solaire. Le plan occupant différentes positions au cours du temps, une conique différente est déterminée à chaque occasion. Nous allons maintenant classer les coniques en calculant l'excentricité selon la latitude du lieu ϕ , ainsi que la déclinaison du Soleil D , qui varie d'un jour à l'autre.

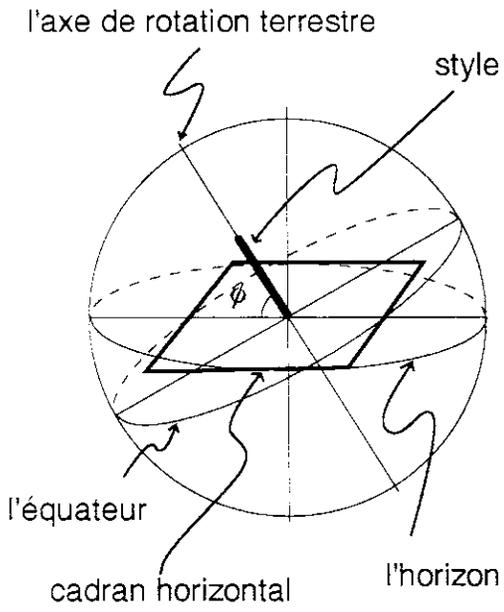


Figure 1

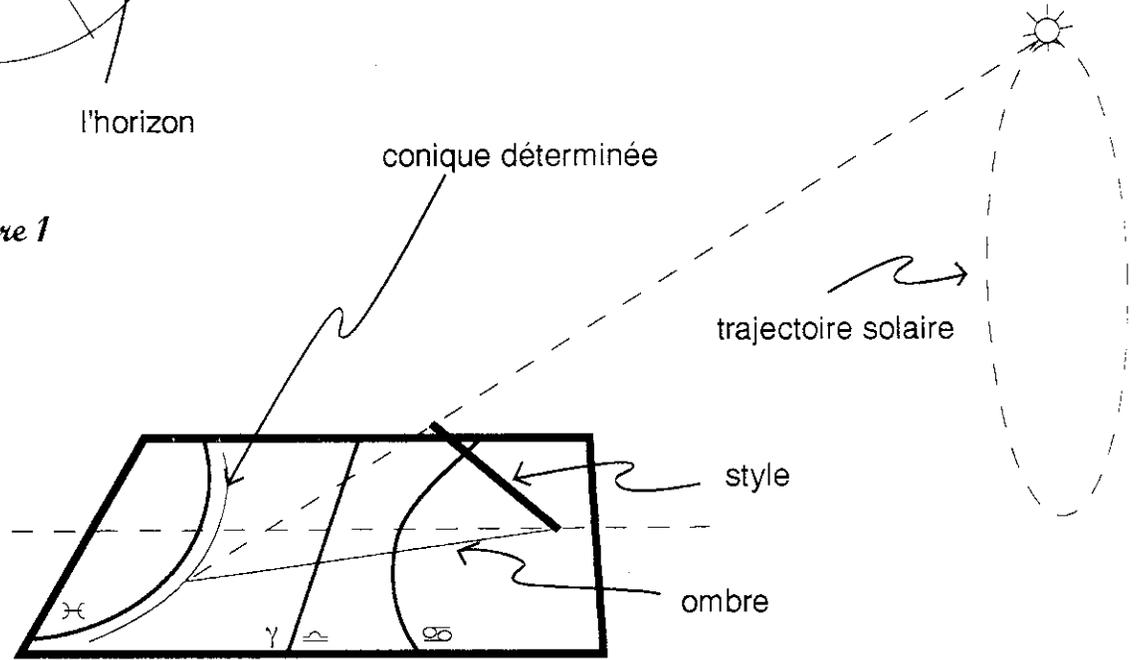


Figure 2

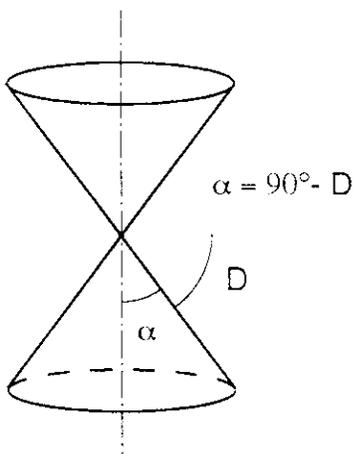


Figure 3

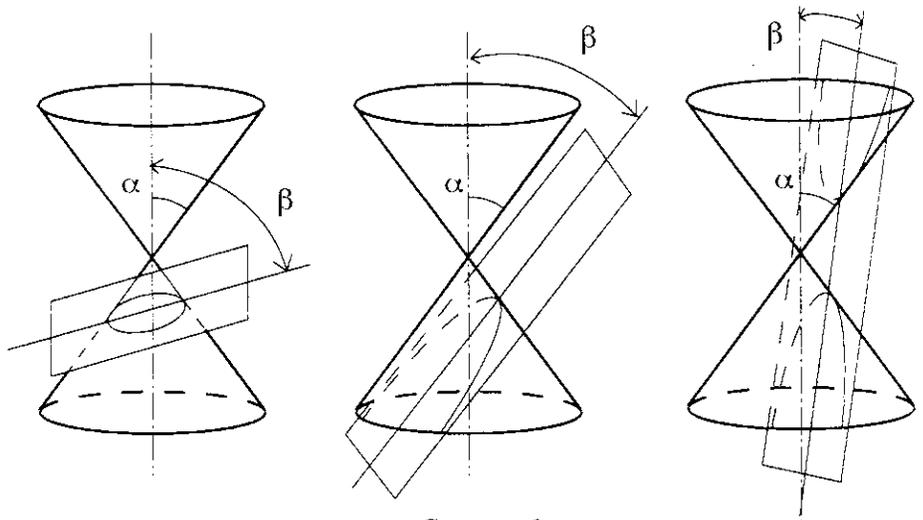


Figure 4

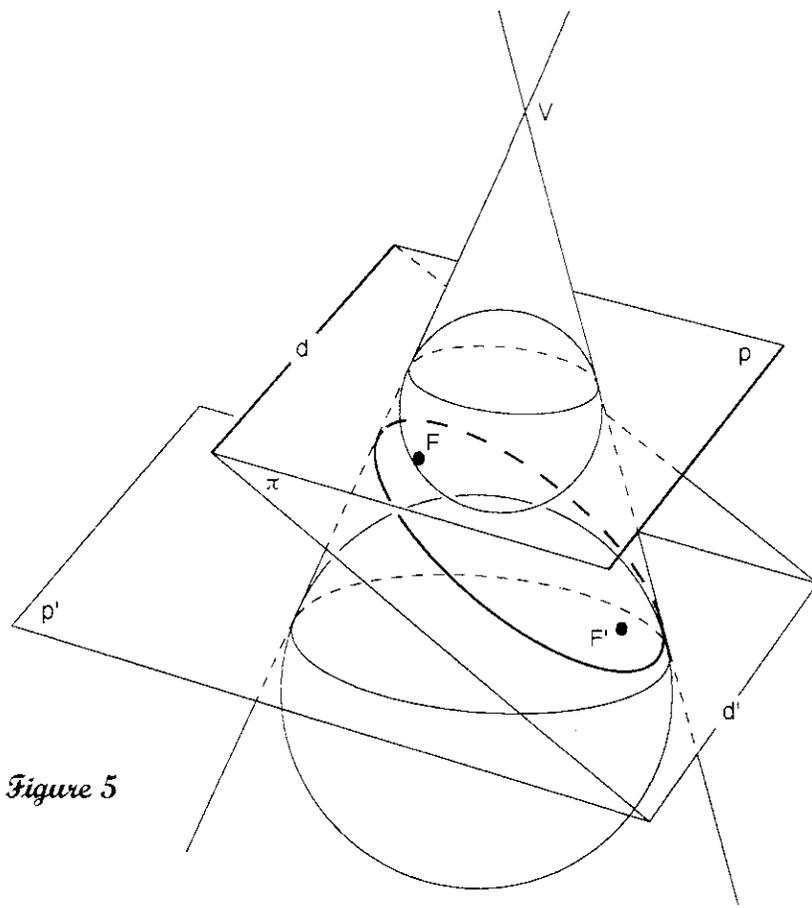


Figure 5

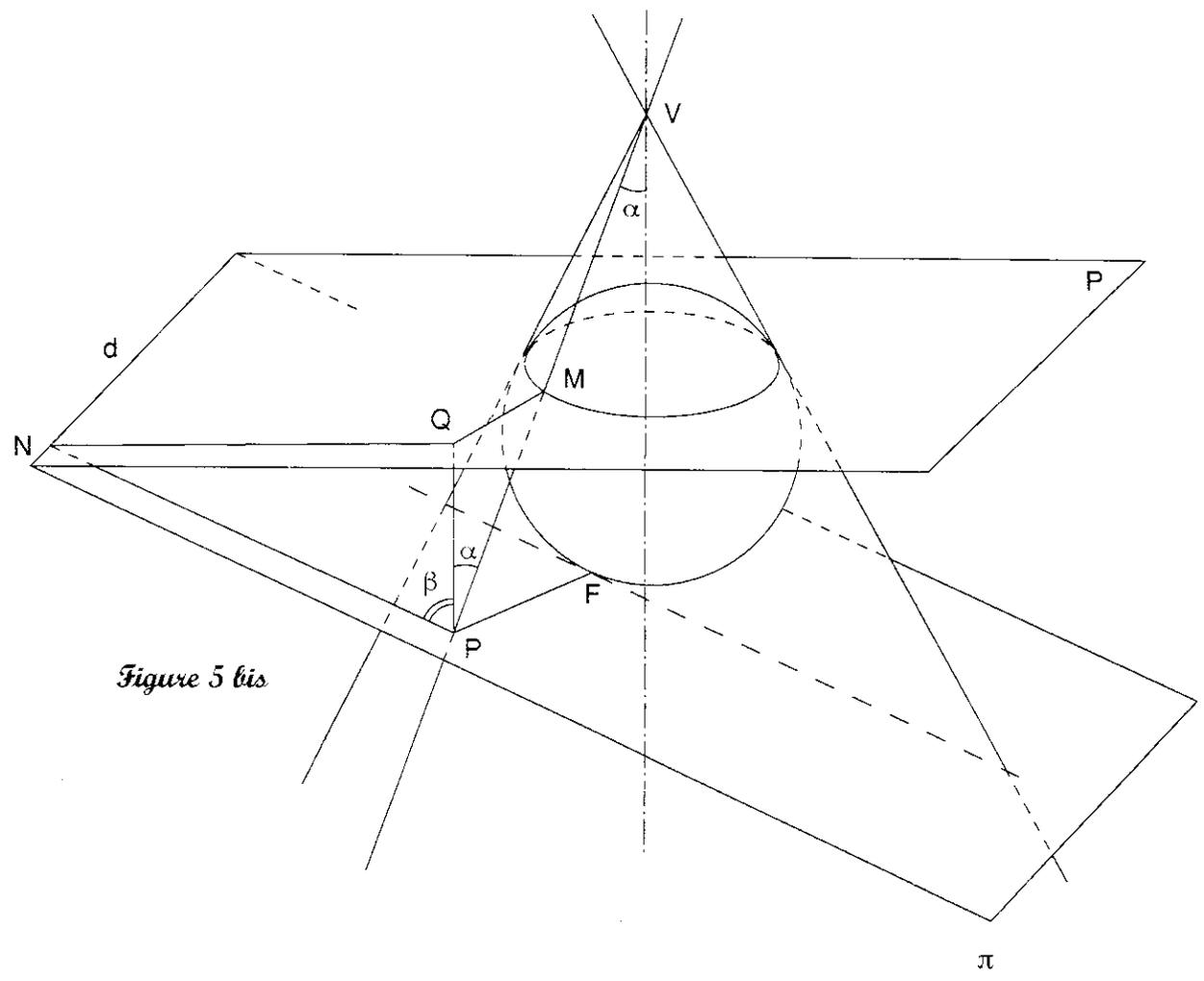


Figure 5 bis

On note V le sommet du cône. Afin de rappeler la définition de l'excentricité d'une conique, il nous faut parler au préalable de foyer et de directrice. On appelle foyers d'une conique les deux points de contact F et F', des sphères inscrites dans la surface conique et tangentes à π , avec le plan π de la conique. Les sphères inscrites déterminent, sur la surface conique, des circonférences de contact de plans p et p'. Les lignes droites d et d', intersections de ces plans avec le plan π de la conique, sont les droites directrices de la conique ; d est dite associée à F (et d' à F'). Les figures 5, 6 et 7 nous montrent que l'ellipse et l'hyperbole ont deux foyers et deux directrices et que la parabole n'a qu'un foyer et qu'une directrice.

L'excentricité d'une conique est le quotient (constant) de la distance PF (d'un point courant P de la conique au foyer F) par la distance PN (de P à la directrice d associée à F), où N désigne le projeté orthogonal de P sur d ; on a une formule analogue pour F' et d'.

$$e = \frac{PF}{PN} = \frac{PF'}{PN'}$$

Nous allons exprimer maintenant l'excentricité e de l'ellipse. Considérant ce point courant P de l'ellipse, nous nommons Q son projeté orthogonal sur p (ainsi la droite (PQ) est parallèle à l'axe du cône), et M le point d'intersection de p avec la génératrice (VP) du cône (figure 5bis). La distance PQ vérifie alors :

$$\begin{aligned} PQ &= PN \cos \beta \\ PQ &= PM \cos \alpha \end{aligned}$$

α étant l'angle du cône et β l'angle de l'axe du cône avec le plan π .

Comme les segments de tangentes à la sphère, issus de P ont des longueurs égales, on a $PM = PF$.

$$\text{Donc } PF \cos \alpha = PN \cos \beta$$

D'où l'excentricité:

$$e = \frac{PF}{PN} = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$$

et, en procédant de manière analogue, le résultat similaire pour l'autre foyer et l'autre directrice.

L'excentricité étant $e < 1$, sur l'ellipse, et la fonction cosinus étant décroissante sur l'intervalle $[0, \pi/2]$, nous avons $0 < \cos \beta < \cos \alpha < 1$ donc $\beta > \alpha$ pour les ellipses.

En appliquant le raisonnement précédent à l'hyperbole de la figure 6 ou à la parabole de la figure 7 et en conservant les mêmes notations, on peut établir que l'excentricité est toujours égale à ce même quotient de cosinus. Dans le cas de l'hyperbole où $e > 1$, on aura $\beta < \alpha$. Pour la parabole où $e = 1$, on aura $\beta = \alpha$.

La direction du style étant parallèle à celle de l'axe de rotation terrestre, l'angle qu'il fait avec le plan du cadran solaire est donc la latitude ϕ (figure 1) qui est égale à l'angle β d'inclinaison du plan qui détermine la section. Comme, par ailleurs, nous savons que l'angle du cône α vérifie $\alpha = 90^\circ - D$, nous pouvons classer les courbes du cadran horizontal selon la déclinaison D du Soleil, pour chaque jour de l'année, et la latitude ϕ du lieu. Nous avons alors :

$$e = \frac{\cos |\Phi|}{\sin |D|}$$

en tenant compte des valeurs absolues puisqu'il n'est pas raisonnable ici d'utiliser les angles avec un signe.

En conséquence, on peut classer les coniques selon le rapport constant entre l'angle du cône, c'est-à-dire la déclinaison D et l'angle d'inclinaison du plan, c'est-à-dire la latitude du lieu ϕ .

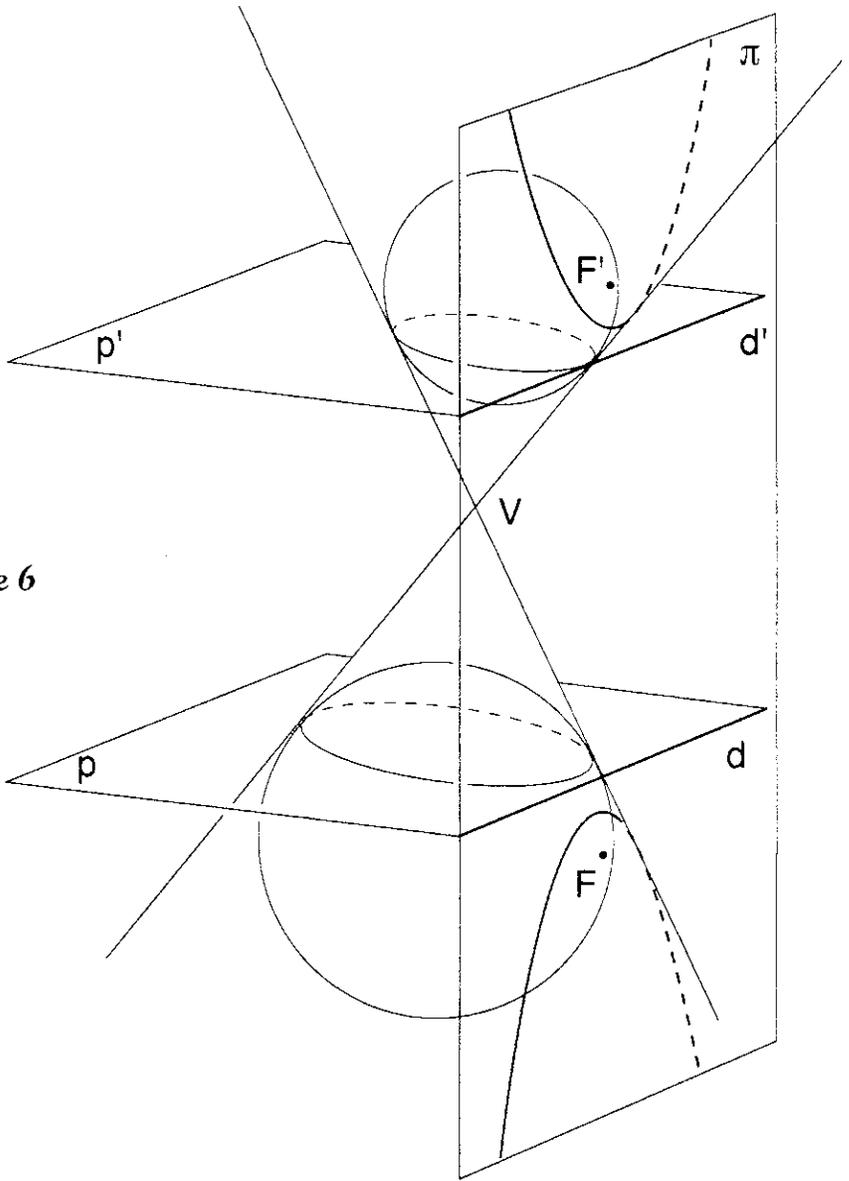


Figure 6

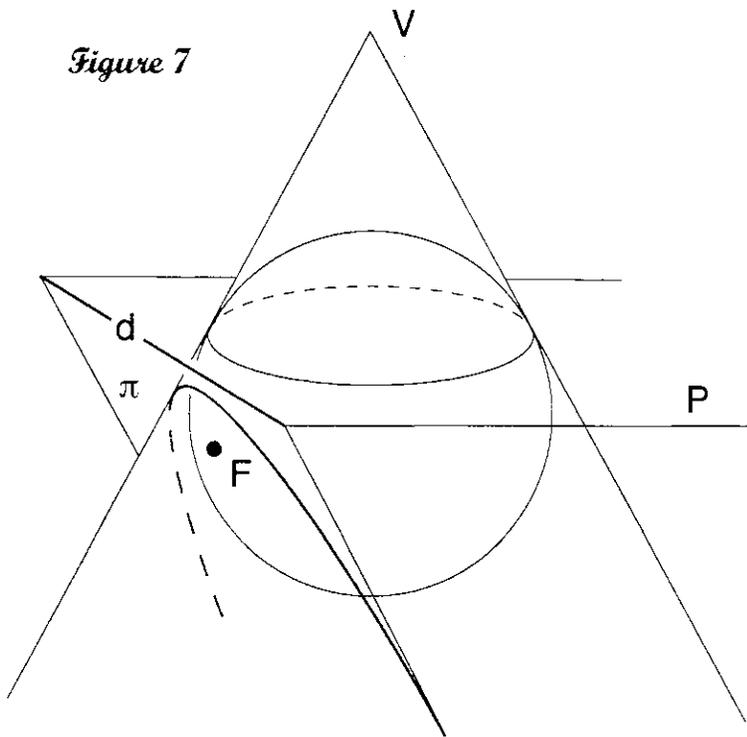


Figure 7

Le premier jour de l'été ou le premier jour de l'hiver, la déclinaison D du Soleil est telle que $|D| = 23,5^\circ$. Alors $\alpha = 66,5^\circ$, et pour cette valeur, on a :

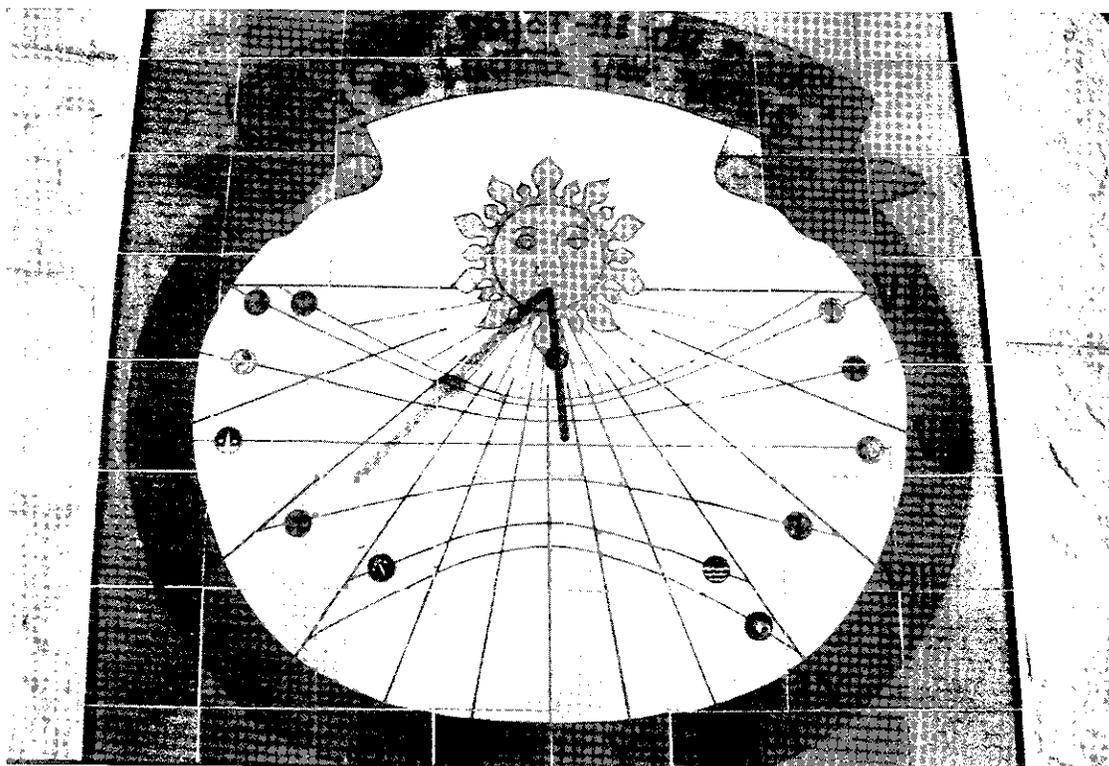
- si $\alpha = 66,5^\circ < \beta = \phi$, des ellipses ;
- si $\alpha = 66,5^\circ = \beta = \phi$, des paraboles ;
- si $\alpha = 66,5^\circ > \beta = \phi$, des hyperboles.

En résumé, pour les cadrans horizontaux situés dans un lieu de latitude ϕ , on a :

- des ellipses si $\phi > 66,5^\circ$
- des paraboles si $\phi = 66,5^\circ$
- des hyperboles si $\phi < 66,5^\circ$

Par exemple, comme on peut l'observer sur la photographie ci-dessous qui représente un cadran horizontal à Barcelone, de latitude $\phi = 41,5^\circ$, les courbes d'été et d'hiver sont des hyperboles (figure 8).

Sur le plan des cadrans horizontaux, en plus des courbes citées, il y a aussi des droites. Le Soleil étant deux jours par an dans le plan de l'équateur, il faut savoir que, à ce moment-là, la trajectoire du rayon lumineux ne décrit pas un cône mais un disque (figure 9). Le premier jour du printemps et le premier jour de l'automne, quand le Soleil a une déclinaison nulle, la surface conique se réduit à un disque dans l'équateur. L'intersection du disque avec le plan du cadran horizontal nous donne alors une ligne droite.



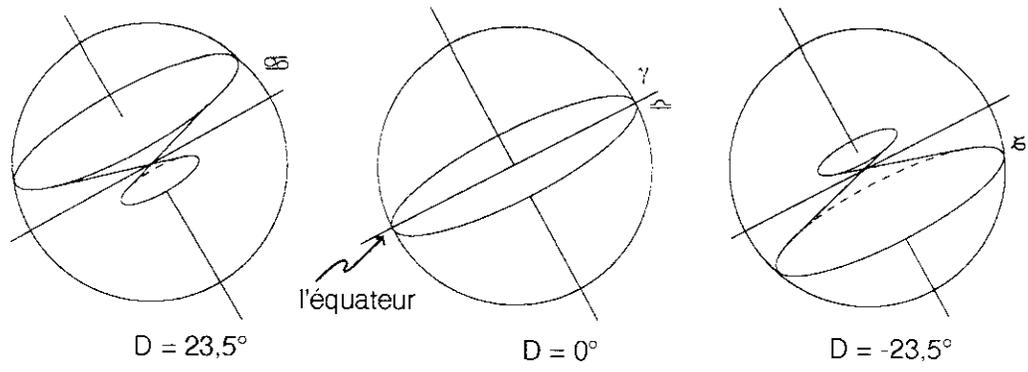


Figure 9

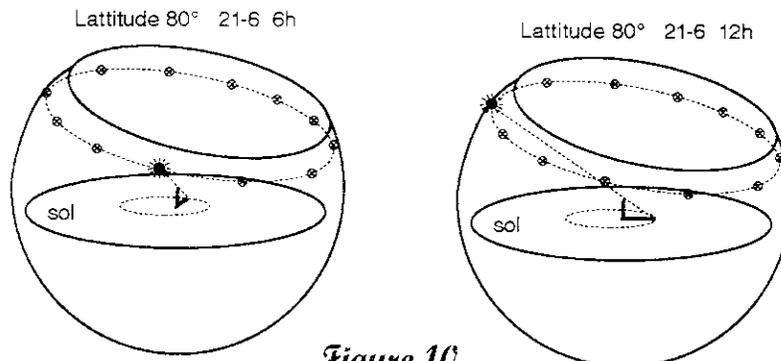


Figure 10

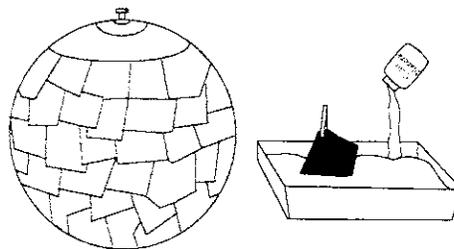
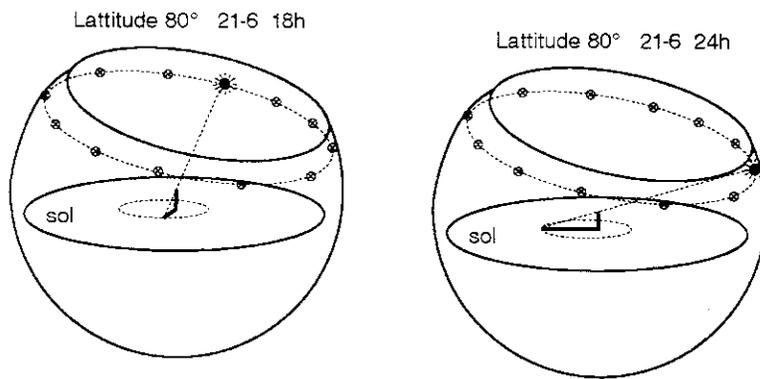


Figure 11

2 Dispositif de visualisation des coniques

Sous nos latitudes, et plus généralement en tout lieu situé hors des zones polaires limitées par les cercles polaires, l'extrémité de l'ombre portée par le style sur une surface horizontale parcourt, au long de la journée des hyperboles, qui deviennent des lignes droites les jours des équinoxes. Les autres coniques n'apparaissent que dans les régions polaires. Donc nous ne pouvons pas les observer. Si nous voulons expliquer à nos élèves non seulement la situation d'une conique (peut être peu compréhensible au niveau de l'enseignement secondaire obligatoire) mais en essayant qu'ils voient et comprennent comment et pourquoi apparaissent les différentes coniques on n'a pas d'autre solution que de faire appel à des simulateurs reproduisant le mouvement du soleil par rapport à l'horizon, et les ombres produites sous toutes les latitudes : car l'observation réelle exigerait la présence de nos élèves, pendant plusieurs mois, dans des pays septentrionaux comme par exemple la Finlande, ce qui n'est pas facile.

Une possibilité consiste à utiliser un programme d'ordinateur qui dessine la position et la longueur des ombres dans chaque cas, mais son utilisation n'est pas moins artificielle ; et on ne voit pas directement la relation entre le mouvement apparent du soleil et la position des ombres.

Le problème peut être résolu avec la construction d'un simulateur permettant de mimer la position du Soleil à des heures, des dates et des latitudes déterminées, en allumant une lampe placée dans cette position qui produise les ombres correspondantes. Ce simulateur a l'avantage de permettre de visualiser aussi bien la position du Soleil que celle des ombres, d'une façon directe, rapide et de la même façon qu'on le verrait depuis n'importe quel endroit de la Terre.

Au Lycée de Baccalauréat "Angela Figuera" de Sestao on a conçu et construit un simulateur qui permet de réaliser ces observations : des commutateurs permettent de sélectionner l'une de quatre dates correspondant au solstices ou équinoxes (où l'on trouve les positions les plus significatives), et l'heure ; alors qu'une autre commande permet de choisir n'importe quelle latitude de l'hémisphère nord.

Si on le place pour la latitude du pôle nord pendant le solstice d'été, on obtient les positions du Soleil toutes les deux heures, et on voit l'ombre produite par un gnomon vertical, dont l'extrémité détermine un cercle.

Si l'on change légèrement la latitude, mais en restant à l'intérieur de cercle polaire, et en répétant le processus tout au long des 24 heures, on obtient une ellipse, ainsi que l'on peut constater sur les graphiques de la figure 10.

Mais à la latitude $66,5^\circ$ à cette même date, l'un des sommets de l'ellipse se déplace vers l'infini, car le Soleil se trouve à l'horizon à 0 heure, et on observe une parabole ; pour les latitudes inférieures, c'est une hyperbole.

Si l'on sélectionne les dates des équinoxes, on peut s'apercevoir que depuis n'importe quelle latitude (sauf au pôle lui même) l'extrémité de l'ombre dessine une ligne droite.

3 Construction du simulateur

3.1 - Support sphérique

On a besoin d'une sphère de dimension suffisamment grande (au moins 75 cm environ de diamètre), avec une calotte en moins pour pouvoir observer à l'intérieur, et qui représentera la voûte céleste, sur laquelle on placera ensuite de petites lampes dans les positions convenables.

Si l'on ne trouve pas une sphère appropriée on peut la fabriquer en utilisant un ballon gonflable comme moule, avec des morceaux de papier journal imprégné avec de la colle blanche très diluée (figure 11). En mettant plusieurs couches on arrive à lui donner une grande consistance, et quand il est sec on le dégonfle et on extrait le ballon par la partie supérieure qui n'a pas été recouverte. Bien que ce soit plus cher, on peut le réaliser avec d'autres matériaux tels que bandage plâtré, papier mâché ou fibre de verre.

Figure 12

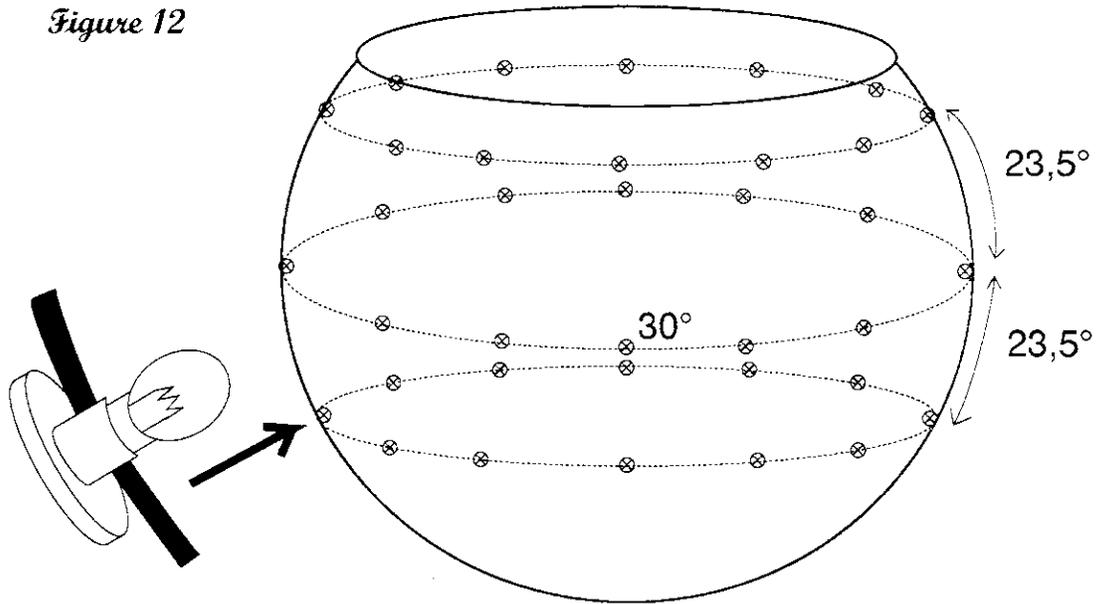
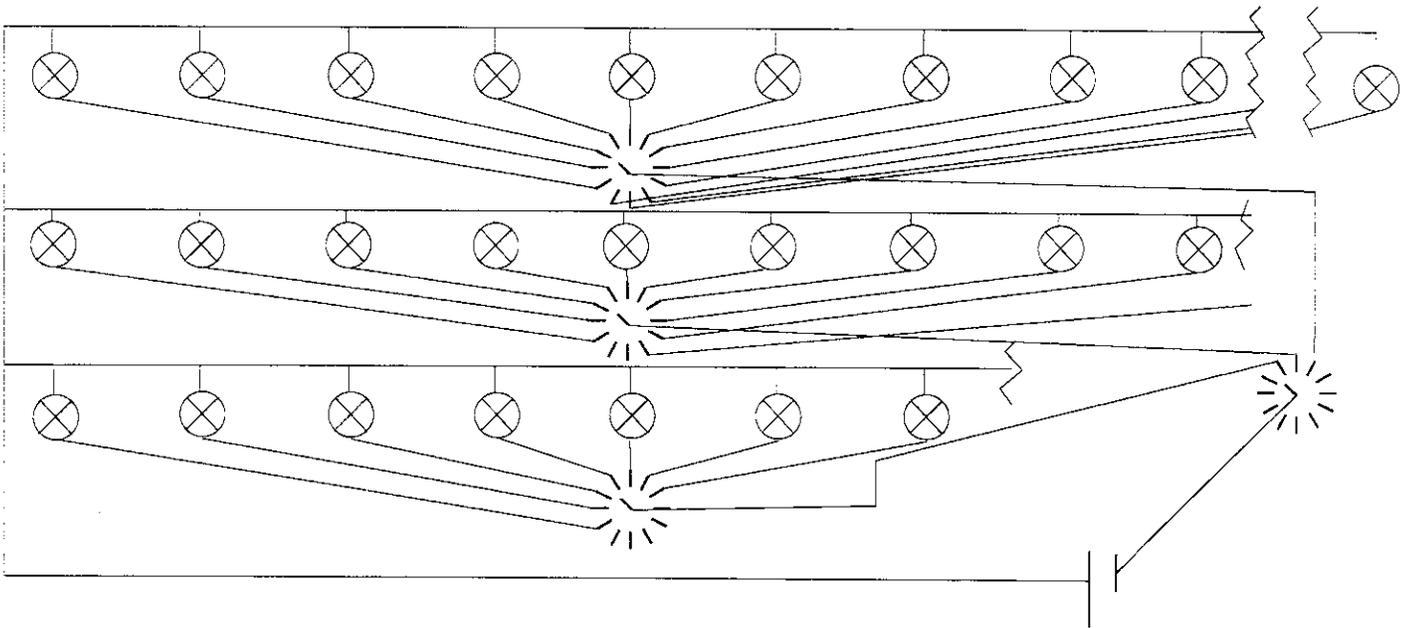


Figure 13 Schéma électrique



3.2 - Disposition des lampes

Sur un grand cercle de cette sphère, parallèle à la calotte retirée, et qui représentera l'équateur céleste, on place 12 ampoules à des intervalles de 30° ; elles simulent les positions du soleil pendant les équinoxes toutes les deux heures.

On fait de même sur deux autres cercles parallèles à une distance de $23,5^\circ$ qui correspondront aux positions du Soleil aux solstices. Après avoir déterminé les positions de ces ampoules, on perce des petits trous sur la sphère où l'on introduira les porte-lampes nécessaires pour placer de petites ampoules de lampe de poche de 3,5 volts, qui produiront des ombres nettes même dans un lieu à moitié sombre (figure 12).

3.3 - Circuit électrique

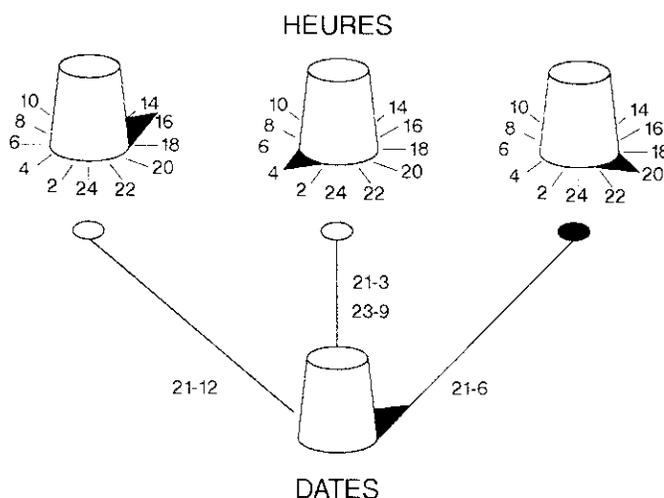
Les connexions électriques sont réalisées selon le schéma de la figure 13, et pour les commandes qui sélectionnent la date et l'heure, on peut utiliser quatre commutateurs rotatifs (d'un circuit à 12 positions) que l'on peut trouver dans les commerces de composants électroniques. Avec l'un d'entre eux on sélectionne la date, ce qui conduit le courant vers le commutateur des heures de cette date ; lequel fait la distribution vers la lampe correspondant à l'heure sélectionnée. Après avoir sélectionné cette date, sur les trois commutateurs horaires il n'y a que le commutateur approprié qui fonctionne. Pour rendre plus claire cette situation, on peut ajouter un voyant lumineux à côté de chaque commutateur horaire, de telle façon que celui qui est sélectionné et en service, soit allumé (figure 14). Dans ce cas, le commutateur des heures doit avoir deux circuits et au moins 3 positions.

Le plus convenable serait d'utiliser un seul commutateur pour les heures au lieu de 3, mais pour cela il faut un commutateur de 3 circuits et, au moins, 12 positions, ce qui n'est pas facile à trouver.

La source d'alimentation peut être une pile ou un petit transformateur.

Le câblage devrait être fait avec des fils de couleur où chaque couleur puisse servir de guide ; et il est situé sur la partie extérieure de la sphère en laissant un certain jeu à la longueur des câbles, pour permettre le pivotement de la sphère.

Figure 14



4 - Mise en place de l'axe et du sol

La mise en place de la sphère avec l'ouverture de la partie supérieure horizontale représente la situation au pôle nord, où le parcours journalier du Soleil est parallèle à l'horizon. Pour obtenir les positions correspondantes à une autre latitude, tout l'ensemble doit pouvoir basculer ; il faut donc ajouter un axe avec une poignée pour faire pivoter toute la sphère. La mise en place de l'axe peut se faire suivant les indications de la figure 15, et doit être près des lampes correspondant à 6 heures et à 18 heures de l'équinoxe, qui sont les seuls qui ne doivent pas changer de position quand on modifie la latitude. On peut y ajouter une échelle pour indiquer la latitude.

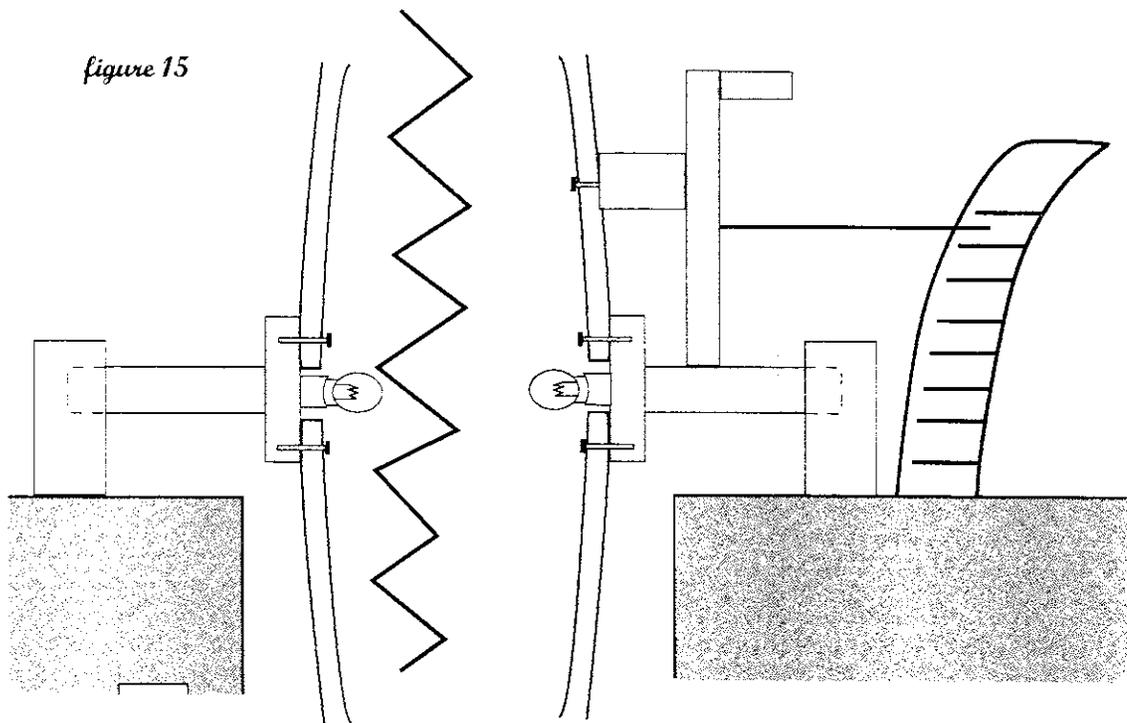
A l'intérieur de la sphère on place un cercle plat en bois qui représente la position du sol, et au centre, un petit style ou une horloge solaire.

Le plan du sol n'est pas à la hauteur de l'axe, mais un peu plus bas de telle sorte que l'extrémité du style occupe le centre de la sphère sur la prolongation des axes.

Le sol doit rester horizontal bien que toute la sphère tourne ; et on y arrive grâce à son propre poids, en fixant le cercle avec deux fils de fer en forme de "U" renversé qui s'appuient sur les portelampes de 6 heures et 18 heures des équinoxes.

Enfin, on peut placer tout l'ensemble sur un support parallélépipédique en bois en guise de table, où l'on a fait un trou circulaire pour contenir largement la partie inférieure de la sphère. (figure 16)

Une autre possibilité permettant de visualiser les différentes coniques, peut consister à construire plusieurs voûtes fixes ; chacune pour la latitude qui correspond à une conique différente, similaires au module décrit auparavant ; mais en remplaçant les lampes par des cordons qui, partant de la position du Soleil toutes les heures, passent, tous, par l'extrémité du style et continuent en ligne droite vers le sol sur le même point qui serait atteint par l'ombre du gnomon. Ainsi on voit la double surface conique dont l'intersection avec le sol détermine le cercle, l'ellipse, la parabole, l'hyperbole ou ligne droite, selon les cas. (figure 17).



Fiction et réalité

La planète Vénus en 1998

I. Un peu de fiction

Nous sommes en décembre 2077. Peu avant Noël, Pierre garçon charmant, dont les ancêtres étaient membres fondateurs du C. L. E. A., avait pris place devant son pupitre hyperspatial. Muni de son casque COGITO, dernier modèle, il lui suffisait de penser pour faire apparaître des images en plusieurs dimensions en face de lui. C'est ainsi qu'il pouvait projeter devant lui les scènes les plus insolites que lui suggérait son imagination ... Et Pierre n'en manquait pas, loin de là ... Il venait d'acquérir le tout nouveau système WALUDOO (qui remplaçait WANADOO devenu obsolète ...) et grâce à JANET (successeur d'INTERNET mais beaucoup plus efficace ...) il lui était possible d'accéder à la plus puissante ASTROTHERQUE du monde...

Depuis quelque temps, de nombreuses sectes florissaient. La pollution était devenue si forte que personne ne voyait plus d'étoiles depuis longtemps. Mais fort heureusement, grâce aux Nouvelles Technologies, des simulations du ciel étoilé étaient organisées ...

La place de la Terre dans l'Univers était remise en cause : une des sectes les plus actives TERRACENTRUM affirmait que nous occupons bel et bien le centre (hélas : errare humanum est, of course). Notre jeune astronome en culotte courte voulait en avoir le coeur net (via COEURNET, serveur très apprécié bien sûr ...). C'est ainsi qu'il obtint après plusieurs tentatives un écran qui lui donnait les positions de Vénus (sa planète préférée) en l'an 1998. Un rapide calcul mental lui montra que l'année 2078 correspondait à $1998 + 10 \text{ fois } 8$ (Pierre connaissait très bien la table de 10 ...); il se souvenait de cette période de 8 ans ... ayant lui-même bientôt 16 ans.

Voilà qui excita sa curiosité juvénile mais cependant bien réelle ... Il examina soigneusement la figure 1 ...

Il vit les croix numérotées de 1 à 12 qui correspondaient aux positions successives du Soleil par rapport à la Terre au premier de chaque mois de l'année 1998. Cela le rassura, car lui aussi pensait que le Soleil tourne autour de la Terre ! Un jour, alors qu'il était en vacances en haute montagne, il avait pu assister à un lever de Soleil ce qui le conforta dans son opinion. Le souvenir de cette scène inoubliable fut pour lui pendant quelques instants source d'émotion intense...

Une observation plus attentive du document lui montra des petits cercles numérotés de la même manière et qui traduisaient les positions de Vénus aux mêmes dates. Il eut alors une idée géniale (n'oublions pas que parmi ses ancêtres figuraient d'éminents membres du C.L.E.A ... fondé il y avait pratiquement ... un siècle !)

2. La réalité:

Placer un papier calque comportant en son centre un point noté S sur la figure 1, puis faire coïncider S avec les positions successives du Soleil et marquer celles de la Terre et de Vénus aux mêmes dates ; indiquer les numéros correspondants ; le papier calque doit se déplacer en translation. ses bords restent parallèles à ceux de la feuille en dessous.

Comparer les trajectoires relatives de S et de V à celles qui sont représentées sur la figure 2. Il suffit de placer le calque sur cette figure 2 pour voir la coïncidence.

On constate que par un simple changement de repère, on passe du modèle géocentrique au modèle héliocentrique.

3. Prolongements possibles:

On peut déterminer la période de révolution sidérale de Vénus avec la figure 2, ainsi que sa vitesse héliocentrique.

La mesure des angles entre les directions TS et TV (élongations de Vénus) conduit au document de la figure 3.

Un peu de réflexion montre dès lors que Vénus sera "étoile du matin" pendant la majeure partie de l'année 1998. L'écart maximal (environ 46°) aura lieu fin mars.

*" Oh, belle étoile du matin
Veux-tu nous dire ton destin..."
chanson populaire...*

*Jean-Paul Rosenstiehl
73, Bd Mutuel
72000 LE MANS*

BIBLIOGRAPHIE :

Voir les articles concernant Vénus dans les Cahiers Clairaut n° 28, 34, 36, 64, 74 et 75.

Les documents utilisés (les dessins ont été repris en DAO, pour voir des originaux, lire « Mettez votre planétaire à l'heure ») dans cet article ont été établis grâce au logiciel **CLEASTRO** toujours disponible auprès de l'auteur (20F pour participation aux frais).

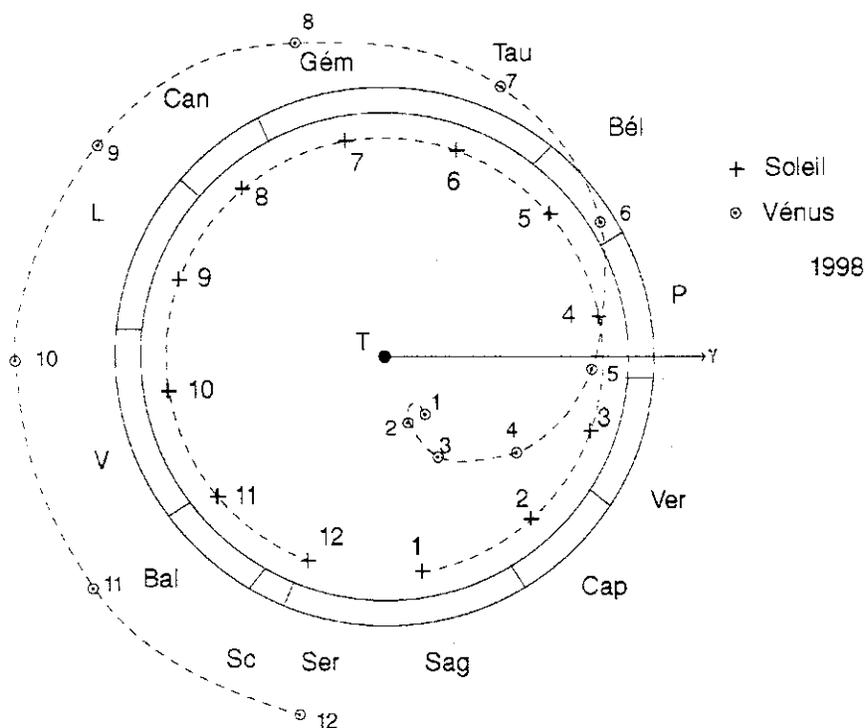


figure 1

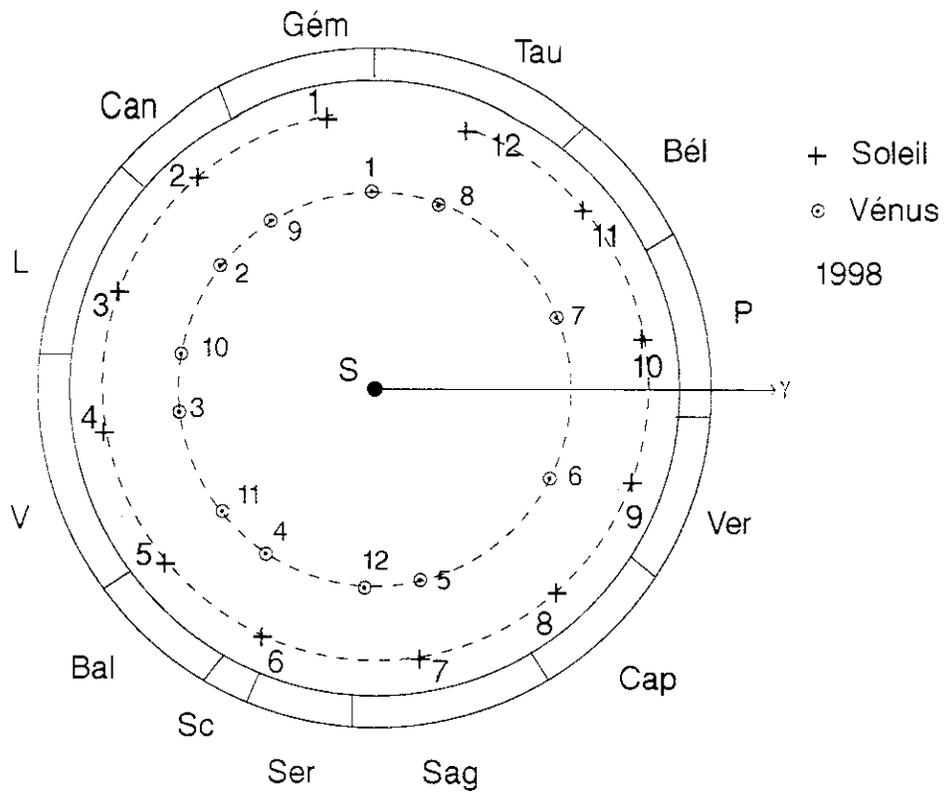


figure 2

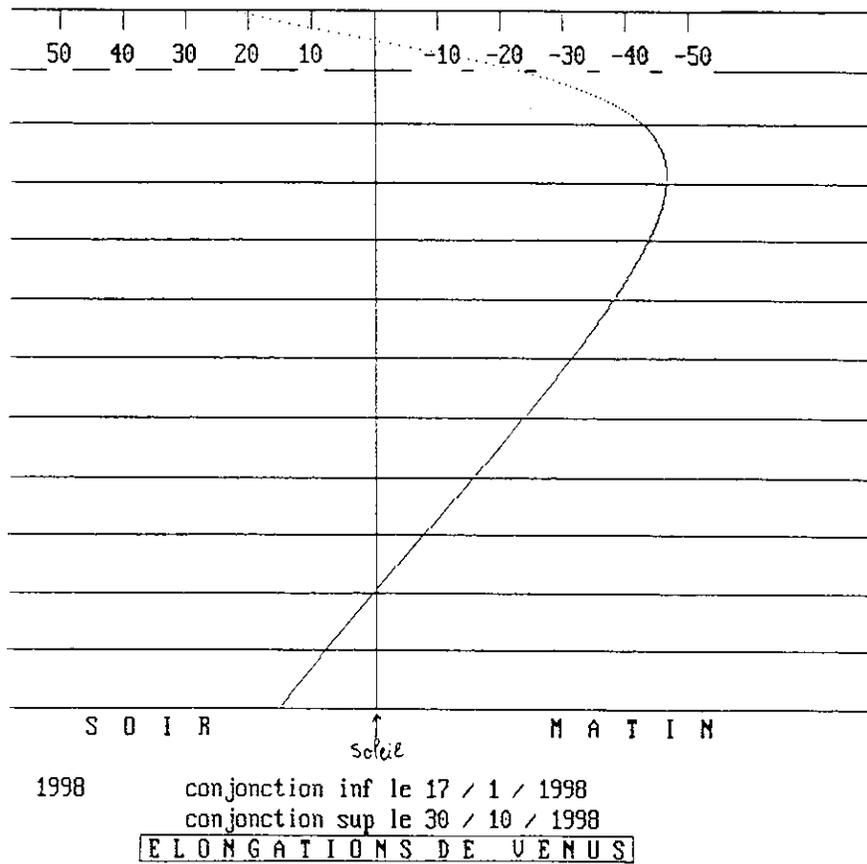


figure 3

20 ans de bonnes lectures

« Les difficultés, si j'en rencontre en lisant, je n'en ronge pas mes ongles ; je les laisse là, après avoir fait une charge ou deux. »

MONTAIGNE, 11, X

La culture, disait un sage, c'est ce qui reste de ce qu'on a appris quand on a tout oublié. Les bonnes lectures, c'est pareil. Vous avez oublié le nombre d'enfants de la famille Rostov mais le souvenir vous reste de la grande fresque de **La guerre et la paix** ; ne serait-ce que grâce au charme de Natacha, vous ne risquez pas de le perdre.

En vingt ans, nous avons lu, ou relu, bien des livres. Quels sont ceux dont le souvenir s'efface ? Est-il bien utile d'y revenir ? Quels sont ceux, au contraire, que nous voudrions relire encore ? Il y a des textes qui vous ont enchantés dès les premières pages si bien que vous vous êtes empressés de recommander à vos amis de s'en délecter. Par exemple, **Histoire de ma jeunesse** par FRANÇOIS ARAGO (CC 32 ce qui signifie voir le compte rendu dans le CAHIER CLAIRAUT n°32). A la réflexion, vous vous demandez si ce n'est pas plus à l'Auteur que vous vous êtes intéressé qu'à ce qu'il racontait et vous ne relirez son texte que pour le plaisir. Ce qui n'est pas le cas des textes-obstacles, des textes difficiles que vous voudriez appréhender complètement mais qui vous rebutent. Alors, ne vous rongez pas les ongles, dit le bon maître, demain peut-être aurez-vous l'esprit plus dispos. Ne réussirez-vous que le surlendemain ? Quel plaisir raffiné au bout !

Dans ces lectures des dernières vingt années, je fais une place à part aux **Oeuvres choisies** d'ALBERT EINSTEIN traduites et présentées par Françoise Balibar (éd. Seuil, CC 49 et sq). Un monument, ces six volumes, qu'on n'en finit pas de visiter. Il y a l'homme et sa correspondance vous fait un peu vivre avec un génie. Il y a ses écrits philosophiques et politiques ; ce génie a été presque votre contemporain, il a traversé ce siècle aussi riche en massacres qu'en grandes découvertes ; les tomes 5 et 6, écrits philosophiques ou politiques sont passionnants et toujours d'actualité. Les tomes 1 à 3 sur Quanta et relativités sont rendus plus accessibles grâce aux notes et commentaires. Je le redis, un monument, mais ce n'est pas un musée endormi ; toujours grâce aux commentaires, l'oeuvre est vivante dans la fraîcheur de la présentation par son Auteur. Il y a beaucoup de bonnes adresses sur la Relativité, pas de meilleure que ces six volumes.

Nous sommes dans une situation vraiment privilégiée. Pensez à celle des contemporains de Kepler et Galilée, c'était pas triste ; mais combien avaient le privilège de pouvoir lire leurs ouvrages et en discuter. Nous, en 1997, nous n'avons sans doute pas pu rencontrer physiquement Einstein et Planck, mais nous avons pu lire leurs ouvrages traduits et commentés. Nous nous trouvons riches de deux théories puissantes, merveilleuses, La Relativité Générale d'un côté, la Physique Quantique de l'autre. Chaque théorie est remarquablement vérifiée dans son domaine mais comment passer sans heurt d'une théorie à l'autre, chacune a sa langue. Alors, grand problème, grande question, comment réaliser l'unification ? Comment n'être pas attirés par tous les livres qui rodent autour de cette question essentielle ? **Lumière et matière, une étrange histoire** par RICHARD FEYNMAN (Interéditions 43), **Une brève histoire du temps** par STEPHEN HAWKING (éd Flammarion, CC 46), **La science et l'univers** par REMI HAKIM (éd. Syros, CC 62). Aux yeux de certains spécialistes, ce sont ouvrages de vulgarisation, avec

tous les artifices qui sont indispensables quand on s'adresse aux marquées de notre temps. Ce livre de Feynman, je suis pourtant certain qu'on peut le relire avec profit, voilà un Auteur qui jamais ne rebute son lecteur, je dirais même qu'il est trop entraînant. Et puis, vous verrez, si vous le relisez dans vingt ans, ce sera un peu comme avec, de PAUL COUDERC **L'expansion de l'Univers** que je lisais en 1950 avec l'attrait du tout nouveau qu'il a perdu, l'expansion et l'évolution de l'Univers sont devenues des idées familières... Dans vingt ans; la liaison sera faite entre les deux grandes théories, nos scrupules et nos interrogations paraîtront dérisoires à nos petits-enfants.

Ces vingt années ont vu l'édition en français de quelques grands classiques pour l'histoire de l'astronomie. Événement à saluer et félicitations aux auteurs de ces traductions et éditions qui ont sans doute mieux travaillé pour la science que pour leur profit personnel. Avec la collaboration de J-P. Brunet et R. Nadal, astronomes toulousains, Germaine Aujac, professeur à l'université de Toulouse Le Mirail, nous a permis de lire en français **La sphère en mouvement - Levers et couchers héliques** par AUTOLYCOS DE PITANE (éd Les Belles Lettres, CC 8). Nous avons même le texte grec en regard, mais les figures sont refaites dans le style moderne. Plus récemment (1990), Gallimard a repris, dans sa collection TEL, la traduction par Alfred Ernout du fameux **de la Nature** de LUCRECE. Et notre curiosité de la science antique s'est bien trouvée de la traduction et édition de **Les sciences exactes dans l'antiquité** par OTTO NEUGEBAUER (éd. Actes Sud, CC 57).

Quant aux classiques de la Renaissance, il y a eu presque de la concurrence entre éditeurs avec les livres de l'atout maître, Galilée, évidemment. Trois éditions en 1992 : **Le messager céleste**, traduction et notes par ISABELLE PANTIN (éd. Les Belles Lettres, CC 60) ; **Le messager des étoiles**, traduction du latin et notes par FERNAND HALLYN (éd. Seuil, CC 59) ; **Dialogue sur les deux grands systèmes du monde**, traduction de l'italien et présentation de RENE FREREUX et FRANÇOIS DE GANDT (éd. Seuil, CC 59). Le Dialogue est évidemment l'ouvrage capital, à lire et à relire. Mais le Messenger, qu'il soit qualifié "céleste" ou "des étoiles", est bien savoureux, très représentatif de l'esprit libre et hardi du grand Galilée ; le Messenger, était, même en 1610, un livre de poche et ce sont les petits pamphlets de cette sorte qui font les révolutions. Le Dialogue restant à savourer, la révolution faite. Quant à Isabelle Pantin, elle a poursuivi son oeuvre en publiant en 1993 **Discussion avec le messager céleste** de KEPLER (éd Les Belles Lettres, CC 64). Et comme, en même temps, Gallimard reprenait dans sa collection TEL, **Le secret du monde**, le premier livre de Kepler, le **Mysterium cosmographicum** avec traduction et notes d'Alain Segonds, on peut dire que nous disposons, en français, sur la grande révolution scientifiques du début du XVII^{ème} siècle, les textes essentiels. L'édition, toute récente, de **Le Monde, l'Homme** de RENE DESCARTES peut n'être considérée que comme un ultime ornement (éd. Seuil, CC 77) alors que celle de **L'infini, l'univers et les mondes** de GIORDANO BRUNO a plus l'attrait de la curiosité pour ce grand martyr trop méconnu de la liberté de pensée (éd. Berg inter, CC41).

A propos de ces ouvrages des grands auteurs, l'actualité nous a offert des études par des historiens ou chercheurs qui ont eu accès à des sources particulières. Ainsi GÉRARD SIMON, dans son **Kepler, astronome astrologue** (éd. Gallimard, CC 4), rend justice aux travaux de Kepler sur l'astrologie et, de ce fait, complète l'éclairage sur le travail de Kepler qu'avait pu nous donner KOYRE dans **La révolution astronomique** (éd. Hermann). Grâce à ses recherches dans les archives du Vatican PIETRO REDONDI nous donne, dans son **Galilée hérétique** (éd. Gallimard, CC 34) des raisons de penser que la condamnation de Galilée visait moins son opinion sur les mouvements de la Terre que ses idées épicuriennes sur la constitution de la matière ; quant à

la condamnation par l'inquisition, elle en reste tout aussi injuste et scandaleuse (c'est à dire réclamant réhabilitation). D'une toute autre façon, JACQUES GAPAILLARD avec son livre **Et pourtant elle tourne** (éd. Seuil, CC 63) a vraiment fait le tour de la question, c'est le cas de le dire. Avec ce livre, vous avez un modèle de la meilleure vulgarisation scientifique : pas de concession au brillant de l'exposé, solidité de la documentation, souci pédagogique de clarté aussi bien dans la rédaction que l'illustration.

A côté des grands classiques dont l'abord n'est pas toujours facile, même chez Newton et encore plus chez Kepler, il faut dire le grand intérêt des lectures de ces classiques par des contemporains au fait de l'évolution actuelle des théories scientifiques. FRANÇOISE BALIBAR nous a donné, dans ce genre, deux chefs d'oeuvre. Leur présentation en petits livres de poche ne rime pas avec chef d'oeuvre, direz-vous. Alors, si ces grands mots vous choquent, disons *rédaction modèle*. Le premier dit, dans son titre, toutes les intentions de Françoise Balibar, **Galilée, Newton lus par Einstein** (éd. PUF, CC 28) ; espace et relativité, par conséquent présentés par leurs inventeurs et commentés par le meilleur des guides qui n'a pas mis ses dons pédagogiques dans sa poche mais dans les 2⁷ pages d'un livre qui, lui, tient dans la poche. C'était le volume n°1 de la nouvelle collection Philosophies co-dirigée par Françoise Balibar, Jean-Pierre Lefebvre, Pierre-François Moreau et Yves Vargas qui a compris d'excellents titres comme **Comte, La philosophie des sciences** par PIERRE MACHEREY ou **Les Principia de Newton** par MICHEL BLAY (CC 77). Je reste sous la très forte impression de succès complet avec le **Einstein 1905, de l'éther aux quanta** (CC 61) dans lequel Françoise Balibar donne toute son inspiration.

Je n'oublie pas, - comment les oublierais-je ? -, ces livres de référence qui ont peut-être l'aspect un peu austère des manuels mais qui sont devenus des compagnons familiers à force d'être si fréquemment consultés, annotés. Parmi eux, une place à part aux **Méthodes de l'astrophysique** par lesquelles LUCIENNE GOUGUENHEIM inaugurerait la collection *Liaisons scientifiques* dirigée par Roland Omnès et Hubert Gié pour servir à la formation continue des maîtres telle que l'avait souhaitée la fameuse Commission Lagarrigue. Tous les titres de la collection, (éd.Hachette) répondent au même besoin : A.GUINIER **La structure de la matière**, M.FRANCON **L'optique moderne et ses développements**, A.GUINIER et R.JULLIEN **La matière à l'état solide**, et Ch. RUHLA **La physique du hasard**. (CC 49). Toute cette collection de référence marque une étape dans l'évolution de notre enseignement scientifique. Pour nous, au CLEA, le livre de notre Présidente a une place à part, souvent, en m'y reportant, j'entends les réveils en musique de Lanslebourg... Science et souvenirs savent souvent faire bon ménage.

LUC VALENTIN a publié en 1983 **L'univers mécanique** (éd.Hermann, CC 24) qui se présente comme un vrai manuel destiné aux étudiants débutants. Le sous-titre, *introduction à la physique et à ses méthodes* est explicite ; le livre vous attache par son ton ; on y respire un air de liberté, on ne sent nullement la contrainte d'un programme mais tout au contraire l'enthousiasme des apprentis en découverte. Ce n'est pas un manuel comme les autres. Du même auteur, **Le monde subatomique** (même éditeur) est d'un plus haut niveau mais d'un même style qui force l'étude attentive.

Dans **Sous l'étoile Soleil** (éd Fayard, CC 28), JEAN-CLAUDE PECKER n'entendait pas écrire un manuel mais, tout en s'adressant au public le plus large, il fournit tout ce qu'il faut savoir sur le Soleil, aussi bien ses mystérieux neutrinos que les beautés plus évidentes chantées par les poètes préférés de l'auteur.

Enfin, pour les mordus d'astrophysique qui sont, dans le CLEA, plus nombreux que dans maint sous-ensemble d'enseignants, il y a **Les Étoiles** de EVERY SCHATZMAN et FRANÇOISE PRADERIE (interéditations-CNRS 1990) qui reprend et actualise **L'astrophysique générale** (éd.Masson, 1959) qui date d'un temps, non pas obscur, mais sans CLEA. Ouvrages, tous les deux, d'un haut niveau, pas facilement abordables par les débutants ou amateurs que nous sommes.

Au contraire, l'équipe qui va de D.BENEST à J-P ZAHN, par ordre alphabétique et où nous retrouvons maints conférenciers des universités d'été du CLEA, nous donne **Le monde des étoiles** et **L'univers des galaxies** dans la collection *Les Fondamentaux* (éd.Hachette, CC 72). Ces deux livres sont spécialement écrits pour nous et complètent ou prolongent les **Méthodes** de notre Présidente qui se retrouve d'ailleurs dans l'équipe des "fondamentaux". Encore plus adapté aux besoins des enseignants, il y avait eu, en 1993 (éd.Hachette, collection Synapses, CC 64) **La Terre et l'univers** par L.BOTTINELLI, A.BRAHIC, L.GOUGUENHEIM, J.RIPERT et J.SERT, pur écho fructueux d'une université d'été.

Parmi toutes ces lectures des vingt années, il y a eu quantité de livres de bonne vulgarisation qui répondaient à la curiosité d'un large public. Quand on compare le niveau de ces bons livres avec ce qu'était la vulgarisation scientifique du temps de Flammarion, on doit reconnaître une bonne élévation du niveau culturel moyen. Dans les astronomies populaires d'il y a cent ans, on rappelait la mesure des angles au rapporteur. Je ne me fais pas d'illusion sur tous les lecteurs férus de big bang et autres trous noirs et qui, par ailleurs, se réclament encore du Taureau ou de la Balance. Mais je me réjouis du nombre et de la variété des ouvrages de vulgarisation ; je n'en citerai que quelques uns.

Le véritable succès populaire de **Patience dans l'azur** (éd.Seuil, CC 15) de HUBERT REEVES récompensait un talent évident de présentateur qu'il a peut-être tort de galvauder dans un style un tantinet prophétique. Il faut toutefois reconnaître que ce livre a eu un rôle de locomotive dans les succès populaires de l'astronomie. **L'Odyssée cosmique** (éd.Denoël, CC 33) de JEAN HEIDMANN n'a sans doute pas eu le même tirage, ce qui, en passant révèle les injustices de la distribution des livres ; l'ouvrage de Jean Heidmann rend familière l'idée si importante de l'évolution dans l'Univers. **Les trois premières minutes de l'Univers** (éd.Seuil 1978) au titre accrocheur, fait partie de la collection sur le big bang. Alors que **Le message du photon voyageur** (éd.Belfond, CC 41) de EVERY SCHATZMAN nous ramène à la plus solide astrophysique.

Sur le passionnant problème de la vie dans l'Univers, nous avons lu **Les enfants d'Uranie** (éd. Seuil CC 45) par EVERY SCHATZMAN puis **Intelligences extraterrestres** par JEAN HEIDMANN (éd. Odile Jacob, CC 60). Soyons certains que le sujet provoquera encore bien des écrits, au moins avons-nous avec ces deux livres une bonne base pour les discussions à venir.

Je fais une place à part à quelques livres qui s'apparentent encore à la vulgarisation pour public cultivé et qui traitent à fond un sujet particulier (et pas forcément accrocheur pour grand public mais bienvenu pour la documentation des enseignants). JEAN-PIERRE LUMINET a donné en 1987 un remarquable exposé sur **Les trous noirs** (éd.Belfond, CC 41). **Le noir de la nuit** (éd. Seuil, CC 50) par EDWARD HARRISON donne une excellente étude du paradoxe d'Oibers.

Dans **La nature sans foi ni loi** (éd. Belfond, CC 42) CHRISTIAN MAGNAN nous propose une salubre réflexion sur les principes de la physique au XX ème siècle, un sujet sur lequel il faudra revenir. En 1987, le joli petit livre sur **Les Quasars** (éd. Le Rocher, CC 38) faisait magnifiquement le point sur ce beau sujet sous la plume de SUZY COLIN et GRAZYNA STASINSKA. Dans un tout autre genre, JEAN-PAUL PARISOT et FRANÇOISE SUAGHER ont réuni une précieuse documentation sur **Calendriers et chronologie** (éd. Masson, CC 57). Enfin, car il faut bien que j'arrête cette liste déjà longue, ne pas manquer **L'Univers sous le regard du temps** (éd. Masson, CC 62) dans lequel HENRI ANDRILLAT donne un tableau très complet de la cosmologie théorique moderne.

Il était inévitable que cette révision des lectures "vingt ans après" comme aurait dit Alexandre Dumas, s'affadisse ou s'enlise en une interminable et ennuyeuse énumération. Le lecteur du CAHIER CLAIRAUT 80 aura-t-il eu la patience d'aller jusqu'au bout de la liste ? J'ai bien conscience que j'aurais été plus habile de donner plus largement la parole aux bons auteurs dont je citais seulement les titres. Je souhaite pourtant qu'il se trouve plusieurs courageux lecteurs pour me reprocher ou des regrettables omissions - il y en a beaucoup - ou corriger des appréciations critiques sur lesquelles il y a sûrement à redire. De plus, ce bilan, écrit dans le cadre des CAHIERS CLAIRAUT est évidemment partiel et principalement orienté vers l'enseignement de l'astronomie. Les lecteurs voudront bien admettre que, rédacteur dans ces Cahiers, on n'en est pas moins homme ou femme avec les besoins légitimes de qui aime lire, jusqu'à lire tout et n'importe quoi. Sur ma table, pour les numéros à venir, voici **La nature de l'espace et du temps** (éd. Gallimard) débat entre STEPHEN HAWKING et ROGER PENROSE (traduction de Françoise Balibar et présentation de Marc Lachièze-Rey), mais je ne voudrais faire croire à personne que je me complais dans les textes les plus ardues. J'essaye seulement de suivre les conseils du bon maître déjà cité :

« Il faut étudier, étudions une étude sortable à notre condition, afin que nous puissions répondre comme celui à qui, quand on lui demanda à quoi faire ces études en sa décrépitude: à m'en partir meilleur et plus à mon aise, répondit-il. »

G. W. ■

Prochaine éclipse de Soleil visible en France le 26 Février 1998

...en France, oui, mais pas dans l'hexagone...

De nombreux collègues ont déjà réservé leurs billets pour la **Guadeloupe**. Si vous êtes de ceux-là, que pensez-vous d'une rencontre CLEA le 25 sur l'île pour échanger les derniers tuyaux et rencontrer nos collègues insulaires ?

Envoyez vos coordonnées et une enveloppe timbrée à
Anne-Marie Louis, 24, rue des chataîgners, 78940 La QUEUE-lez-Yvelines

PS utilitaire : les commandes CLEA à transmettre en Guadeloupe pourront être livrées directement par Catherine Vignon, qui y sera présente en Février. Economisez les frais de port et commandez massivement avant le début du mois de février.

(Commandes à envoyer à l'adresse du CLEA à ORSAY).

- Un long compagnonnage -

Voilà bien longtemps que nous nous sommes rencontrés : Jean-Pierre Penot, au Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) publiait régulièrement la revue "Espace Informations" que le CNES diffusait généreusement aux enseignants, pour leur plus grand plaisir. La collection (presque) complète est toujours disponible dans la bibliothèque d'Orsay : il n'est pas de stage académique s'y déroulant ni d'université d'été au cours desquels elle ne soit consultée.

Les temps sont devenus plus difficiles pour la recherche - même spatiale (!). Le CNES a donc dû limiter sa générosité. Mais, pour notre plus grand bonheur, Jean-Pierre Penot n'a pas abandonné son intérêt pour l'enseignement : régulièrement apparaissent des "Bibliothèque de Travail" (BT) portant la double mention "Espace" et "CNES". J'ai devant moi quatre d'entre elles : "Le Soleil et ses planètes", "Les grands astronomes", "Les images SPOT" et "Argos veilleur de la Terre". Toutes joliment présentées, bien illustrées, dotées chaque fois d'un glossaire et de quelques encadrés. Mais surtout, présentant toutes la même démarche qui est celle de Jean-Pierre Penot et dans laquelle le CLEA se retrouve bien : cerner l'essentiel, situer le thème dans son contexte et dans l'histoire, faire comprendre les démarches, les degrés d'approximation... J'ai donc éprouvé le désir d'associer Jean-Pierre Penot à ce regard du CLEA sur le vingtième anniversaire des Cahiers Clairaut.

"Le Soleil et ses planètes" donne l'essentiel de ce qu'on en sait aujourd'hui, mêlant les découvertes anciennes aux plus récentes dont les techniques spatiales sont responsables pour l'essentiel. Je me contenterai de mentionner ce qui est dit de l'effet de serre : on trouve d'abord un encadré clair et simple qui explique le principe du phénomène ; puis son importance sur Vénus, où il a éliminé toute possibilité de vie ; enfin son importance sur la Terre qui, sans lui, serait invivable avec une température moyenne de -18° au lieu des 15° actuels.

Au début du 16ème siècle on pensait encore que *les planètes étaient poussées par des anges, ou incrustées dans d'énormes sphères cristallines en rotation lente*. Deux cents ans plus tard, après le passage des "grands astronomes" Copernic, Tycho Brahé, Kepler, Galilée et Newton, *le système solaire avec le Soleil en son centre est soumis à des lois mathématiques très précises*. C'est l'âge d'or de l'astronomie européenne. De chacun de ces grands hommes, Jean-Pierre Penot et ses collaborateurs s'attachent à montrer ce qui les a motivés, quel fut le processus de leur pensée et celui de leurs découvertes. Je cite Kepler, dont l'existence fut si tourmentée - né souffreteux, affligé de troubles visuels, il subit la persécution religieuse, assailli de soucis familiaux, d'ennuis financiers ... - et qui eut l'intuition d'un monde harmonieux, qu'il découvrira dans ses 3 lois, publiées en 1609 mais que le grand Galilée n'adoptera pas : en 1632 les orbites qu'il trace pour les planètes sont encore des cercles. Qui sait encore la difficulté que Newton rencontra à faire admettre la loi de la gravitation, parce qu'elle décrivait une action sans contact ; et que c'est cette même possibilité d'actions sans contact qui en fit un adepte de l'alchimie ?

Avec "Spot", le Satellite Pour l'Observation de la Terre, voilà l'occasion de faire réfléchir sur la façon de mettre le monde en images : quel point de vue adopter, quelle résolution pour ces images, quels codes de couleur choisir ? Pourquoi une orbite héliosynchrone ? Mais aussi, comme elles sont belles ces images de Madagascar ou de l'Irak, ou encore celle en 3 dimensions de la vallée de l'Arve, aux pieds du Mont Blanc, et comme elles deviennent encore plus belles quand on a appris à les lire !

Lucienne Gouguenheim ■

Liste des ouvrages analysés dans les Cahiers Clairaut (51 à 79)

Michel Toulmonde avait déjà dans le numéro 51 présenté
la liste des ouvrages analysés dans les 50 premiers numéros. Il complète ici cette liste.

<i>N°</i>	<i>Titre</i>	<i>Auteur(s)</i>	<i>Editeur</i>
51	Inform. documenter. Dossier spécial Astronomie Cadrans solaires et astrolabes Une histoire de l'Astronomie	coll. (C.Vignon) C. Dumoulin J.-P. Verdet	CRDP Paris GRAAL (Urania) Seuil (Points Sc.62)
52	L'avenir du Soleil Pour comprendre l'Univers Astrophysique : les étoiles Une aurore de pierres De la Nature	J.-C. Pecker Delsemme, Pecker, Reeves E. Schatzman, F. Praderie A. Danchin Lucrèce	Hachette (Q. de Sc.) Flammarion Interéd./ CNRS Seuil (Sc. ouverte) Gallimard (Tel)
53	Entretiens sur la Pluralité des Mondes Newton et la mécanique céleste	Fontenelle J.-P. Maury	Ed. de l'Aube Gallimard (Découv.)
54	Simulations en astronomie sur ordinateur L'Univers astronomique avec le Planétarium L'Observatoire de la Côte d'Azur L'espace, cet autre monde Etoiles et constellations Niels Bohr Mileva Einstein	M. Toulmonde A. Acker, J.-C. Pecker coll. J.-P. Penot A. Benhamouda F. Lurçat D. Truhovic-Gjuric	CLEA / Paris XI Ass. Planétariums - PEMF SNED, Alger Criterion Des Femmes
55	La lumière des étoiles La physique et les mathématiques L'heure au Soleil Science, Ethique et Philosophie (A. Einstein)	J.-Y. Marchal coll. (n° 40) F. Suagher, Perroud, Marchand F. Balibar, J. Merleau-Ponty	PEMF (BT2) Palais Découverte Ed. Cêtre Seuil / CNRS
56	Savants et Ignorants Histoire de l'Ecologie Astronomie, guide du matériel Les Constantes universelles La Grande Unification	D. Raichvarg, J. Jacques J.-P. Deléage J. Lacroux, C. Legrand G. Cohen-Tannoudji A. Salam	Seuil (Sc. Ouverte) La Découverte Bordas Multiguides Hachette Seuil (Sc. Ouverte)
57	Le Promeneur du Ciel Calendriers et Chronologie La Science du Cristal Hasard et Chaos Ecrits politiques (œuvres choisies) Les Sciences exactes dans l'Antiquité	J.-C. Pecker J.-P. Parisot, F. Suagher F. Balibar D. Ruelle A. Einstein O. Neugebauer (tr. P. Souffrin)	Stock Obs. Bordeaux Hachette Odile Jacob Seuil / CNRS Actes Sud
58	Astronomie, introduction Photographie astronomique à grand champ La molécule et son double	A. Acker J.-L. Heudier J. Jacques	Masson (De Caelo) Masson (De Caelo) Hachette

59		
Le Messager des Etoiles	G. Galilée (trad. F. Hallyn)	Seuil (Sources)
Dialogue sur les deux grands Systèmes du monde	G. Galilée (trad. Fréreau, de Gandt)	Seuil (Sources)
La Révolution galiléenne	W. Shea (trad. F. de Gandt)	Seuil (Sc. Ouverte)
Galilée	L. Geymonat	Seuil (Points Sc.82)
Le Mirage et la Nécessité	M. Hulin	ENS / P. Découv.
Leçons de Mathématiques	Laplace, Lagrange, Monge	Dunod
Ephémérides astronomiques 1993	coll. Bureau des Longitudes	Masson
60		
Les débuts de la Science grecque	G. Lloyd (trad. J. Brunshwig)	La Découverte
La Science grecque après Aristote	G. Lloyd (trad. J. Brunshwig)	La Découverte
Les 3 horloges astronom. (Cathédrale Strasbourg)	H. Bach, J.-P. Rieb	R Hirlé (Strasbourg)
Le Messager céleste	G. Galilée (trad. I. Pantin)	Belles Lettres
Le destin de l'Univers	T. Xuan Thuan	Gallimard (Découv.)
Intelligences extraterrestres	J. Heidmann	Odile Jacob
L'Enseignement de l'astronomie dans le monde	coll.	U.A.I.
61		
Les Théories de la cosmologie contemporaine	J. Desmaret	Le Mail
Kepler (roman)	J. Banville (trad. M. Albaret)	Flammarion
Einstein 1905, de l'éther aux quanta	F. Balibar	PUF (Philoso. 35)
Chasseur d'étoiles (météorites)	M. Maurette	Hachette
17 cadrans solaires	G. Oudenot	Ed. du Lézard
62		
Le grand escalier, des quarks aux galaxies	P. Couteau	Flammarion
Initiation à la Cosmologie	M. Lachièze-Rey	Masson (De Caelo)
L'Univers sous le regard du Temps	H. Andriolat	Masson (De Caelo)
La Science de l'Univers	R. Hakim	Syros
Contre la Peur	D. Lecourt	Hachette
Hipparcos, le satellite des étoiles	J.-P. Penot	PEMF (BT 1045)
Le nain astronome (roman)	H. Leroy	Pr. Renaissance
63		
Les comètes	A. Brahic	PUF (QJ 1236)
Le rêve des physiciens	J.-P. Pharabod, B. Pire	Odile Jacob
Galilée critique d'art	E. Panofsky (trad. N. Heinich)	Ed. Impress.Nouv.
Comment créer le monde ?	P. Atkins (trad. N. Witkowski)	Seuil
Le procès des étoiles	F. Trystram	Payot (Voyages)
Regards sur la matière	E. Klein, B. d'Espagnat	Fayard (Temps Sc.)
Et pourtant, elle tourne !	J. Gapaillard	Seuil (Sc. Ouverte)
L'astronomie, la Terre et les astres	J.-M. Rolando	CDDP Annecy
64		
La vie à fil tendu	G. Charpak, D. Saudinos	Odile Jacob
Le Secret du monde (Mysterium Cosmographicum)	J. Kepler (trad. A. Segonds)	Gallimard (Tel)
Discussion avec le Messager céleste	J. Kepler (trad. I. Pantin)	Belles Lettres
Gros temps sur la planète	J.-C. Duplessis, P. Morel	Odile Jacob
La Terre et l'Univers	coll. CLEA	Hachette
18 Fiches d'Astrophysique	coll. CLEA	Belin
Du vide et de la création	M. Cassé	Odile Jacob
L'Espace pour les hommes	P. Léna	Flam. (Dominos. 1)
La Relativité	N. Farouki	Flam. (Dominos. 10)
Almanach des Sciences	coll.	Hachette
65		
Bibliographie sur Einstein	G. Walusinski	-
Mètre et Système métrique	S. Débarbat, A.E. Ten	Obs. Paris
L'Univers et les étoiles	L. Bottinelli, J.-L. Berthier	Gammaprim
Vagabonds de l'espace	K. Lang, C. Whitney	Springer
Le Calendrier républicain	coll. Bureau des Longitudes	Ed. BdL

66

Astronomie et Astrophysique, Textes essentiels	J.-P. Verdet	Larousse
Le Soleil	P. Lantos	PUF (QSJ 230)
L'Univers vit	P.-F. Janssens	Ed. Frison Roche
Eléments de mécanique céleste	G. Pascoli	A. Colin (U)
La Relativité d'Einstein aujourd'hui	R. Schaeffer	Nathan (128)
Les origines de la physique moderne	I.B. Cohen	Seuil (Points Sc.95)
Histoire de la physique moderne	M. Biegunski	La Découverte
Tout ce que vous devriez savoir sur la Science	H. Collins, T. Pinch	Seuil (Sc. vivante)

67

La passion des astres au XVIIIe siècle	M. Grenet	Hachette
Poussières d'étoiles	H. Reeves	Seuil (Pts. Sc.100)
Les volcans du Système solaire	C. Frankel	A. Colin
Chronique de l'espace-temps	coll. Bureau des Longitudes	Masson
Ephémérides astronomiques 1995	coll. Bureau des Longitudes	Masson

68

L'Univers et la lumière	L. Nottale	Flammarion
Le premier demi-siècle de l'U.A.I.	A. Blaauw	Kluwer (Pays Bas)
Dernières nouvelles du cosmos	H. Reeves	Seuil
Sur quelques méthodes de calcul d'orbites	C. Dumoulin	Univ. Bordeaux
Il était une fois l'Univers	R. Abbal	R. Abbal (Agde)

69

L'Univers et la lumière	L. Nottale	Flammarion
Forme et Croissance	D'Arcy Thomson	Seuil / CNRS
Philosophie de la Science contemporaine	R. Omnès	Gallimard (Folio)
Les objets fragiles	P.-G. de Gennes	Plon
La Terre mandarine (expédition Laponie 1736)	A. Balland, Abbé Outhier	Seuil

70

Pour une Histoire des Sciences à part entière	J. Roger	Albin Michel
Louis Pasteur, franc-tireur de la science	R. Dubos	La Découverte
Pasteur, cahiers d'un savant	F. Balibar, M.-L. Prevost	CNRS
Louis Pasteur, l'empire des microbes	D. Reichvarg	Gallimard (Découv.)
Histoire Générale des Sciences (4 tomes)	dir. R. Taton	PUF (Quadrige)
Ciel de nuit	R. Kerrod	Nathan
L'air de notre temps	G. Lambert	Seuil (Sc. Ouverte)
Le Soleil, le grand horloger de la Terre	L. Gouguenheim, J. Lavaud	Nathan (TDC 691)
Le Guide du ciel 95-96	G. Cannat	Nathan
Atlas de l'Astronomie	J. Herrmann	Livre Poche
La lumière des neutrinos	M. Cribier, Spiro, Vignaud	Seuil (Sc. Ouverte)

71

L'atome dans l'histoire de la pensée humaine	B. Pullman	Fayard
Histoire de... l'Astronomie	A. et G. Delobbe	PEMF (Périscope)

72

Le monde des Etoiles	dir. D. Benest, C. Froechlé	Hachette
L'Univers et les galaxies	dir. D. Benest, C. Froechlé	Hachette
Le temps	E. Klein	Flam.(Dominos. 52)
Newton	R. Westfall	Flammarion
Du Feu	A. Pecault	Hachette
De l'Eau	P. Caro	Hachette
Le chaos dans le Système solaire	I. Peterson	Pour la Sc. (Belin)
Les comètes	J. Corvisier, T. Encrenaz	Belin
Jeux de lumière	F. Suagher, J.-P. Parisot	Ed. Cêtre
Diamètres solaires et instruments astrométriques	M. Toulmonde	Obs. Paris

73

Le quark et le jaguar	M. Gell-Mann	Albin Michel
Histoire de... l'Astronomie	A. et G. Delobbe	PEMF (Périscope)
Les oreilles dans les étoiles	D. Kuntz, J. Lanzmann	Ramsay
Des planètes aux galaxies	J.-P. Verdet, C. de Bergh	Hachette
Robert Oppenheimer	M. Rival	Flammarion

74

Le livre du ciel : l'homme et les étoiles	J.-L. Heudier	Z'édicions
Hubble, l'inventeur du Big Bang	I. Novikov, A. Sharov	Flammarion
Craters ! (en anglais, plus un CD ROM)	W.K. Hartmann	Planetary Society
Diamètres solaires et instruments astrométriques	M. Toulmonde	Obs. Paris
La plus belle histoire du monde	Reeves, de Rosnay, Coppens	Seuil
La formation de la pratique scientifique	C. Licoppe	La Découverte
La mathématisation du réel	G. Israel	Seuil (Sc. Ouverte)

75

Pierre Curie	A. Hurvic	Flammarion
Théorie du Chaos	J. Gleick	Flamm. (Champs)
Les objets fractals	B. Mandelbrot	Flamm. (Champs)
Calendriers et Chronologie	J.-P. Parisot, F. Suagher	Masson (De Caelo)
Astronomie et Astrophysique	M. Seguin, B. Villeneuve	Masson
Histoire de l'Astronomie	L.M. Celnikier	Tec&Doc
Astronymie	A. Le Boeuffle	Ed. Burillier

76

Le Chaos	I. Ekeland	Flam. (Dominos 73)
Les sciences du ciel	P. Léna (dir)	Flammarion
Contes et légendes des étoiles	H. Burillier	Ed. Burillier
Les apprentis sorciers (Haber, von Braun, Teller)	M. Rival	Seuil (Sc. Ouverte)
La physique quantique	E. Klein	Flam.(Dominos. 99)
Les sciences au lycée	Belhoste, Gispert, Hulin	INRP / Vuibert
Le Soleil et les planètes	J.-P. Penot	CNES / PEMF
Les grands astronomes (du XVe au XVIIIe)	J.-P. Penot	CNES / PEMF
L'espace	J.-P. Penot	CNES / PEMF

77

Les "Principia" de Newton	M. Blay	PUF (Philoso. 62)
Le monde, l'homme	R. Descartes	Seuil (Sources)
Lire et écrire l'avenir	H. Drévuillon	Ch. Vallon (PUF)
Les planètes géantes	T. Encrenaz	Belin
Aux contraires	J.-M. Lévy-Leblond	Gallimard (NRF)
La Pierre de touche	J.-M. Lévy-Leblond	Gallimard (Folio)

78

Discours sur le bonheur	E. du Châtelet	Rivage (poche)
Le Soleil et ses relations avec la Terre	K. Lang	Springer
Les comètes et les astéroïdes	A.-C. Levasseur-Regourd	Seuil (Pts. Sc.)
Les comètes	P. Rousselot	Ed. Broquet
La science au présent - 1997	coll.	Encycl. Universalis
Les météorites	B. Zanda, M. Rotaru	Bordas
Lazare Carnot	J. et N. Dhombres	Fayard
Longitude (John Harrison)	D. Sobel	J.-C. Lattès

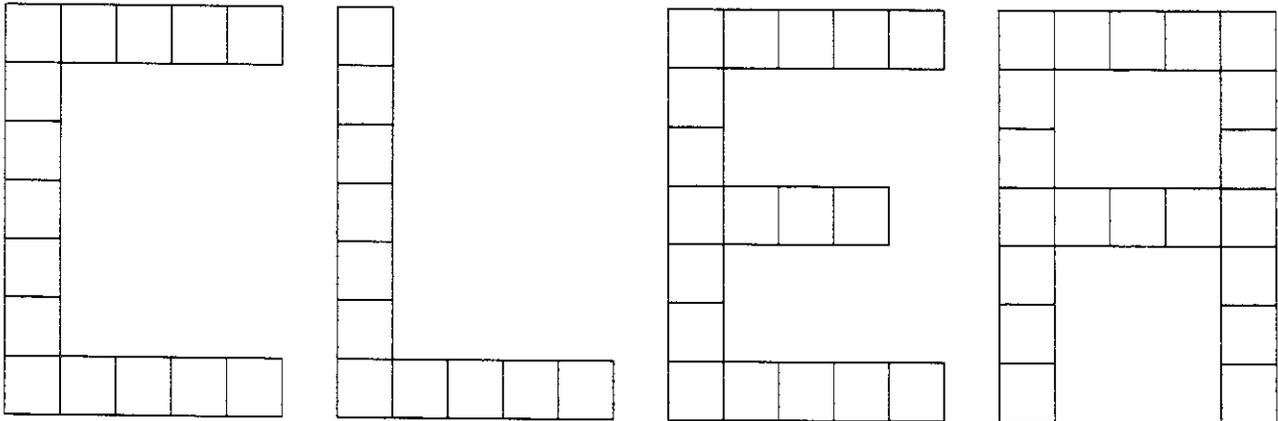
79

La nature de l'espace et du temps	S. Hawking et R. Penrose	NRF Essais
Les Galaxies et la structure de l'univers	D. Proust et C. Vanderriest	Points- Sciences
Cosmopolitiques	I. Stengers	La Découverte 97
La plus belle histoire du monde	H. Reeves et al.	Seuil
La plus belle histoire de Dieu	J. Bottero et al.	Seuil
L'horreur économique	V. Forrestier	Fayard

Mots fléchés sans flèches

ou mots croisés qui ne se croisent pas

Disposez dans cet espace CLEA les treize mots dont voici les treize définitions. L'ordre ci-dessous est l'ordre alphabétique des mots ci-dessus.



- 1) Ce nom brille en astronomie, de 1672 à 1845, ce qui est beaucoup pour un seul homme...
- 2) Auteur de la préface à la deuxième édition des PRINCIPIA en 1713
- 3) Dans l'étude des masses fluides en rotation, on lui doit l'expression "rotations barotropes" désignant la rotation non homogène des couches d'égale pression et d'égale densité.
- 4) Il remporta les deux prix de l'Académie des Sciences de Paris pour son étude des perturbations mutuelles de Jupiter et de Saturne.
- 5) Auteur du Sidereus Nuncius.
- 6) Partit au Pérou avec la Condamine et Bouguer, de 1735 à 1742, pour mesurer le degré du méridien.
- 7) Il découvrit Junon en 1804.
- 8) Il utilisa deux éclipses de lune pour évaluer la distance de Rome à Alexandrie.
- 9) Objet Apollo, découvert en 1849 au Mont Palomar.
- 10) "Le furet des comètes", selon Louis XV. Il publia en 1771 un célèbre catalogue...
- 11) Le 26 novembre 1610, il vit la nébuleuse d'Orion.
- 12) Dans le groupe troyen, petit objet n°884.
- 13) Sans elles, l'analyse du spectre des objets célestes serait restée fort peu révélatrice.

M. Carmagnole ■

L'assemblée générale 1997 à Saint-Etienne

Nous avons été chaleureusement accueillis par Philippe Huyard et l'équipe du Planétarium de Saint-Etienne. Ceux d'entre nous qui ont pu arriver le samedi ont bénéficié du programme prévu :

- Visite du Crêt des 6 Soleils : au sommet d'une colline, une porte ouverte sur l'espace et le temps... La ville de Saint-Etienne a voulu aménager un espace urbain sur un terrain inconstructible et l'équipe du planétarium a proposé un ensemble qui s'intègre avec les autres activités du site.

Les promeneurs et les groupes scolaires, encadrés par des animateurs, découvrent l'espace et le temps par l'observation et le jeu. La palette des utilisations astronomiques du site est étonnante, par exemple : dans un cadran solaire analemme en granite, l'enfant joue le rôle du style ; on peut observer depuis une pyramide l'endroit du lever ou du coucher du Soleil, par rapport à six maquettes placées "comme à Stonehenge"

- Une séance de planétarium pour les enfants : elle commence par un dialogue avec ceux-ci, suivi d'un spectacle sous la forme d'un conte qui permet une approche intelligente des notions d'espace et de temps à partir de l'observation du ciel. De nouveau s'instaure un dialogue avec les enfants pour vérifier leur compréhension des sujets abordés.

- Une séance de planétarium spéciale pour le CLEA : il nous a été offert un spectacle sur les comètes, présentant jusqu'aux découvertes les plus récentes, l'évolution historique des connaissances. Une utilisation intelligente de l'informatique et des possibilités d'un écran sphérique permettent de visualiser des trajectoires de comètes : le rendu de l'espace est remarquable. Sachant que ce spectacle de qualité est suivi systématiquement d'une séance plus classique de planétarium et d'un dialogue avec le public, nous avons été convaincus que le spectaculaire et le pédagogique ne s'opposent pas forcément. Répondant ensuite à nos questions, Philippe Huyard nous expliqua alors d'autres possibilités de son planétarium.

- Pour terminer cette journée nous avons pu nous retrouver avec le plaisir habituel autour d'un bon repas.

La journée du 23 novembre :

- ◆ Philippe Huyard reçoit la soixantaine de participants en les remerciant de leur présence en particulier ceux qui sont venus de loin. Il présente les excuses de Monsieur le Maire de Saint-Etienne qui souhaitait nous accueillir et qui en est empêché.

- ◆ Michèle Gerbaldi nous détaille les points d'information suivants :

- l'éclipse totale de Soleil du 11 Août 1999

A l'appel de la SAF, une cellule de coordination ministérielle animée par Mme Parodi a été mise en place (SAF, commission éclipse, tél : 33 01 42 15 19 99 , fax : 33 01 42 15 19 98). Quatre groupes de travail sont créés : sécurité - santé - promotion - éducation, formation, vulgarisation.

Michèle nous montre ensuite des cartes du trajet de l'éclipse en Europe puis particulièrement en France. L'éclipse commence en Cornouailles très tôt, à Fécamp à 10h 30 et tous les hôtels de Fécamp sont déjà retenus, ce qui affole l'office de tourisme !

Que fait l'Education Nationale ? un groupe s'est constitué, le "CODISP" (Comité de Diffusion de l'Information Scientifique et Pédagogique de l'éclipse 99) comportant des ophtalmologues, des astronomes spécialistes des éclipses et du Soleil. En Mars 98, ce groupe diffusera auprès des établissements scolaires une information (consistant en des données sur l'éclipse - ce texte est créé à partir de la documentation établie par le Bureau Des Longitudes). Un appel d'offre pour des projets (PAE) à réaliser durant l'année 1998-99 sera émis en Juin 98.

Un avant-projet d'Université d'été, à Gap (19-27 Août 98) a été déposé au Ministère par l'équipe CLEA d'Orsay, autour de l'idée de projets pédagogiques durant l'année 98-99, liés à l'éclipse.

A Strasbourg, Le Planétarium, sous l'impulsion d'Agnès Acker a créé un comité :

"La Coordination : Eclipse 99 Grand Est / Europe ". Une université d'été aura lieu en Août 1999, en Alsace, à Niderbronn-les-bains. Pour les élèves du primaire, sera conçu et réalisé un livret pédagogique : " le Soleil vitalise la nature" consacré à l'éclipse, à la nature et à la protection de l'environnement. Ce livret sera distribué gratuitement en Alsace.

• la formation CNED : l'équipe d'Orsay est en train de créer, pour Septembre 98, un "Diplôme Universitaire n° 2", approfondissement du "DU n°1". A partir du thème "l'âge de l'Univers", l'objectif est de montrer comment chemine le raisonnement scientifique et comment les progrès de la recherche irriguent les débats scientifiques et les enseignements. Pour des raisons de coût ce sera un texte écrit, sans diapositives, qui sera diffusé par le CNED. En option, un service d'exercices et d'informations en ligne est mis en place sur Internet.

◆ Lucette Mayer et Jean-Luc Fouquet rencontrèrent, les 6, 7 et 8 novembre 97, une centaine de professeurs portugais aux "Deuxièmes Rencontres Nationales de l'Enseignement de l'Astronomie à Porto". L'organisation en était due à Felisbela Martins, responsable avec Rainer Gaitzsch du Working Group n°1 "concepts astronomiques" de l'EAAE (9 des 11 membres de ce groupe étaient présents).

Les deux premiers jours furent consacrés à des présentations, en direction des professeurs portugais, par les professeurs européens, d'expériences pédagogiques niveau lycée. A cette occasion, Lucette a présenté (en français !) le travail qu'elle effectue avec ses élèves de Seconde et de Première S en exploitant les fiches CLEA et le logiciel CLEASTRO.

Le troisième jour a été consacré au travail du WG n°1, dont le projet est de bâtir un programme européen d'astronomie pour le primaire et le secondaire. Un modèle " astronomie à l'école primaire" a été élaboré durant cette journée.

Jean-Luc a présenté son travail sur les représentations initiales des élèves. Il a remercié Victor Tryoën et Liliane Sarrazin dont le travail sur l'école élémentaire l'a inspiré. La Rédaction n'a pas la place ici pour rendre compte de la qualité et de l'intérêt de cette étude , aussi Jean-Luc lui a-t-elle promis un article pour un prochain numéro : la contribution de volontaires à l'expérience en cours y sera sollicitée.

La prochaine réunion du Working Group n°1, aura lieu à Toulouse en Avril 99 et durera 3 jours. L'objectif est de travailler sur l'enseignement de l'astronomie au niveau du secondaire. Le financement doit être bouclé en Mars 98. Si vous pouviez aider nos deux organisateurs à trouver des sponsors...

◆ Nouvelles de l'EAAE : nous signalons que les membres du bureau de l'EAAE se sont réunis à Munich le 25 Octobre et ont fait le bilan des actions menées par les différents groupes de travail. Josée Sert, devenue secrétaire de l'association européenne nous donnera dans le prochain numéro des nouvelles de EAAE-France. En attendant elle nous informe que l'EAAE est bien vivante au travers de trois groupes de travail en particulier ; en effet on note à son actif :

- la première université d'été européenne organisée par le groupe de travail "formation des enseignants" (voir l'article de Rosa Maria Ros dans le numéro 79).

- les réalisations du groupe "projets européens pour les élèves" (Mögens Winter, Margarita Metaxa, Francis Berthomieu) qui propose des observations en divers points d'Europe d'aurores boréales en liaison avec l'activité solaire , ainsi que des exercices sur Vénus et l'héliocentrisme.

- l'organisation de la rencontre à Porto par le WG n°1.

◆ Gilbert Walusinski nous présente "un ensemble de données numériques, que les journaux appellent des chiffres" (cf. ci-contre) qui appelle quelques remarques de sa part et des précisions de la part de notre présidente Lucienne Gouguenheim.

- D'un point de vue purement comptable, l'exercice 1996-1997 est satisfaisant même si les dépenses n'ont pu être limitées que grâce à l'existence de stock (en particulier de diapositives et de hors-séries). Lucienne précise que le CLEA dispose de "réserves" (le cours du CNED a rapporté 130 000 F qui ont été versés au CLEA). Ces réserves sont utilisées pour la mise en route de nouveaux documents. Des projets sont en cours vont aboutir (traduction en français d'un document espagnol sur les étoiles variables qui deviendra une publication française - traduction en polonais du HS n°1 sur l'école élémentaire ; Lucienne signale que ce HS réalisé par Victor et Michel Laisne est le seul à avoir été réédité). D'autres publications du Groupe de Recherche Pédagogique devront être rééditées et d'autres réalisations verront le jour.

- Le Starlab, loué 14 ans, a rapporté 100 000 F ce qui permet son renouvellement : système de projection Zeiss : 65 000 F, couplage gonflable RS Automation : 37 000 F, total 102 000 F.

- Gilbert regrette l'érosion du nombre d'abonnés aux Cahiers Clairaut : des collègues partant en retraite ne se réabonnent pas et leur nombre n'est pas compensé par l'arrivée de nouveaux abonnés. Il faudrait faire un effort de publicité auprès des IUFM. Le souhait du CLEA a toujours été que le budget des CC soit identifié et autofinancé. Il a été décidé de faire un effort financier plus important pour fabriquer un journal plus professionnel. C'est ce qui a motivé l'embauche à mi-temps de Sophie Durand, qui a une formation de maquettiste, de graphiste, et de gestionnaire d'associations. Pour 1998, proposition est faite à l'assemblée générale du CLEA de fixer les tarifs suivants : abonnement simple : 140 F ; cotisation au CLEA : 50 F ; abonnement et cotisation 190 F. Le budget et les nouveaux tarifs sont votés à l'unanimité.

- La réorganisation du CLEA, rendue nécessaire par la retraite de Gilbert, est décrite p. 78 et 79.

◆ Francis Berthomieu nous annonce l'ouverture du site du CLEA sur Internet pour le solstice d'hiver. Son travail pour le rectorat de Nice lui a permis d'obtenir un espace disponible pour le CLEA. L'objectif de la création d'un tel site est de faire de la publicité pour l'association, sa revue ses publications. Parmi les qualités d'un tel serveur ont été évoqués l'évolutivité (ce qui permet une fidélisation des lecteurs) la francophonie et la possibilité de renvoi à d'autres serveurs, pour une information astronomique et/ou pédagogique (SAF, EAAE...).

Lucienne intervient pour signaler que le site doit être facile d'accès, opérant et convivial. Un débat s'est instauré dont il ressort que le serveur ne doit pas se substituer aux CC. Ce sera au comité de rédaction de décider ce que l'on confie ou non au Web (anciens articles des CC, contenus tirés des HS). C'est un lieu de passage et non d'archivage nous dit Josette Ueberschlag.

Francis propose quelques pages pour commencer : un sommaire permettant d'accéder à une documentation ; l'actualité du ciel (renvoi sur le serveur Sky Line) ; qu'est ce que le CLEA ? ; le sommaire des derniers CC ; les calendriers de formation (correspondants académiques, informez Francis !) ; des échanges sur les expériences en cours dans nos classes ; l'information sur les publications et la possibilité d'imprimer le bon de commande ; la liste des correspondants académiques du CLEA...

Francis Berthomieu, place de l'église, 83111 Ampus ; e-mail : berthomi@pelat.ac-nice.fr

<http://www2.ac-nice.fr/clea> ; **CLEANAUTES de tous les pays connectez vous !**

◆ Profitons de la pause repas qui fut comme d'habitude animée et riche en échanges pour remercier les organisateurs de leur accueil. Dans un lieu agréable moderne et fonctionnel, le Centre des Congrès de l'espace Fauriel, nous avons bénéficié d'une organisation efficace, souple et discrète et d'une grande disponibilité : la moindre de nos demandes était satisfaite rapidement et avec le sourire. Cette grande écoute a largement contribué au succès de ces journées.

Les comptes du CLEA du 19961101 au 19971031

SITUATION AU DEPART : Abonnements souscrits 962 (VIP : 63 abonnements servis)

<u>Situation financière :</u>	au compte courant de la Poste	136 699,34
	au compte d'épargne de la Poste	207 734,92
	Total	344 434,26

SITUATION au 19971031 Abonnements souscrits 924 (VIP : 63 abonnements servis)

<u>Situation financière</u>	au compte courant de la Poste	155 916,44
	au compte d'épargne de la Poste	264 901,87
	Total	420 818,31

RECETTES

Abonnements simples	28 560	
Abonnements et cotisations	118 890	
Cotisations de soutien	7 180	
	<u>sous-total CAHIERS CLAIRAUT</u>	<u>154 630</u>
Collections Cahiers Clairaut	2 710	
Cours d'Orsay	5 070	
Fascicules formation des maîtres	14 287	
	<u>sous-total anciennes collections</u>	<u>22 067</u>
Transparents	7 365	
Diapositives	35 228,50	
Hors Série des CC	43 115	
Filtres colorés et réseaux	3 590	
	<u>sous-total collections nouvelles</u>	<u>89 298,50</u>
Documents fiches CLEA-BELIN		655
Prêt du Starlab		6 300
Intérêts du Compte d'épargne		7 166,95
Contribution Ministère Recherche		
à transmettre au CNED		7 040
Cotisations individuelles à EAAE		
à transmettre à EAAE		1 680
Participation aux frais de repas (AG 96)		4 502
Recettes diverses		9 448
Total général des recettes pour l'exercice 1996-97		302 787,45

DEPENSES

Impression des CAHIERS CLAIRAUT n°76, 77, 78, 79	86 562,73	
Routage APF	16 471,09	
	<u>sous-total CAHIERS CLAIRAUT</u>	<u>103 033,82</u>
Nouveaux tirages (fascicules, notices diapos)	10 823,04	
Fabrication des diapositives D8	12 767,17	
Fabrication FCR	2 292,70	
Starlab (réparation)	1 603,98	
Frais postaux	8 339,60	
Equipements de bureau	14 629,43	
Contributions à EAAE	7 936,50	
Frais Astronomy On Line	3 000	
Cotisations individuelles à EAAE transmises à EAAE	1 680	
Subvention Ministère Recherche transmise au CNED	10 800	
Frais Université d'été 96	2 500	
Expédition des convocations AG 96	950,52	
Repas de l'AG 96	4 502	
Virement du compte courant CLEA au Compte d'Epargne	50 000	
Traitement et charges pour Sophie Durand	24 090	
Remboursements (trop perçus)	545	
Dépenses diverses	3 752	
Total des dépenses	263 245,76	

◆ Philippe Huyard présente ensuite le Planétarium après plus de quatre ans de fonctionnement.

Ce projet issu du secteur de l'animation a eu d'abord une phase de "préfiguration" de près de trois ans en milieu scolaire, avec un planétarium itinérant dans un rayon de 50 km autour de la ville.

Le planétarium actuel est un projet urbain (pas d'observation réelle du ciel), grand public et scolaire. C'est un outil de représentation du ciel qui propose un spectacle mais aussi une ouverture à quelque chose d'autre.

La pratique avec les scolaires est un équilibre entre le spectaculaire et le pédagogique. Les images ont besoin d'être belles et visuellement intéressantes (d'où la création de nouvelles images de synthèse). Elles mettent en scène les éléments pour leur donner un sens. On attire l'attention par ces images bien choisies et on retient ensuite cette attention avec un but pédagogique. On explique comment les connaissances se sont construites.

Depuis 1993 le nombre de spectacles mis au point au Planétarium a augmenté :

"regard vers le cosmos" présente les notions fondamentales (étoiles, planètes) au niveau 4° ; "à ciel ouvert" est une séance de planétarium classique sans bande enregistrée ; les "découvreurs" s'adresse aux élèves de lycée. "l'aveugle aux yeux d'étoiles" est un conte destinée aux élèves de grande section, de CP et de CE1, qui montre que les apparences sont trompeuses et que le ciel peut être lu ; "destinations planètes" et "la Lune" sont aussi créés en 94. En 95 : "le Ciel Buissonnier" parle des mouvements de la Terre. "les Comètes" déjà évoqué plus haut, ainsi que "l'Oreille dans les étoiles", adaptation d'un CD de Daniel Kühn, sont proposés en 97.

Les spectacles en préparation pour 98 sont "Mars" et "Les étoiles". Paradoxalement ce dernier sujet, entre astrophysique et mythologie est difficile à présenter dans un planétarium. Pour ne pas noyer le public sous un flot d'informations un corps principal général et simple a été constitué et des approfondissements à la carte sont proposés. Evry Schatzman a collaboré à ce travail avec sa simplicité et sa gentillesse habituelles. "Le temps" est un projet pour l'an 2000 avec la collaboration d'autres pays d'Europe (Espagne, Belgique (Flandres), Danemark, Italie et la participation de J.L.Héridier et de Françoise Suagher et bien sûr l'utilisation d'Internet.

Le bilan après quatre ans :

Le type d'accueil est le même (il faut toujours une information préalable) ; il y a une forte intervention de l'animateur et un souci d'évaluation et d'adaptation de ce qui est proposé. Avant la séance on peut visiter le hall où l'on peut trouver des notions de base et une actualité (collecte d'information avec Internet et mise en forme).

Le Planétarium a reçu la visite de plus de 80 000 élèves (55%primaire, 25%collège, 20%lycée). On peut remarquer que :

- la curiosité des élèves est un élément favorable
- les notions du "programme" sont plus difficiles que prévu
- l'apprentissage est fait de répétitions !
- le spectaculaire a des atouts mais aussi des limites
- la préparation par les enseignants, surtout en primaire, est un survol des notions, plus qu'un réel effort pour cerner quelques points majeurs (les documents CLEA sont proposés mais pas toujours perçus comme matériaux de base).
- la simulation astronomique conserve un impact visuel et pédagogique mais l'observation du "vrai ciel" reste une démarche encouragée.
- dans certains cas notre volonté d'un travail plus en profondeur, sur demande, avec certaines classes se concrétise et nous sommes en train de créer des séquences courtes pour traiter un thème précis en deuxième partie de séance (travail à la carte, renforcement de la qualité visuelle).

◆ Simone Ménard, professeur relais dans un lycée, explique ensuite le travail effectué avec le Planétarium. Une formation des enseignants de toutes disciplines et de documentalistes est organisée sur la Lune, les distances, les constellations (spectacle, initiation, complément, présence de la documentation CLEA et de quelques maquettes).

Le but est de fidéliser les enseignants pour qu'ils envoient leurs élèves. Les enseignants les plus touchés sont ceux de collège et de lycée et il est tenu compte des niveaux et des programmes. Un bulletin avec toutes les informations et les manifestations est envoyé. On rencontre quelques difficultés : quand un enseignant dans un lycée s'y connaît en astronomie, les autres lui laissent tout faire. De plus, il est difficile de motiver les jeunes collègues il est difficile de motiver les jeunes collègues.

◆ Claude Piguët nous parle du Centre de Ressources qui est en train de se créer au lycée de Vaulx en Velin, à côté du Planétarium. Le rectorat a offert 7h d'enseignement pour l'animation du Centre. On y propose une documentation pédagogique, des maquettes du CLEA, des observations sur un site Internet. Enfin, le CRDP organise la mise en place de mallettes thématiques sur les trois niveaux..

◆ Philippe Merlin de l'observatoire de Lyon, présente la formation dans le cadre de la MAFPEN. Depuis 1987 des stages sont mis en place pour les enseignants de lycée et de collège (repérages, mouvements, lumière et spectroscopie), en utilisant l'informatique et l'imagerie électronique. A chaque nouveau stage sont produits des documents diffusés sur place ou par le réseau de la page Web de l'Observatoire de Lyon (<http://www-obs.univ-lyon1.fr/~fc/>). L'observatoire de Lyon a pour projets l'extension de la base de données spectroscopiques avec les expériences de chaque nouveau stage, la diffusion des textes des cours faits pendant les stages, la facilitation des relations entre les enseignants par le courrier électronique, l'hébergement sur Internet et le support du Centre de ressources astronomiques au lycée de Vaulx en Velin.

Claude Piguët, 122, rue Hénon 69004 Lyon • Philippe Merlin, Observatoire de Lyon 69561 Saint-Genis-Laval

◆ Et pour finir, jusqu'à 16h30, la fête : les 20 ans du CLEA et l'hommage à Gilbert

Cette rencontre, riche en informations et en échanges s'est terminée dans la joie et l'amitié : la "chanson de Syzygie", écrite par Annie Pincaut, accompagnée par Daniel Bardin à la guitare et reprise par toute l'assemblée, les cadeaux à Gilbert, le discours de Victor qui s'était déplacé pour saluer son ami, les diapos souvenirs.

Gilbert avait demandé à quelques uns d'entre nous de chercher un "mot" pour caractériser le CLEA.

Jean-Paul, qui n'a pas pu venir, a participé en proposant : enthousiasme, passion, ouverture, espoir, avenir, persévérance, nouveau , renaissance ; certains de ses élèves proposeraient plutôt : super, hyper, génial, cool, sympa !

Lucienne a choisi : amitié et Fritz a préféré le mot breton "Fiskal" qui se dit d'un travail bien fait, bien terminé. Quant au choix de Gilbert il est explicité page 80...

◆ Le conseil du CLEA pour 1997-98 est élu à l'unanimité des 56 votants

Agnès ACKER (Strasbourg) ; Daniel BARDIN (Aix-Marseille) ; Francis BERTHOMIEU ; Martine BOBIN ; Lucette BOTTINELLI ; André BRAHIC ; Pierre CAUSERET (Dijon) ; Jean CAPELLE (Clermont-Ferrand) ; Frédéric DAHRINGER (Rennes) ; Françoise DELMAS ; Christian DUMOULIN (groupe Inter-IREM) ; Jacques DUPRE ; Bernadette DURIEUX (Nancy-Metz) ; Marie-France DUVAL (Marseille) ; Maryse FAIDI Jean-Luc FOUQUET (Poitiers) ; Christiane FROESCHLE (Nice) ; Michèle GERBALDI ; 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 ROSENTHIEL (Nantes) ; Béatrice SANDRE (Versailles) ; Nicole SANGLERAT ; Liliane SARRAZIN (Bordeaux) ; Evry SCHATZMAN ; Josée SERT (EAAE) ; Françoise SUAGHER (Besançon) ; Daniel TOUSSAINT (Reims) ; Victor TRYOEN ; Michel VIGNAND (La Réunion) ; Catherine VIGNON (Paris) ; Denise WACHEUX (Lille) ; Gilbert WALUSINSKI. ■

Organisation du Clea

à partir du 23 novembre 1997

Gilbert, qui depuis vingt ans, assure le secrétariat et la trésorerie du CLEA et la composition des CC, souhaite commencer une nouvelle retraite. Bien sûr, il reste membre du comité de rédaction, responsable de la rubrique "lectures pour la Marquise" et notre spécialiste en histoire des sciences. Personne ne pouvant assumer seul les responsabilités qu'il exerçait, il a fallu se répartir les tâches :

Catherine Vignon devient trésorière et s'occupe des abonnements et de la gestion des commandes et des paquets.

Jacky Dupré met à jour le fichier CLEA. Il règle aussi tous les problèmes techniques d'informatique avec bonne humeur...

Le comité de rédaction est constitué de Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Martine et Michel Bobin, Lucette Bottinelli, Pierre Causeret, Jacky Dupré, Michèle Gerbaldi, Lucienne Gouguenheim, Georges Paturel, Jean Ripert, Jean-Paul Rosensthiel, Daniel Toussaint, Michel Toulmonde et Gilbert Walusinski. Martine Bobin en est la coordinatrice.

Sophie Durand qui a élaboré la nouvelle maquette des CC en assure la mise en page. Elle assure aussi la fonction de secrétaire : elle s'occupe de la réception et de la redistribution du courrier, des rappels pour les retards, (soyez gentils de vous réabonner à temps pour lui éviter un surcroît de travail et pour limiter les dépenses en timbres) et de la convocation à l'A.G.

<p>Une seule adresse : CLEA, Lab. d'Astronomie Bât 470, Université de Paris-Sud, 91405 Orsay CEDEX</p>

De la nouvelle maquette...

L'objectif est d'atteindre une clarification des Cahiers Clairaut grâce à une maquette moderne et homogène. J'ai travaillé sur la nouvelle maquette en gardant à l'esprit un point fondamental. Toute nouvelle qu'elle soit, une maquette se doit de servir et de mettre en avant l'esprit du CLEA : son sérieux et sa convivialité.

Par souci de reconnaissance et de visibilité, j'ai associé à chaque rubrique (qui ont été présentées dans le numéro 78) un dessin particulier. Ces minis logos mettront en avant la structure des CC.

Le grand changement sera de passer d'un texte linéaire pleine page à un texte en colonnes (2 en début d'articles, 3 pour la suite). On devra atteindre un plus grand confort de lecture. Les dessins pourront être mieux intégrés et de façon plus variée. Ils sont déjà tous repris en DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et seront encadrés. Un système de filet viendra jouer dans le texte afin d'apporter une variété dans la maquette et de mieux conduire l'œil. Chaque article aura la même structure : une rubrique et son logo, son titre et ses indications, un auteur, un chapeau et des intertitres.

Les nouveaux CC auront la même quantité d'informations. La nouvelle maquette apparaîtra pour le numéro 81. Dans cette attente bonne lecture.

S. Durand ■

Vous souhaitez nous envoyer un article

FORMAT

- Si vous êtes équipé(e) en informatique, nous gagnerons du temps.
- Sinon, nous avons un scanner et nous pouvons occasionnellement (re)taper un article.
- Le MAC du CLEA a la possibilité de lire tous les formats de traitement de texte.
- Si vous avez un PC, choisissez si possible Word 6. Sinon nous pourrons utiliser un PC pour enregistrer Word pour MAC.
- Envoyez toujours un exemplaire papier avec la disquette.

Proposez-nous :

- un titre de préférence assez court et évocateur
- un chapeau explicatif permettant de préciser le contenu du texte ; il peut-être aussi écrit par le membre du comité de rédaction qui aura lu l'article.
- des intertitres : plus la structure est apparente, plus la maquette sert le texte.
- des indications sur la rubrique et sur le niveau d'enseignement visé.
- des précisions sur les détails (réalisez les gras et les soulignés, les sauts de ligne que vous souhaitez).

TEXTE

DESSIN

- Les dessins sont tous repris sous informatique par la méthode du «calque».
 - Choisissez de préférence une grande taille pour l'original (maximum A4).
- N'oubliez pas les légendes et les titres.

Vous pouvez envoyer votre article à un des membres
du comité de rédaction ou à l'adresse suivante :
CLEA, lab. d'Astronomie, bât 470
Université de Paris-Sud, 91405 Orsay Cedex

La question posée :

Quel mot choisiriez-vous pour caractériser l'action du CLEA depuis 20 ans, mot qui devrait pouvoir servir d'enseigne à l'action du CLEA dans les années à venir ?

Les données du problème :

Elles concernent l'enseignement de l'astronomie, hier, aujourd'hui et demain.

HIER : un regard ému, nostalgique et critique sur la cosmographie qui fut enseignée aux anciens dans leur jeunesse ; on ignorait l'astrophysique, la cosmo était souvent mal enseignée par le prof de math non ou mal préparé.

AUJOURD'HUI : c'est à dire depuis 20 ans, trois mots à retenir :

Grenoble 1976 : une journée réunissant astronomes et enseignants, la promesse d'une action commune en commençant par le commencement, la formation des maîtres.

Lanslebourg 1977 : promesse tenue avec la première école d'été d'astronomie ; souvenir inoubliable des

journées bien remplies selon un modèle qui sera imité et

perfectionné, des

cours théoriques présentés dans la bonne humeur, des applications pratiques passionnantes, des observations diurnes et nocturnes jusqu'à épuisement des stagiaires.

CAHIERS CLAIRAUT ET CLEA : idée d'une revue

périodique de liaison et d'échange entre anciens stagiaires des écoles d'été ; promotion des méthodes actives dans l'enseignement de l'astronomie, promotion mise sous le patronage de Clairaut, ce savant mathématicien qui s'intéressa à l'enseignement élémentaire (sa géométrie pour les commençants) et sut conseiller de près la Marquise du Châtelet dans sa traduction de Newton. Après la revue, idée d'une association selon la loi de 1901 pouvant être reconnue comme interlocuteur qualifié sur les problèmes d'enseignement de l'astronomie.

Vous savez ce qui s'ensuit ...

Un résultat dérisoire si on compare le nombre des abonnés, à peine mille, et le nombre des enseignants qui pourraient avoir avantage à s'abonner.

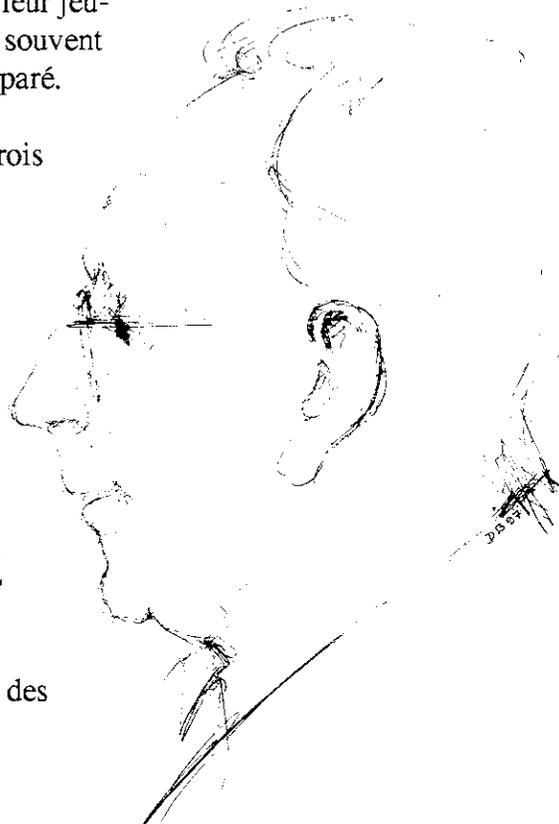
Un petit pas en avant, pourtant si on prend en compte une action menée de la Maternelle à l'université et en contact avec la science vivante.

Une science naïve, familière, plaisante, enjouée, et, pour ainsi dire folâtre comme celle de Montaigne vue par Pascal. Et surtout, dogmatique sur rien.

Alors, le mot à retenir serait-il renaissance d'un enseignement élémentaire actif ? Oui, RENAISSANCE ne serait pas mal, mais je préférerais PALINGENESIE qui exprime mieux que nous voulons faire vivre la science dans les esprits des jeunes, dans les esprits en pleine genèse.

ET DEMAIN ? Une palingénésie sans fin.

G.W. ■



Le Mot

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
- D8. Comètes

Filtres colorés et réseaux

- FCR. Six feuilles de filtres colorés et une feuille de réseaux (70F-75F) (65F pour les abonnés)

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

chaque fascicule : 30 F, 35 F

- 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

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 1997 :

Cotisation simple au CLEA pour 1997	30 F
Abonnement simple aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n° 77 à 80	120 F
Abonnement aux <i>CAHIERS CLAIRAUT</i> n°77 à 80 ET cotisation au CLEA pour 1997	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°76 (1200 F- 1300 F)

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

C90. à C96. (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 Bérengère, 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

Dépot légal 1er trimestre 1979

Imprimerie Hauguel, 92240 Malakoff

Numéro d'inscription CPPAP 61660