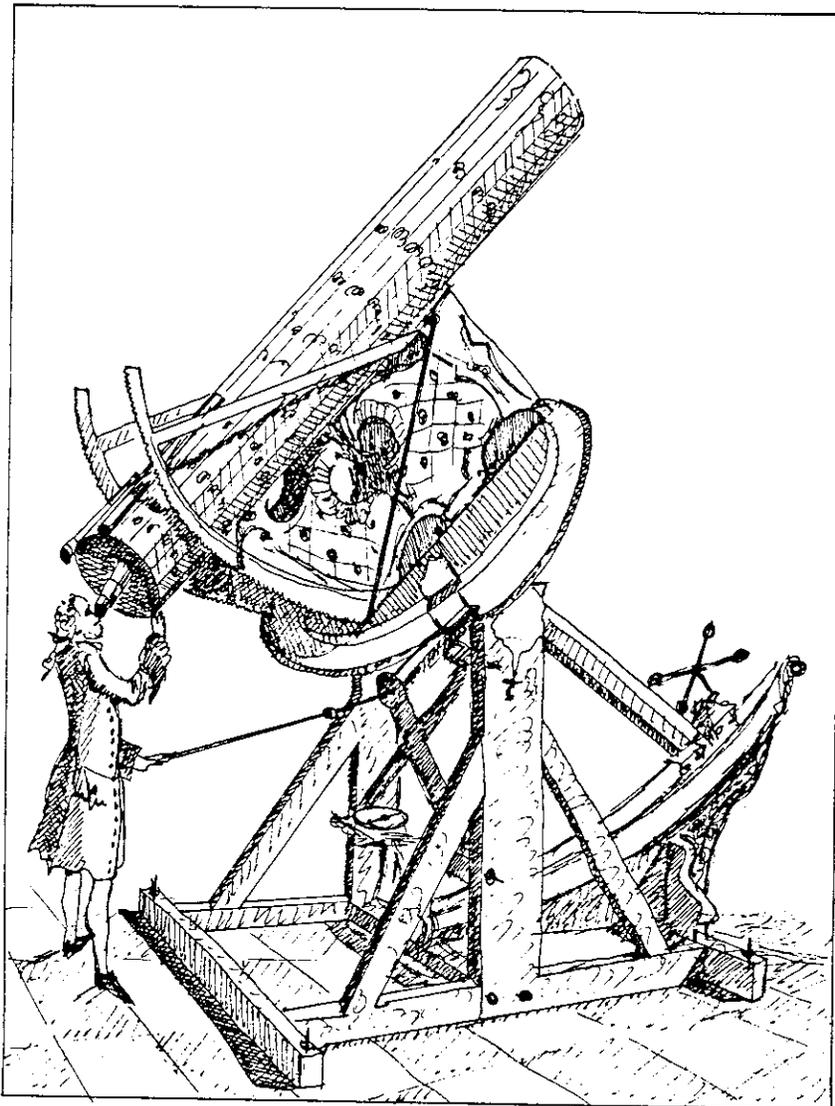


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°38 - automne 1987

	P
L'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg	3
L'enseignement des constellations.....	6
Un spectrographe pour le T60	7
Notre étoile soleil	14
Au Sénégal entre Soleil et Lune	15
Des élèves pour l'astronomie (suite)	19
Lectures pour la Marquise	21
Les potins de la Voie lactée.....	26
Dessine-moi l'écliptique	27
Mouvement apparent du Soleil vu depuis une planète	29
Concours général de Sciences physiques 1987	31
Brève rencontre avec Jean-Baptiste Biot	37
Courrier des Lecteurs	38
Une sphère armillaire	39
Chronique du CLEA	41

EDITORIAL

L'équipe CLEA animée par Daniel Bardin présente le spectrographe construit pour le télescope de 60 cm de l'observatoire du Pic du Midi, Jean-Marie Poncelet nous raconte l'horloge astronomique de sa ville de Strasbourg, André Simon comment il enseigne les constellations, Nicoletta Lanciano son voyage au Sénégal, Jean-Paul Rosensthiel nous fait dessiner l'écliptique et Michel Toulmonde imaginer le mouvement apparent du Soleil depuis une autre planète. Jean Ripert, lui, nous révèle les secrets de sa sphère armillaire...pliable, que les participants des dernières écoles d'été ont déjà eu l'occasion de discuter: quelle réduction d'encombrement ! Gilbert Walusinski s'est procuré pour vous le texte du problème de sciences physiques du concours général 1987 (... et sa solution !), histoire de vous montrer que l'astronomie peut quelquefois être utile ... Merci à tous de leur collaboration à ce numéro.

L'assemblée générale du CLEA en janvier 1987 a décidé d'aligner l'année des Cahiers Clairaut sur l'année civile (encore une réforme de calendrier !): nous devons donc sauter non pas 11 jours mais un trimestre, et notre prochain numéro, celui de l'hiver 1987-1988 sera un numéro double. Nous envisageons aussi un contenu double et faisons appel aux auteurs pour nous aider à faire de ce numéro de l'an 10 des CC un petit évènement.

L'assemblée générale voit donc aussi sa date modifiée (voir la chronique du CLEA, page 41). Nous éviterons peut-être ainsi les grands froids qui rendent parfois difficile le voyage à Paris. Partisans du samedi ou du dimanche pour cette assemblée générale s'équilibrent numériquement et, après consultation du bureau, nous avons décidé de revenir au samedi, après avoir choisi le dimanche deux années de suite. Retenez donc :

ASSEMBLEE GENERALE DU CLEA, samedi 21 novembre 1987

La Rédaction

L'horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg

La visite de l'horloge de la cathédrale de Strasbourg est passionnante, quel que soit le niveau des connaissances que l'on ait en astronomie.

Il y a le côté récréatif avec tous les automates : les chars des jours de la semaine, le défilé des apôtres devant le Christ à "midi", le défilé des quatre âges devant la mort tous les quarts d'heure, l'ange qui sonne les quarts d'heure, l'ange qui retourne le sablier, le coq qui chante trois fois à "midi". Il y a toutes ces magnifiques peintures avec entre autres la déesse Urania, un portrait de Copernic, un portrait de J.B. Schwilgué l'auteur de cette horloge, les quatre saisons...

Et il y a le côté astronomique : tous ces cadrans qui donnent des heures, toutes différentes les unes des autres ("à la bonne heure, je viens d'en trouver un qui a la bonne heure"), le planétaire héliocentrique, le globe lunaire avec la phase de la Lune, le globe céleste au premier plan entouré d'un faisceau de cercles (équateur, écliptique, horizon, méridien), l'immense calendrier au centre du rez-de-chaussée et puis deux vitrines, l'une à droite du calendrier, l'autre à gauche, pleines de roues dentées emmêlées les unes dans les autres. Et au-dessus de chacune, ces deux inscriptions :

- équations solaire et lunaire ;
- comput ecclésiastique (qui restèrent longtemps un mystère pour moi).

Enfin, à droite de l'horloge, on contemple cette oeuvre d'architecture qu'est l'escalier en colimaçon permettant l'accès aux différents étages de l'horloge et réservé à de rares personnes.

Chargé récemment par le Planétarium de Strasbourg de réaliser un montage audio-visuel sur cette magnifique oeuvre mécanique et astronomique, j'ai eu le rare privilège de franchir cette grille qui sépare le visiteur de l'horloge, d'emprunter l'escalier et de découvrir les secrets de cette merveilleuse mécanique. L'étude des livres de Schwilgué et de Th. Ungerer chargé de l'entretien de l'horloge au début du XX^{ème} siècle m'a enfin permis d'éclaircir le mystère de ces vitrines, et beaucoup d'autres...

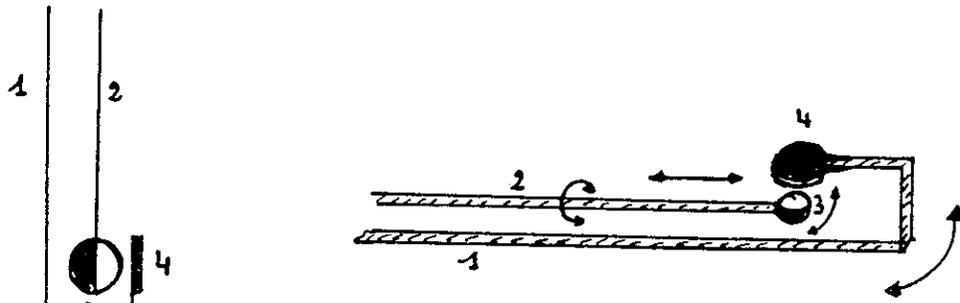
Les équations solaires et lunaires

Au centre du calendrier de l'horloge, l'hémisphère Nord de la Terre est coupé en deux, verticalement, par le méridien de Strasbourg. Autour de cet hémisphère (pris comme centre) tournent quatre aiguilles :

- la première aiguille indique le temps solaire vrai ;
- la seconde indique la position de la Lune dans son mouvement apparent autour de la Terre. Cette aiguille fait un tour complet en un jour lunaire (soit 24h 50mn 28s et quelques millièmes d'après les calculs de l'inventeur Schwilgué). De plus, elle pivote sur elle-même autour de son axe longitudinal de telle sorte que la petite boule "lune" située à son extrémité, mi-argentée mi-noire, indique les phases de la Lune. Une rotation se fait en un mois synodique (soit 29j 12h 44mn 2s...). Cette même aiguille s'allonge ou se raccourcit suivant les variations de la latitude de la Lune et peut, par ce phénomène de translation, indiquer les éclipses de Soleil ou de Lune: la boule lunaire se superpose alors à celle du Soleil pour une éclipse solaire, ou vient se placer derrière un cache circulaire situé à l'opposé du Soleil sur l'aiguille solaire (ce cache figurant l'ombre projetée de la Terre).

Bien sûr, lors d'une Nouvelle Lune ou d'une Pleine Lune sans éclipse, la boule lunaire est soit au-dessus, soit en-dessous du Soleil et du cache,

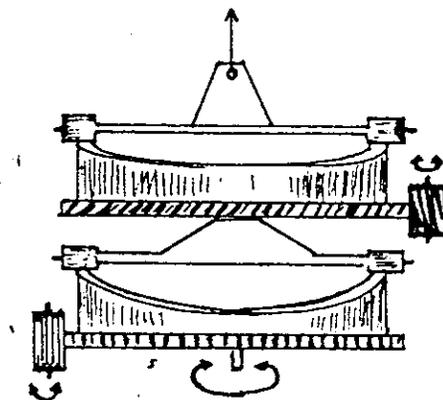
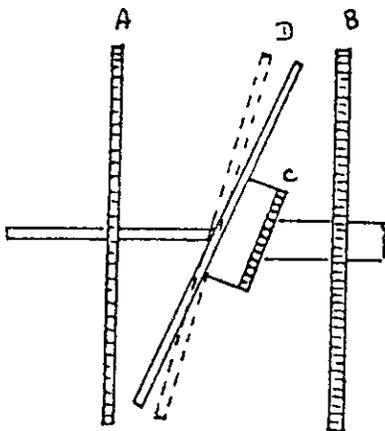
dans le sens des aiguilles, celles-ci étant superposées.



- 1 Aiguille solaire
- 2 Aiguille lunaire
- 3 La Lune
- 4 Cache circulaire

Lors d'une éclipse, la Lune doit avoir la même latitude que le Soleil, or l'orbite de la Lune fait un angle d'environ 5° avec l'écliptique. Souvent, lors d'une Pleine Lune ou d'une Nouvelle Lune, la Lune est "en-dessous" ou "au-dessus" du Soleil et du cône d'ombre de la Terre. Quand il y a éclipse, la Lune est à l'un des noeuds de son orbite. Sa position correspond à une conjonction ou à une opposition. Il faut donc donner à l'aiguille lunaire un mouvement très complexe pour tenir compte de toutes ces données. De plus, il s'agit de projeter ce mouvement de la Lune sur le plan de l'équateur céleste. Il faut donc tenir compte de l'obliquité de l'écliptique par rapport à l'équateur. L'inclinaison de l'orbite de la Lune par rapport à l'équateur varie entre 18° et 28° . Jean-Baptiste Schwilgué a inventé des mécanismes ingénieux pour obtenir une représentation fidèle des mouvements complexes de la Lune et du Soleil.

Le problème de l'inclinaison est résolu par la fameuse roue lunaire oblique située, à l'arrière de l'horloge, dans un assemblage de plusieurs dizaines de roues dentées, axes et pignons.



La roue dentée lunaire

- A et B : roues parallèles à l'équateur
- C : roue parallèle à l'écliptique
- B : roue lunaire

Cylindres superposés

Les autres problèmes d'irrégularités des mouvements, dont les solutions mécaniques permettent d'accélérer ou de ralentir la marche des aiguilles lunaires et solaires (la vitesse angulaire de ces aiguilles n'est pas constante), sont traitées dans un ensemble constitué de trois colonnes cylindriques

placées dans la vitrine de droite de l'horloge, vitrine appelée "équations solaires et lunaires".

Chacune des principales irrégularités des mouvements du Soleil ou de la Lune est représentée par une courbe dessinée deux fois sur un cylindre dont la base est dentée et la partie supérieure découpée suivant la courbe dessinée, partie supportant le cylindre du dessus. Un tour de cylindre correspond donc à une double période. Dans la partie supérieure de chaque colonne, on obtient, par cette superposition, la résultante des irrégularités traitées en dessous. Certaines irrégularités sont simplement rattrapées autour des cylindres par des dents inclinées (au lieu d'être verticales).

La vitrine comporte trois colonnes cylindres. La première, relative au Soleil, est constituée de deux cylindres corrigeant deux influences perturbant la marche de l'aiguille solaire (il s'agit d'obtenir l'heure solaire vraie à partir de l'heure moyenne) ; le cylindre inférieur corrige l'anomalie terrestre dont la durée (période) est égale à l'année anomalistique et le cylindre supérieur réduit la longitude en ascension droite (un tour de cylindre en deux années tropiques).

Comme il y a plus d'une centaine d'influences perturbatrices dans le mouvement de la Lune, Schwilgué n'en a retenu que quelques unes traitées par les cinq cylindres superposés de la deuxième colonne : l'anomalie, l'évection, la variation, l'équations annuelle et la réduction :

- l'anomalie lunaire est semblable à l'anomalie terrestre, elle est due à l'excentricité de l'orbite ;
- l'évection est la perturbation due à la position du Soleil et aux positions de la Terre à l'aphélie et au périhélie ;
- la variation résulte de la combinaison de forces perturbatrices d'attraction du Soleil ; elle dépend des positions de conjonctions et d'oppositions de la Lune ;
- l'équations annuelle due à l'excentricité qui, à cause de la variation des distances, modifie l'attraction de la Terre et du Soleil sur la Lune ;
- la réduction est l'opération de passage de la longitude écliptique de la Lune à son ascension droite.

La troisième colonne, comportant un seul cylindre, tient compte de la rotation de la ligne des noeuds de l'orbite de la Lune. Cette rotation a une période de 6 798 jours 6 heures 41 minutes 50 secondes, soit environ 18,6 ans.

Les résultantes des trois colonnes sont transmises, à l'arrière de l'horloge, au mécanisme central, par une série de roues, de tringles de berceaux...

Les deux autres aiguilles, ayant une position symétrique par rapport au midi vrai, indiquent, l'une, l'heure du lever du Soleil, l'autre, l'heure de son coucher.

(à suivre)

Jean-Marie Poncelet

En 1574, avant la fin des travaux d'édification de la deuxième horloge astronomique de la cathédrale de Strasbourg, Josias Habrecht, jeune frère de Isaac Habrecht maître horloger chargé de la fabrication et du montage des pièces mécaniques, passe son brevet de maîtrise en horlogerie. Il construit une horloge à sphère armillaire, véritable chef d'oeuvre de mécanique de précision.

En 1575, il rencontre Tycho Brahé de passage à Strasbourg et lui offre son oeuvre. Le célèbre astronome danois en fit don, par la suite, à son protecteur le roi Frédéric II du Danemark qui, pour l'aider dans son travail d'observation lui fit ériger le château d'Uraniborg, sur l'île de Hveen, en 1576.

L'enseignement des constellations

Objectif Repérer facilement les groupements d'étoiles ou de constellations.

L'activité essentielle d'un club d'astronomie est bien sûr l'observation du ciel étoilé. En milieu scolaire, l'éloignement de certains élèves et les transports scolaires gênent la mise en place d'observations nocturnes régulières. Pour ne pas léser ces passionnés d'astronomie, un animateur doit nécessairement apprendre à retrouver facilement les constellations. La méthode suivante remporte un vif succès auprès des élèves inscrits dans le club astronomique du collège de Kerpaour (Grâces, 22205 Guingamp). Elle consiste en complément vivant de la carte céleste tournante qui ne rassemble, elle, que les étoiles les plus brillantes.

Matériel nécessaire à l'animateur Un rétroprojecteur et deux séries de transparents. Chaque transparent de la première série représente une région donnée de la voûte étoilée et rassemble toutes les étoiles jusqu'à la cinquième magnitude. La deuxième série montre ces mêmes étoiles reliées par les lignes qui forment les constellations. Pour la représentation de ces dernières, j'ai retenu la nouvelle méthode graphique tirée de l'ouvrage de H.A.Rey "Sachez lire les étoiles" ; elle les représente sous les formes évoquées par leurs noms. Dans ces transparents on trouve les noms des étoiles et des constellations, les alignements caractéristiques et les objets célestes les plus connus. On y trouve aussi la couleur des étoiles de faible magnitude.

Matériel indispensable aux élèves Une règle, des crayons de couleur et huit chemises cartonnées, rouges de préférence.

Animation de la séance Les élèves observent, par projection sur un écran, le transparent de la première série et recherchent des groupements d'étoiles; une photocopie de ce transparent est remise aux élèves.

Il faut ensuite prendre le transparent de la deuxième série qui représente la même région céleste et le superposer au premier. Les élèves notent toutes les informations données par ce second transparent et dessinent les constellations. Une même constellation se trouvera sur plusieurs transparents, aussi est-il conseillé de lui associer toujours la même couleur. La couleur réelle des étoiles de faible magnitude est utilisée pour encadrer leur nom.

Les élèves collent ensuite leur photocopie sur une feuille de chemise cartonnée puis percent au niveau des étoiles, la taille du trou étant proportionnelle à l'éclat de l'étoile ;

La séance s'achève en disposant la feuille ainsi perforée sur le rétroprojecteur. Les étoiles sont observées directement sur le mur.

Utilisation de ce matériel lors des observations nocturnes Il faut tenir la feuille cartonnée ainsi percée comme une carte céleste tournante, c'est à dire au-dessus de la tête, tout en respectant les points cardinaux. Une lampe de poche allumée derrière cette feuille permet l'observation des points brillants correspondant aux étoiles. Il est conseillé de rougir le verre de la lampe, l'oeil humain étant moins sensible au rouge. Il ne reste plus qu'à comparer avec le ciel étoilé.

BIBLIOGRAPHIE

- Sachez lire les étoiles, H.A.REY, éditions Maritimes et d'Outre-Mer, 1980.
- Astronomie : Guide de l'amateur, Antonin KUHL, éditions Gründ.
- Thèmes d'Activités astronomiques, C.DUMOULIN, bulletin Inter-IREM
- Observer les étoiles, Pierre KOHLER, éditions Ouest-France.
- L'Univers astronomique, Agnès ACKER, collection Planétarium de Strasbourg.
- Carte du ciel, édition ATLAS.

André Simon

- UN SPECTROGRAPHE POUR LE T 60 -

I Introduction:

Depuis la fin de 1984, et au cours de quatre missions au Pic du Midi, un spectrographe a été élaboré et mis au point par Daniel Bardin et plusieurs de ses collègues du C.L.E.A.

Le prototype fonctionne correctement; de plus, un nouvel appareil, financé conjointement par l'Association T 60 et par le constructeur, est en cours de réalisation. Ce spectro sera disponible au sommet dans le courant de 1987; il pourra être utilisé à tout moment par les missions d'amateurs qui auront programmé des recherches dans ce domaine.

II Les caractéristiques de l'appareil:

- fente métallique réglable;
- lentille de champ;
- collimateur de $F=200\text{mm}$ à $f/3,5$;
- réseau par transmission Jobin & Yvon, $100 \times 100\text{mm}$, 600 traits/mm ; un second réseau, identique mais à 1200 traits/mm, pourra être envisagé pour le travail à plus haute résolution;
- lampe de référence à l'argon pour le calibrage des longueurs d'ondes avec son alimentation H.T.;
- balayage de l'étoile dans la fente (pour élargir les spectres) grâce à un miroir oscillant à pas variable;
- lunette de visée et de centrage pour contrôle du suivi, devant la fente polie;
- installation électrique, éclairages et tableaux de réglages divers;
- les chambres photo seront, dans un premier temps, les 24×36 apportés par les amateurs; les boîtiers de toutes marques, équipés de focales allant jusqu'à 300mm , peuvent être montés sur la platine pivotante permettant le centrage du domaine spectral choisi.

Un objectif de chambre (150 à 200mm de focale à $f/2$ ou $2,8$) muni d'une bague T pourra, dans un second temps, permettre des travaux à moyenne ou haute résolution grâce à ses qualités optiques.

Le spectro fonctionne, en mode stellaire ou nébulaire, aux résolutions de 10 nanomètres/mm ou 5nm/mm environ, cela dépendant évidemment du réseau et des focales de chambre.

La magnitude limite se situe, au Pic, aux alentours de $9,5$ ou 10 sur film photographique; avec un objectif de chambre de 135mm à $f/2,8$, (donc un peu trop petit pour récupérer toute la lumière issue du collimateur), la magnitude 6 est atteinte en 30 minutes à 12nm/mm sur film $2415 + \text{AgNO}_3$. Un récepteur C.C.D. améliorerait très nettement ces performances; à notre connaissance, une équipe d'amateurs a testé un autre

spectro équipé en C.C.D. au début de Novembre 1986, mais nous ne connaissons pas les résultats obtenus.

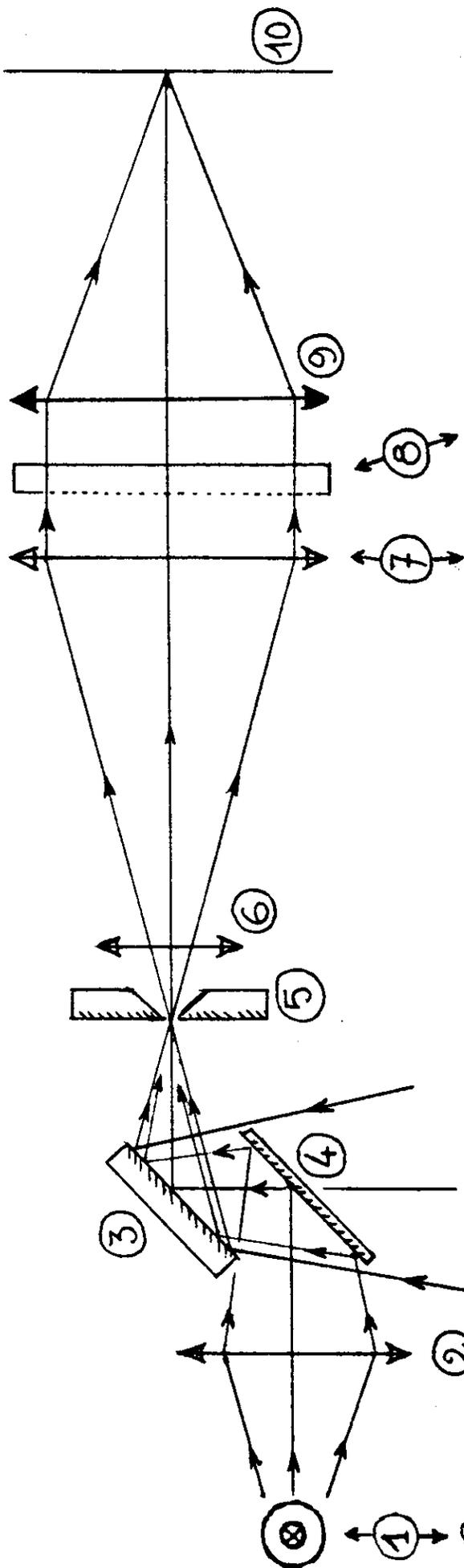
III D'ores et déjà, il serait, à notre avis, souhaitable que les équipes d'amateurs prévoient les thèmes de recherches en liaison avec cet appareil. Pour citer quelques idées directrices, nous pouvons indiquer:

- tests de sensitométrie spectrale, N&B ou couleur, en relation avec l'effet Schwartzchild;
- classification fine de spectres;
- toutes variations dans les spectres: étoiles variables, étoiles à raies en émissions, renforcements ou affaiblissements de raies dus à des variations dans les conditions régnant à la surfaces des astres, doubles spectroscopiques, étoiles à abondances anormales, astres à débit énergétique élevé, etc...;
- décalages spectraux et vitesses radiales;
- nébuleuses planétaires, nébuleuses diffuses, régions H II brillantes, comètes, novae, avec possibilités de comparaisons fines et de classification.

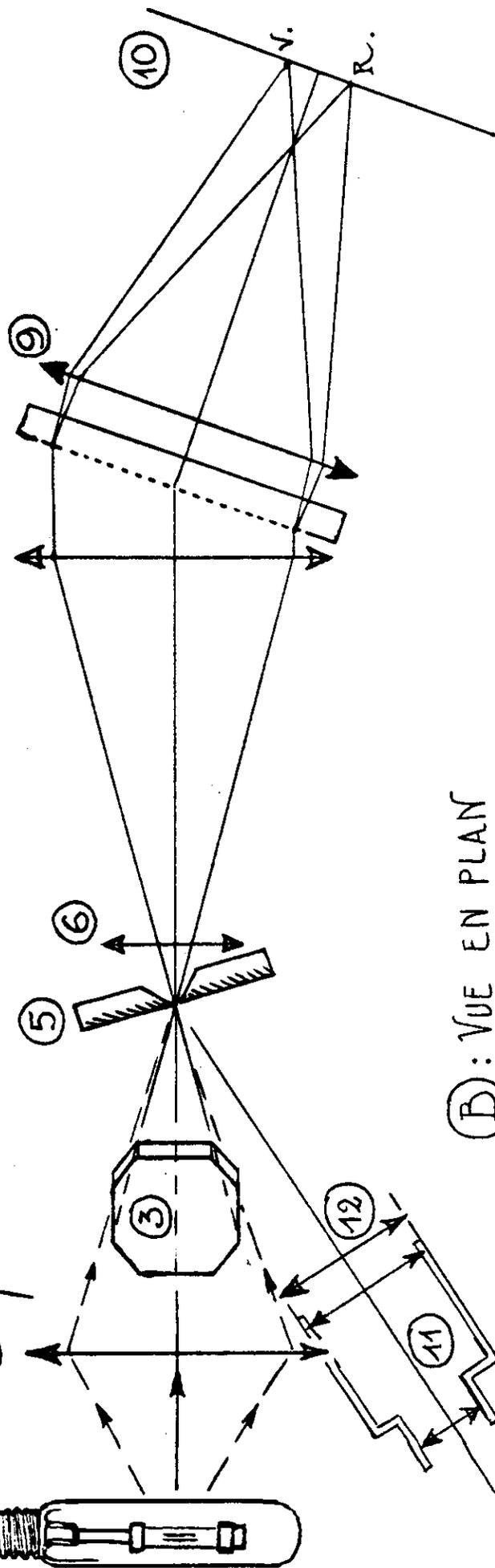
IV Notes techniques relatives aux schémas:

- 1: lampe à argon;
- 2: lentille focalisant le faisceau sur la fente et assurant la couverture du collimateur 7;
- 3: miroir oscillant assurant le balayage des étoiles dans la fente 5; la position correcte de celle-ci est indiquée sur la vue en plan; le balayage a donc lieu en α , puisque le spectrographe est installé dans le même plan que la platine porte-oculaire;
- 4: miroir amovible par translation et ne servant qu'au moment de la prise du spectre de référence;
- 5: fente à miroirs polie à $\lambda/10$;
- 6: lentille de champ, simple, fournissant l'image de la pupille d'entrée du télescope sur le collimateur;
- 7: collimateur ouvert à 3,5; il éclaire le réseau d'un faisceau parallèle;
- 8: réseau de diffraction;
- 9: objectif(s) de chambre;
- 10: film;
- 11: lunette de centrage et de poursuite;
- 12: collimateur de la lunette de visée.

(A) : VUE DE PROFIL



(B) : VUE EN PLAN



Notes relatives à quelques résultats:

Les photos présentées ici proviennent de clichés réalisés au cours de la mission du 28 Octobre au 1er Novembre 1986.

Ces tirages ont été faits sans précautions particulières; un travail de laboratoire plus fin, en particulier par contretypage sur des émulsions appropriées, montrera mieux les détails dans les régions surexposées.

Les raies du spectre de référence proviennent d'une lampe à argon (réf. 93 100 de Philips).

Les longueurs d'ondes de l'argon se trouvent dans un document édité par Mc Graw-Hill (New-York): American Institute of Physics Handbook, chapitre 7g, Important atomic spectra, Crosswhite & Dieke.

Les longueurs d'ondes des spectres ont été estimées par, au moins, deux mesures différentes sur les tirages. Ultérieurement, un appareil à mesurer les spectres, récupéré à l'observatoire de Marseille, servira à travailler directement sur les négatifs, ce qui est plus rigoureux.

Un tableau récapitulatif permet de tirer plusieurs leçons de ces clichés:

	Objets	Magnitudes	Spectres	Poses	Objectifs (focales et F/D)	Pellicules	Traitements
A	BU Tau	4,8 ↔ 5,5	B8 IV pe	20 mn	135mm;2,8	103 a 0	D 19 5mn 20°
B	ζ Tau	3	B1,5 IV	10 mn	"	"	"
C	η Tau	2,6	B7 III	8 mn	"	"	"
D	Néb.d'Ori."5"		émission	30 mn	"	"	"
E	β Ori	0,1	B8 Ia	3 mn	240mm;4,5	"	"
F	α Ori	0,4 ↔ 1,3	M2 Iab	1 mn	135mm;2,8	2415	idem + hyper
G	μ Gem	2,8 ↔ 3	M3 III	10 mn	"	"	AgNO ₃ 6mn
H	ζ Tau	3	B1,5 IV	8 mn	"	"	"

Un premier groupe (de A à E) regroupe des spectres pris sur 103a0, c'est à dire dans la partie bleue, alors que le groupe de F à H montre des spectres pris avec la 2415. La finesse de la seconde pellicule n'est plus à démontrer; cependant, la sensibilité élevée de la 103 autorise l'absence de traitement préalable au nitrate d'argent (qui serait, ici, sans grand effet, puisque son action reste plus prononcée sur les films sensibles au rouge).

Les limites enregistrées en UV tournent aux alentours de 3800 Å, (soit 380 nm, ce qui a un aspect plus officiel...mais moins habituel). Sur le négatif du cliché E, on trouve encore de l'énergie à 3760 Å. De l'autre côté, la 103a0 ne répond plus au delà de 5020 Å, ce qui n'étonnera personne.

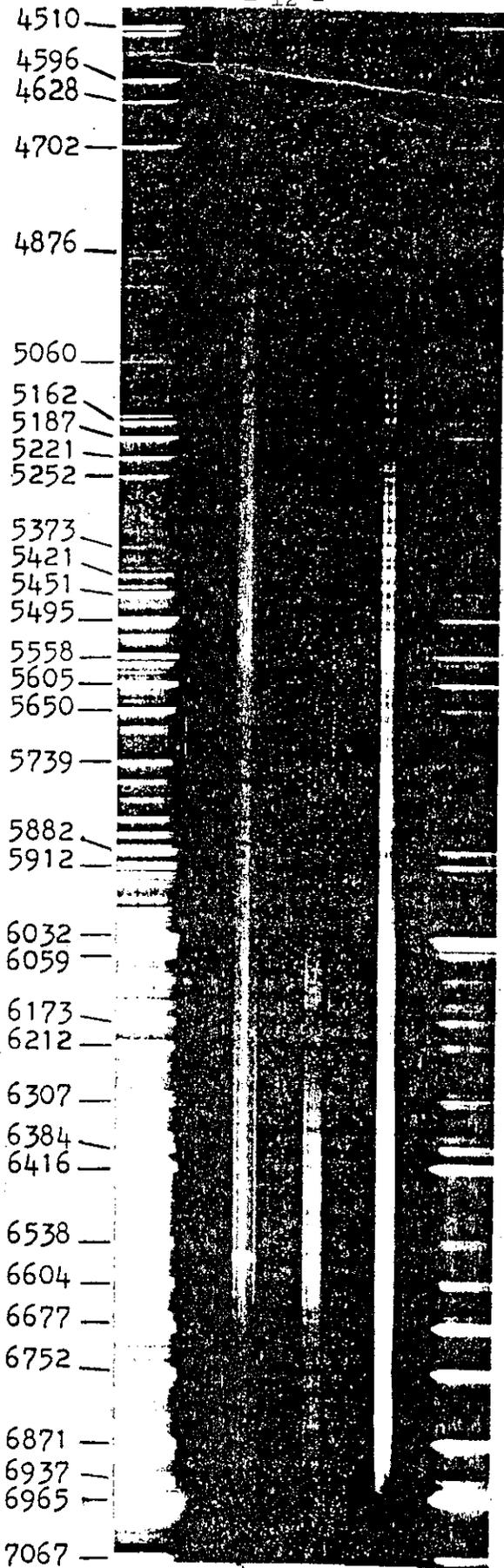
Les temps de poses, très naturellement, varient en fonction de

nombreux facteurs: magnitudes des astres, films et traitements, d'une part, mais aussi instrumentation, en particulier le diamètre des optiques des chambres photographiques. Pour récupérer toute la lumière qui parvient du miroir du T60 (sans modifier le faisceau), on a utilisé un collimateur ouvert, lui aussi, à 3,5. Le diamètre émergent vaut 60mm: la diagonale du réseau doit au moins atteindre cette valeur et, là, nous sommes gâtés puisque le réseau fourni par Christian Buil (un Jobin & Yvon) a 100mm de côté. C'est derrière le réseau que les choses risquent de se compliquer: compte tenu de l'obliquité des axes des chambres, il faut, au minimum, un diamètre d'objectif qui atteigne 70mm. Avec le réseau à 600 traits/mm, sur 24 x 36, une focale de 175mm donne un spectre étalé de 380nm à 700nm sur les 36mm; l'ouverture relative de cette optique se situe alors à $175/70 = 2,5$. Ce n'est pas introuvable mais, si l'on observe bien les bords extrêmes des clichés, on découvre aisément que la résolution hors de l'axe laisse fortement à désirer: c'est normal lorsqu'on travaille à pleine ouverture et avec des optiques qui ne sont pas du dernier cri. Notez, au passage, que les optiques que nous avons utilisées ont un diamètre un peu trop petit, ce qui revient à dire que nous avons diaphragmé le télescope et, donc, allongé les temps de poses.

Il faudra donc tenir compte de ces considérations pour choisir les objectifs des chambres: ou bien on veut un spectre entier sur 24x36, et la focale limite a été annoncée ci-dessus, ou bien on possède un excellent objectif (dans le genre Nikkor ED 1F de 200mm de focale ouvert à $F/D = 2$) et l'on se contente d'un domaine légèrement réduit. Mais, après tout, les quelques exemples indiqués au début de ce texte comme programmes de recherches nécessitent une bonne résolution, ce qui ne s'obtient pas avec des "culs-de-bouteilles".

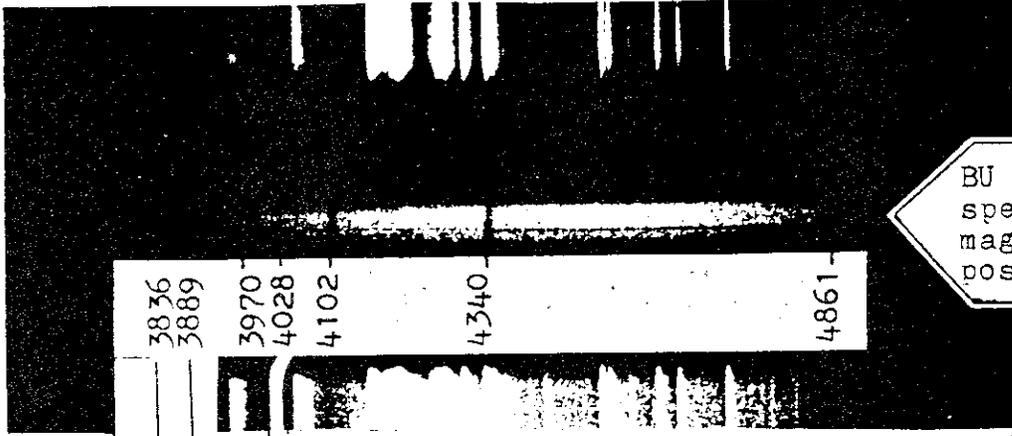
Il paraît possible, également, d'envisager d'autres variantes à ce problème: utiliser un objectif de longue focale qui ne soit pas un télé-objectif: il transmet les rayons marginaux de manière nettement moins oblique que l'élément arrière divergent d'un télé. Utiliser aussi, pourquoi pas, une petite chambre de Schmidt...

Pour terminer, nous reviendrons un instant sur les clichés: les images sont toutes à la même échelle, sauf la photo E. Cela autorise la comparaison entre les largeurs des raies: épaisses dans les étoiles de classes IV ou V, et très fines pour la classe Ia (d'autant plus que l'image est plus large). Comparaisons, aussi, entre les spectres qui sont alignés verticalement: positions des raies, différences entre les mesures des longueurs d'ondes et leur valeurs réelles, réponses des films aux différences d'intensité de l'énergie tout au long des spectres, etc...



α Or1, sp. M2 Iab
 μ Gem, sp. M3 III
 ζ Tau, sp. B1, 5 IV
 Clichés
 F, G et H.

A



BU Tau (Pléione)
spectre B8 IV V pe
magn. de 4,8 à 5,5
pose 20mn

B



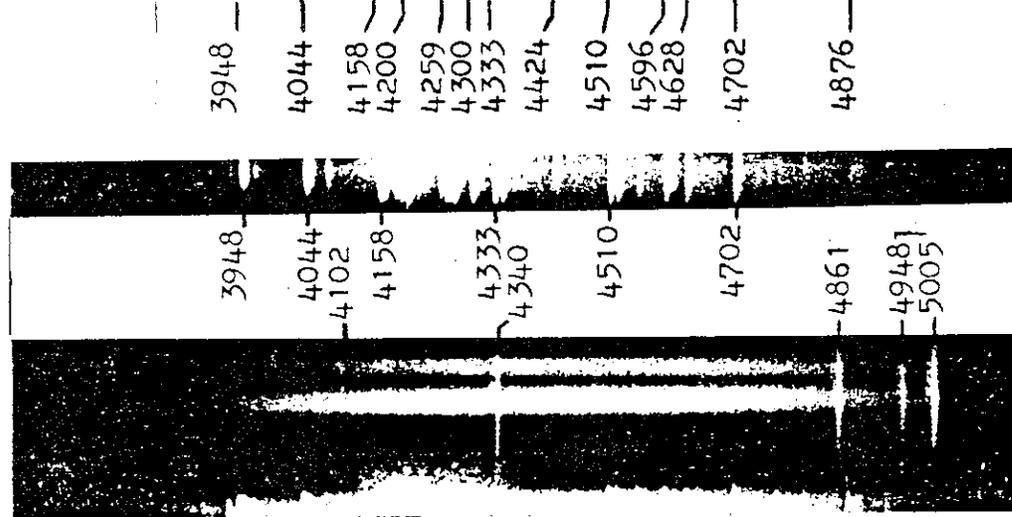
ζ Tau
spectre B1,5 IV
magn. 3
pose 10mn

C

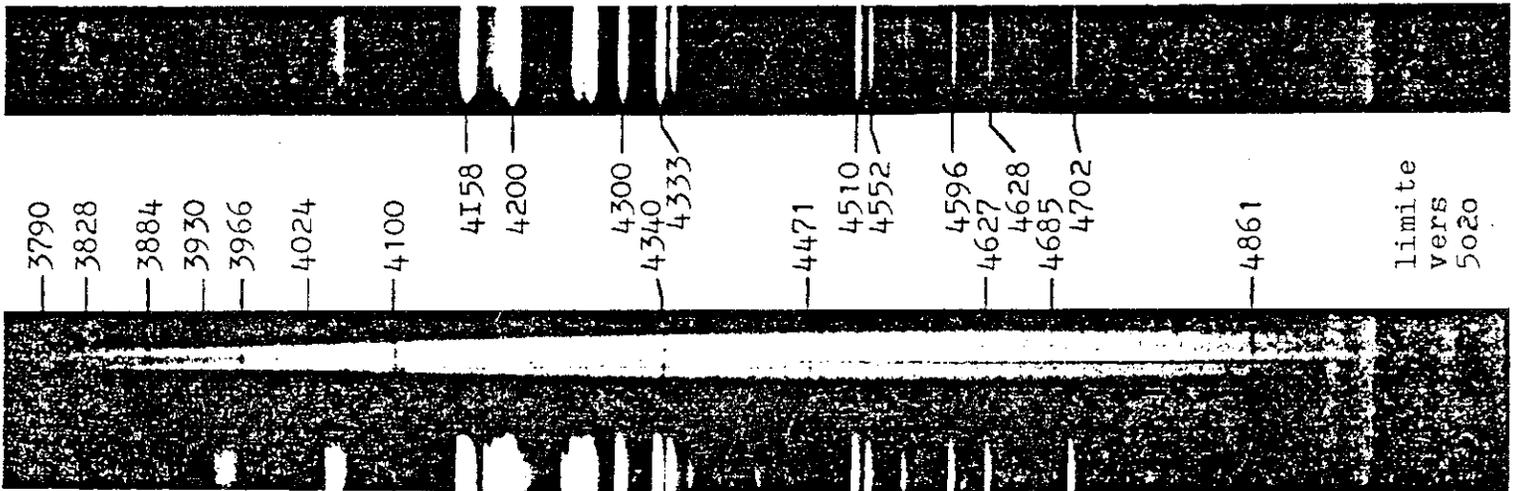


η Tau (Alcyone)
spectre B7 III
magn. 2,6
pose 8mn

D



Nébuleuse d'Orion



E

β Ori (Rigel)
spectre B8 Ia
magn. 0,1
pose 3mn

Les raies en émission de la nébuleuse d'Orion se superposent à un double spectre continu qui provient des étoiles du Trapèze; comme on n'a pas cherché à faire un suivi fin sur celles-ci, leurs spectres sont brouillés et illisibles.

Enfin, l'examen des clichés 2415 recèle de nombreux enseignements: le temps de pose sur les étoiles de spectres M ne peut pas être unique, l'énergie lumineuse se répartit inégalement sur les longueurs d'ondes. La courbe de Planck de ces étoiles illustre bien cet aspect du problème. Quant à l'étoile ζ Taureau, il est possible de joindre les deux clichés bout à bout...: la série de Balmer sur 103a0 et la partie rouge, avec H α en émission, sur 2415.

Souhaitons que cette analyse sommaire et l'examen de ces clichés puisse montrer aux amateurs quelques unes des directions à explorer et, sans doute, comment faire mieux encore.

Daniel Bardin.

NOTRE ETOILE SOLEIL

Il arrive parfois qu'un critique soit aussi un auteur... Dans le domaine de l'astronomie, après "Ciel, Passé, Présent" (voir les CC n° 16, page 16), hélas maintenant épuisé, Gilbert Walusinski vient de publier aux Editions Epigones un ouvrage destiné aux enfants, joliment illustré par Lydie Martin.

Chaque double page présente un thème, décrit dans le sommaire détaillé qui le résume, illustré par un dessin, un texte et le plus souvent par une expérience pratique proposée au lecteur. Les mots plus difficiles ou techniques sont repérés par une astérisque et expliqués dans le glossaire.

Successivement: "le jour et la nuit", où l'on parle du mouvement apparent des étoiles, "une journée ensoleillée" où il est question du midi et des ombres et où l'on construit un gnomon, "le temps qui passe", les horloges et les cadrans solaires, "l'éternel retour" des saisons, l'arc en ciel, "le spectre du soleil" et la construction d'un disque de Newton, "la surface du soleil" et les taches - comment les observer -, "l'usine soleil", "le passé et l'avenir du soleil" et de ses planètes et la construction d'un planétaire, "le soleil parmi ses semblables" et la Galaxie puis "la Galaxies parmi ses semblables", "le soleil et la vie" avec le cycle de l'énergie et celui de l'eau et enfin "soleil et civilisation", depuis le dieu Horus jusqu'aux panneaux solaires des satellites artificiels.

Celui qui connaît un peu Gilbert retrouve très vite son style et son goût des explications claires où la simplicité n'exclue pas la rigueur. Comme tout autre lecteur, un enfant a le droit qu'on lui épargne les erreurs ou les assertions inexactes, ce qu'oublie trop d'ouvrages qui leurs sont destinés.

L. Gouguenheim

"Au Sénégal, entre Soleil et Lune"

Nicoletta Lanciano

Laboratorio di didattica delle Scienze
Università degli Studi di Roma "LA SAPIENZA"

"Alors, je vous souhaite du fond du coeur de retrouver le sens de l'angoisse devant le soleil qui meurt. Je le souhaite à l'Occident, ardemment. Quand le soleil meurt, aucune certitude scientifique ne doit empêcher qu'on le pleure, aucune évidence rationnelle qu'on se demande s'il renaîtra. Vous, vous mourez lentement, sous le poids de l'évidence. Je vous souhaite cette angoisse comme une résurrection"

Cheikh Hamidou Kane (Aventure ambiguë - 1961)

Pendant mon voyage au Sénégal, en décembre 86-Janvier 87, j'ai eu l'occasion de rencontrer pendant quelques jours des enfants de 8 à 18 ans dans leur école de Kaolack, une grande ville au Sud de Dakar, et des enfants de 8 à 13 ans dans l'école du Village d'Enfants S.O.S. à Louga, dans le Nord du pays. Le directeur de l'école de Kaolack et le directeur avec un maître de Louga étaient prévenus de mon arrivée, de mon désir de regarder le ciel avec les enfants et de faire avec eux quelques travaux sur l'astronomie.

Je leur avais proposé de rechercher les mythes astronomiques de leurs ethnies, mythes liés au ciel, au Soleil, à la Lune et aux étoiles. Ils avaient donc interrogé leurs grands-parents, leurs parents, leurs grands frères. Les histoires mythiques que j'ai écoutées viennent donc directement de la tradition orale. Sous le beau ciel d'Afrique, à une latitude d'environ 13° Nord, ils m'ont raconté leurs histoires et moi, de mon côté, je leur ai montré quelques constellations, avec nos mythes. En particulier, Orion avec ses chiens, les Pléiades et le Taureau, une soirée, et la famille de Cassiopée et Andromède, la suivante.

Les enfants ont écrit leurs mythes sur mon cahier dans un français qui ne cache pas des difficultés -en particulier entre phonétique et orthographe - ce qui montre le poids du problème de langue chez des enfants qui parlent, à la maison, une langue qui n'est pas écrite, souvent le wolof dans ces régions, et qui, à l'école, sont obligés de parler seulement le français, la langue officielle du pays.

Au Sénégal, il y a des gens qui appartiennent à plusieurs ethnies différentes qui étaient toutes animistes. Depuis des centaines d'années, l'Islam s'est lourdement superposé à la culture locale : de nombreuses traces sont repérables dans les histoires racontées par les enfants et dans les dessins.

La petite récolte que je propose ici a donc une source tout à fait "familiale" ; elle est liée aux gens que j'ai eu l'occasion de rencontrer, fruit du hasard. En effet, je n'ai aucune idée si ces mythes ont une origine ancienne ou non, s'ils ont subi des transformations importantes en passant de bouche à oreille ni s'ils sont présents ailleurs. Dans la même école, souvent, les enfants avaient recueilli les mêmes histoires.

Les histoires mythiques

Parmi les histoires du groupe de Louga, je propose quelques éléments d'analogie ou de différence avec nos mythes d'origine gréco-latine:

- le Soleil et la Lune sont des personnages fondamentaux ;
- ils sont mari et femme, frère et soeur, ennemis ou amis ;
- le Soleil est masculin, la Lune est féminine ;

- les étoiles sont leurs enfants ;
- il n'y a pas des noms spécifiques pour quelques étoiles ni des histoires pour des groupes d'étoiles ;
- la faim, et par conséquent la recherche de la nourriture, est un problème fondamental ;
- souvent l'histoire racontée explique un phénomène visible (le jour et la nuit, les éclipses) ;
- le Soleil est lié au jour, la Lune à la nuit et aux étoiles ;
- l'eau, la mer et la pluie sont des éléments importants ;
- deux animaux, le lièvre dit Leuck et la hyène, sont deux personnages très communs et importants.

L'histoire de la Lune et du Soleil

Il était une fois, la lune et le soleil qui se sont mariés. Le Soleil était le mari et la lune la femme. Et ils avaient de nombreux enfants qui étaient les étoiles. Le père les grondait chaque jour et elles maigrissaient. Un jour, la mère voulut quitter la maison. A la sortie du père, la mère prend ses bagages et s'en alla avec les enfants. A la revenue du père, il alla à leur recherche. C'est comme ça qu'on distingue le jour - seul le soleil sort - et la nuit - la lune sort avec les étoiles.

Mame NDième NDoyle (née le 29/10/75), village de Louga

Une histoire de la Lune

Un soir, lasse de son existence, la lune eut le désir de rencontrer le soleil. Elle s'engagea sur le chemin de ce dernier, gravit une pente difficile parsemée de cailloux, de ronces et d'épines. Après avoir parcouru péniblement une longue distance, elle se trouva brusquement prise de malaise, en l'espace de quelques secondes, sa blancheur pâlit et une grande ombre s'étendit sur la terre. Le soleil, qui voyait la lune s'approcher de lui, souffla un vent à briser les cailloux en éclaboussures, à dresser les ronces et les épines en dards acérés... En outre, il braqua sur elle ses rayons ardents et lentement la lune se brûla.

Mbène Khaly LO (école élémentaire de Louga CM2)

Histoire du soleil et de l'eau

Pendant longtemps, le soleil, son épouse la lune et leurs enfants les étoiles vivaient ensemble dans la terre avec l'eau. Le soleil et son épouse rendaient souvent visite à leur amie l'eau et un jour ils l'invitèrent à venir leur rendre visite à son tour. L'eau malgré de nombreux refus finit par accepter sous l'insistance de ses amis qui, pour la cause, avaient construit une belle et large villa pour l'héberger. Mais l'eau et sa suite inondèrent toute la villa jusqu'à obliger ses amis à monter sur le toit pour ne pas être enlevés par l'eau. Et lorsque cette dernière atteignit le toit, le soleil, la lune et leurs enfants les étoiles durent quitter leur maison pour aller se loger finalement dans le ciel.

Cheikh Mouhamadou Makhar Ndo

Histoire du soleil et de la lune

C'était un jour, le soleil et la lune n'étaient pas d'accord. Le soleil dit si ce n'était pas moi quand les filles lavent le linge, les habits ne pourront jamais sécher. La lune dit si ce n'était pas moi, les femmes ne pourront jamais danser au clair de lune. La lune commence à taquiner le soleil. D'un coup de rayon du soleil la lune sort une étoile. C'est pourquoi nous, en Afrique, on dessine une lune avec une étoile.

Saliou Diop (né le 3 mars 1976) école de Louga)

Les dessins

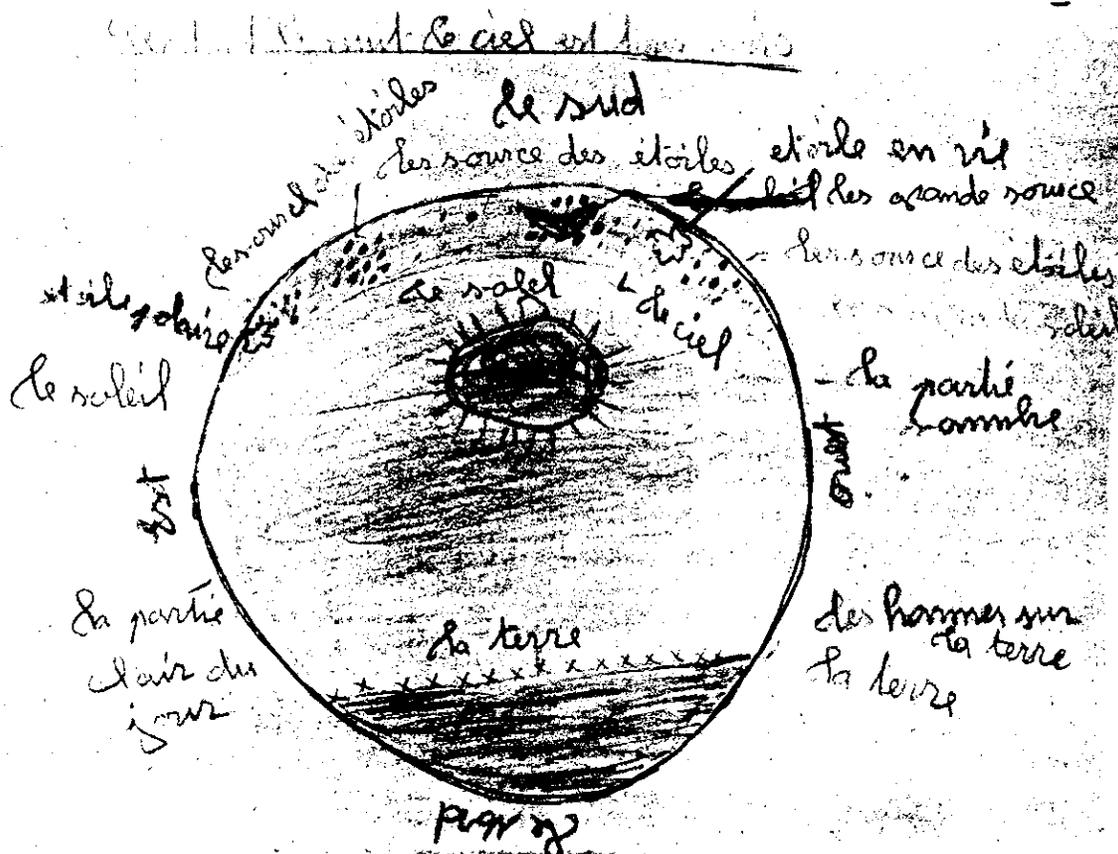
J'ai proposé des dessins à sujet astronomique. Aux enfants de Kaolack j'ai demandé d'expliquer avec un dessin comment ils imaginent qu'il y a le jour puis la nuit, puis un autre jour... Ma question, je m'en suis aperçue après, était trop "scolastique" pour eux, et ce sont plutôt des notions apprises qu'ils ont représentées et pas leurs propres idées ni leur imaginaire

Je choisis quelques dessins. Dans le premier, l'enfant ne montre pas le cycle des jours et des nuits mais les particularités et donc les différences entre le jour et la nuit. Le jour, il y a des hommes dans les champs, la nuit le champ est vide. Le jour, il y a des hommes sous "l'arbre à palabres", des poulets devant les cases, des femmes qui pilent le mil ; la nuit, toutes ces présences des gens et des animaux disparaissent. Encore, le jour, le Soleil provoque des ombres, la nuit est sans Soleil et sans ombres.

L'enfant du second dessin voyait le système du monde comme une sphère, ce qui me fait penser à Thalès, le philosophe présocratique. La Terre est en bas et elle est plate, avec des hommes dessus. La partie la plus haute est représentée par le ciel avec les astres.

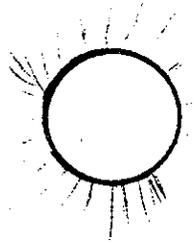
On reconnaît que les hypothèses de ces enfants sont tout à fait pareilles à celles qu'on peut trouver chez des enfants du même âge dans les écoles italiennes ou françaises.

N.L.

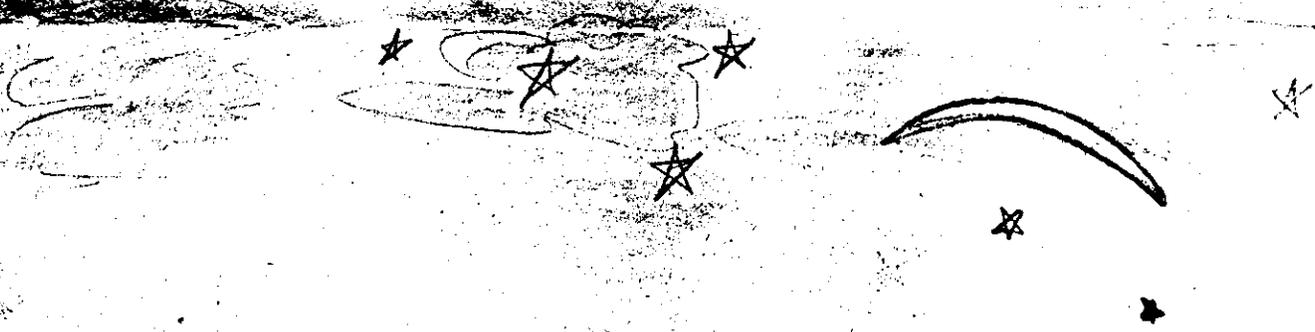
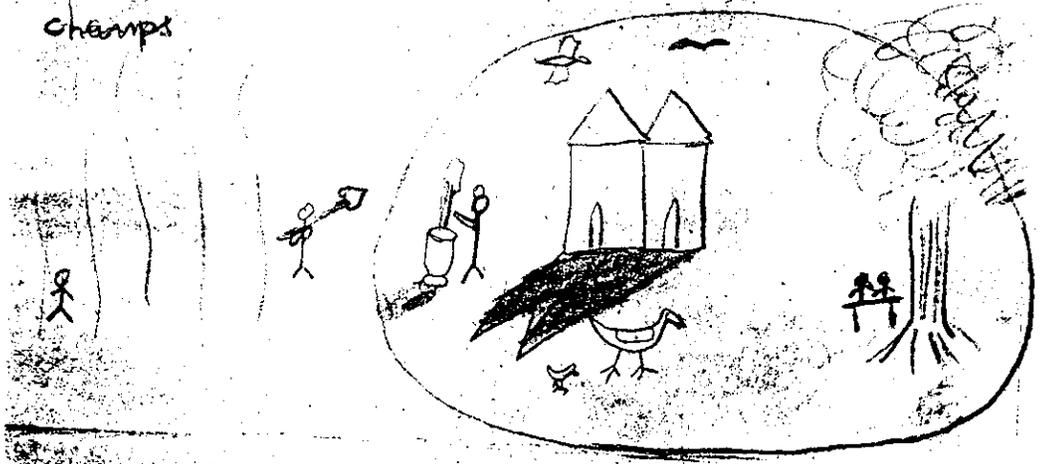


la terre tourne sur elle même en 24 heures
de temps à temps on voit des sources des étoiles
il y a un ciel et terre

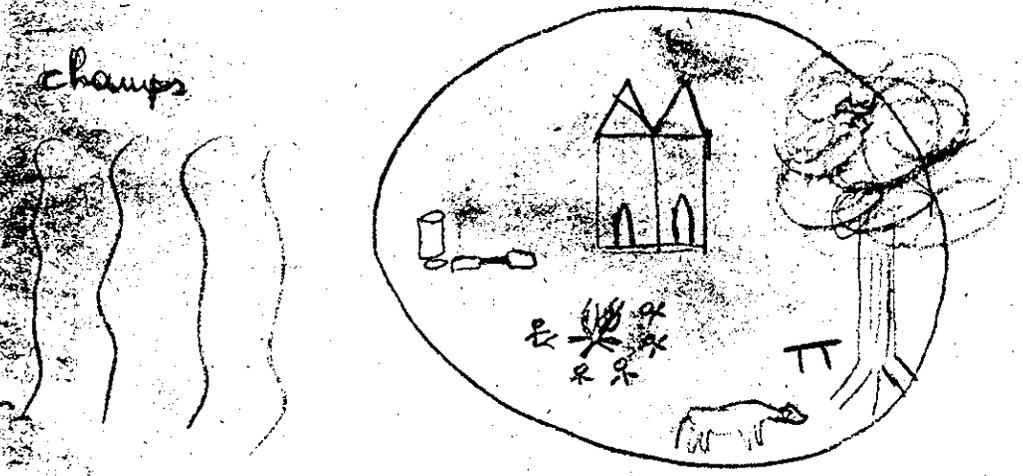
M. L. L. P. A. C. C.
17 ans



champs



champs



DES ELEVES POUR L'ASTRONOMIE (2)

Suite de l'article dont la première partie a paru dans le n°37, p.41.

Cette forme bien définie d'initiation astronomique, Flammarion la propose sans succès à l'école de Jules Ferry (11). Mais il lui avait donné, bien avant, une existence publique en publiant un nombre impressionnant d'ouvrages populaires, en collaborant à des revues comme la revue hebdomadaire Le Cosmos ou le Magasin pittoresque, en organisant des cours et des conférences dans le cadre de l'instruction populaire. Cette popularisation s'adressait à deux publics nettement séparés dans l'esprit de Camille Flammarion. Ses Mémoires d'un astronome les décrivent : l'un, composé d'ouvriers et d'apprentis de tous âges se pressant en foule dans un amphithéâtre de l'école Turgot, figurant le peuple ; l'autre, constitué par un public nombreux et de bon ton louant d'avance ses places à la salle des conférences du boulevard des Capucines, figurant le monde. Ces deux publics ne sont pas exactement dans la même ignorance de la rêverie astronomique. L'ignorance propre au public mondain est la futilité. Flammarion l'évoque (12), par exemple, en racontant qu'en revenant de Constantinople par l'Orient-Express il avait pu entendre quelques passagers parler assez irrévérencieusement de la science, alors même que le génie combiné de Salomon de Caus, Denis Papin, James Watt, Fulton, Stephenson, leur faisait traverser l'Europe en trois jours, sans rien changer à leurs heures de déjeuner, de dîner et de coucher. La futilité consiste à ne pas voir la science agir, à ignorer le spectacle de la science, à rester aveugle à la somme de travail intellectuel représentée par une locomotive, ou à la formidable activité astronomique nécessaire au déroulement normal des récoltes. Ce n'est pas que le peuple en sache beaucoup plus que le monde sur ces questions mais le rapport qu'ils ont, l'un et l'autre, à ces choses mêmes dans lesquelles la futilité bourgeoise méconnaît l'activité de la science, n'est pas le même. C'est dans le temps où elle en a la jouissance, à l'image des passagers de l'Orient-Express, que l'élite cultivée n'aperçoit pas le travail de la science. En projetant à ce public de la salle des conférences du boulevard des Capucines les photographies d'objets célestes, Flammarion fait admirer à des esprits qui réservent généralement leur admiration aux créations du journalisme, du roman, ou du théâtre, un monde (13) qui, en tant qu'il peut être possédé, est largement le leur, et qui, en tant qu'il peut être approprié par la science, l'est par des hommes qui sont à leur service. En regard de cette jouissance le peuple est situé, à une autre place, par un autre récit. "On n'est pas toujours récompensé, écrit-il, de la peine que l'on se donne pour servir en quelque chose au progrès de l'humanité. Un jour de l'année 1866, que malgré une grande fatigue due au surmenage, et un commencement de grippe, j'avais tout de même fait mon cours gratuit à l'école Turgot, je revenais chez moi très satisfait du bien moral que cette instruction scientifique paraissait produire sur la mentalité des ouvriers, et que je me berçais des rêves de l'amélioration progressive de l'humanité mieux éclairée...(14)" Suit une anecdote, dans laquelle Flammarion, ayant comme il aimait le faire acheté une statuette de plâtre représentant la Vénus de Médicis, est aperçu avec son précieux fardeau par un gamin qui trouve plaisant et de faire tomber, pour qu'elle se brise, la statuette. Et le professeur bienveillant et grippé, victime de la mauvaise farce, de se dire : "Voilà l'humanité ! Tuez-vous pour elle ! Vraiment, je suis stupide, et ne devrais pas faire mon cours jeudi prochain." Le rêve se brise quand le peuple aperçoit aussi peu que le public mondain, bien que d'une autre manière, ce qui vaut, n'apprécie pas à sa valeur l'enseignement scientifique qui lui est gratuitement

(11) Il rédigea néanmoins pour le public scolaire, une Initiation astronomique, "ouvrage étranger à tout programme, dédié aux amis de l'enfance", ainsi que Qu'est-ce que le ciel ?, etc qui connaîtront un grand succès.

(12) C.Flammarion, Mémoires d'un astronome, p.64.

(13) C.Flammarion se sert du même mot "monde" pour désigner l'objet des conférences astronomiques et le public du boulevard des Capucines.

apporté pour son plus haut perfectionnement, tout en le jalousant pour une statuette de plâtre de peu de prix.

Cette relation autre à la jouissance s'observerait aussi, selon Flammarion, dans le style que chacun de ces deux publics imprimerait aux conférences. Ce que la société mondaine écoutait avec prédilection, c'était le moment où le conférencier offrait à leur curiosité les toutes dernières découvertes de la science. "Je remarquai, écrit Flammarion, que les sujets que nous connaissons le moins étaient ceux qui attireraient le plus la curiosité, par exemple la fin du monde - ou le commencement du monde -, ou les habitants de Mars.(15)" A l'école Turgot, en revanche, le public populaire éprouvait d'autres passions : "L'enthousiasme se manifestait surtout le jour de la distribution des prix, sous la présidence du ministre Duruy,(16)" cérémonie qui avait lieu au Cirque d'Hiver, boulevard du Temple, tous les ans au mois d'août. La différence des attitudes intellectuelles, conforme aux représentations banales d'une bourgeoisie que les formes de la modernité ne sauraient en dernière instance laisser indifférente et d'un peuple dont on connaîtrait le goût pour les distinctions scolaires, a l'avantage de justifier la séparation des publics et de concrétiser des intérêts pour les conférences astronomiques. Mais elle rend plus énigmatique la nature de la rêverie que la science, au-delà de ces intérêts, proposerait à chacun.

Il semble que Flammarion propose à cet égard une délégation. Chargé en 1866 d'inaugurer l'association polytechnique de Chaumont, il y prononce une conférence sur les Héros du travail, (17) dans laquelle il pose comme un point fondamental pour l'instruction populaire la représentation d'une "égalité d'esprit entre les professeurs, les auditeurs et les élèves". Se proposant d'évoquer cette égalité, la conférence de Flammarion ne tourne pas les regards vers la réalité de l'instruction populaire, vers les professeurs de l'enseignement polytechnique, leurs auditeurs cultivés, leurs élèves issus des classes pauvres, où une telle égalité ne pouvait sans doute être montrée. Est donnée à voir et à admirer, pour ce faire, une galerie d'hommes célèbres composée de savants, d'artistes et d'inventeurs, auxquels Flammarion, sans trop s'embarrasser, prête uniformément une origine obscure, une vie misérable, des persécutions et un acharnement héroïque à leur travail ; ce qui rend ces hommes aptes à représenter l'égalité étant précisément de ne devoir leur réussite intellectuelle qu'à leur seul travail. A nouveau, donc, la popularisation de l'astronomie n'atteint les strates les plus compactes de la science que dans une scène complexe. Au moment où l'élite cultivée du boulevard des Capucines et le public populaire de l'école Turgot découvrent l'astronomie dans le spectacle des projections lumineuses ou dans le dur apprentissage des figures de la géométrie, ils rendent visible, comme signe de leur égalité devant le travail intellectuel, l'imagination astronomique d'un autre : de ceux qui ont été ou de celui qui serait, véritablement, homme de science. Rien n'interdit de supposer que ces moments dans lesquels un autre est montré et imité constituent, pour quelques uns, des voies qui conduisent à énoncer et à proprement parler à co-énoncer les vérités les plus fermes de la science astronomique.

(à suivre)

Stéphane Douailler

(14) Ibidem, p.344.

(15) Ibidem, p.346

(16) Ibidem, p.343.

(17) C.Flammarion, les Héros du travail, Conférence d'ouverture de l'association polytechnique de Chaumont, 18 novembre 1866. Il réitère cette conférence en 1867, en supprimant quelques passages comme l'allusion à 1789, dans le cadre des Conférences populaires faites à l'asile impérial de Vincennes sous le patronage de S.M l'Impératrice.

Lectures pour la Marquise et pour ses amis

Vous vous fixez un programme de lecture - cette fois, c'est juré, je ne démordrai pas des livres déjà cités sur la physique quantique - et puis l'actualité vous offre des nouveautés alléchantes sur lesquelles il est vraiment impossible de ne pas dire tout le plaisir qu'elle vous procurent. Bref, "La Matière-Espace-Temps", ce sera encore pour la prochaine fois.

Les Quasars, aux confins de l'Univers

par Suzy Collin et Grazyna Stasinska,
collection "Science et Découverte" ; 124p.; niveau III, éd Le Rocher.

Le format, le volume d'un livre de poche. Mais quelle richesse d'information dans cette centaine de pages ! Un modèle de monographie sur un sujet passionnant entre tous. Et c'est écrit dans un style vivant et clair agrémenté de schémas ingénieux particulièrement suggestifs.

Premier chapitre, vous découvrez les quasars, vous revivez une histoire récente. 1954, Baade et Minkowski identifient la radiosource Cygnus A à la place d'une galaxie située à 650 millions d'années-lumière. 1960, Sandage obtient le spectre de la source 3C48, des raies brillantes sur fond continu, des raies ne correspondant à rien de connu. 1962, Cyril Hazard repère la radiosource 3C273 grâce à des occultations, une étoile bleue présentant une sorte de jet. Alors Schmidt, Matthews et Greenstein identifient les raies des spectres de 3C48 et 3C273 et baptisent ces objets "quasi stellar objects" ou quasars : une merveilleuse mine de beaux problèmes d'astrophysique vient de s'ouvrir. Des objets sans doute très lointains. Leurs distances devaient-elles être déduites du décalage des raies de leurs spectres ? Il y eut une chaude controverse à ce sujet jusqu'à ce que la preuve apparaisse à tous les astronomes : lorsqu'un quasar est situé dans un amas de galaxies, le décalage de son spectre est identique à celui de l'amas. Très lointains donc, c'est assuré. Mais alors quelle puissance gigantesque dans un volume relativement petit ! Autre particularité, alors que les premiers quasars ont été découverts par la radioastronomie, 90% des quasars actuellement repérés sont radiosilencieux.

Bref, beaucoup à apprendre sur le rayonnement des quasars (chapitre 2). On ne retrouve plus du tout le spectre d'une étoile, celui d'un corps chaud. Il s'agit d'un rayonnement synchrotron, autrement dit le rayonnement émis par des particules chargées - principalement des électrons - se déplaçant à des vitesses relativistes dans un champ magnétique. Ce qui explique le rayonnement intense, équivalent pour un quasar à plusieurs centaines de milliards de soleils. Quelques sous-titres évoquent bien les problèmes étudiés : "l'infrarouge, une chaudière de poussières", "le rayonnement optique et ultra violet, une masse de gaz infime, une mine de renseignements", "les rayonnements X et gamma, la catastrophe Compton évitée".

Après la description, le chapitre 3 "les quasars, maelstrôms de l'espace" tente la construction d'un modèle cohérent. A partir de trois faits de base :

- une puissance émise considérable de l'ordre de la conversion en énergie de quinze masses solaires par an ;
- une variabilité qui ne peut se produire que dans une région de petite dimension de diamètre inférieur à quelques jours de lumière ;
- une durée de vie supérieure à dix millions d'années, ce qui implique une énergie correspondant à la conversion en rayonnement de cent millions de masses solaires.

Seule l'énergie gravitationnelle permet d'atteindre un tel niveau ce qui suppose la présence au centre du quasar d'un trou noir en rotation.

Autre possibilité, un amas très serré d'étoiles qui finira par devenir un trou noir. Autour du trou noir, la Relativité générale explique l'existence du rayonnement par la dislocation des étoiles dans un maelström gigantesque. Et quand le trou noir a absorbé son environnement, il s'éteint. Il y a des limites à l'accroissement de la masse (par doublement en cent millions d'années). Cela conduit nos Auteurs à décrire un portrait-robot du quasar que toute description résumée trahirait. Je me contente de pêcher quelques résultats : - les quasars radioémetteurs sont situés exclusivement au sein des galaxies elliptiques tandis que les quasars radiosilencieux sont toujours associés à des galaxies spirales ; - les galaxies géantes qui contiennent des quasars auraient pu se développer en "avalant" des galaxies voisines ("cannibalisme des galaxies"). Je dois m'arrêter mais je vous invite à admirer p.76 le schéma du portrait robot du quasar, on ne peut être plus suggestif.

Intérêt supplémentaire de ce petit livre, son chapitre 4 "Frères et faux-frères des quasars" : sur les galaxies de Seyfert et le problème général de l'évolution des galaxies ; sur les lacertides, ces radiogalaxies qui sont des objets certainement très lointains et dont la puissance atteint ou même dépasse celle des quasars.

Le dernier chapitre "Les quasars, sondes de l'Univers" précise la place du problème des quasars en cosmologie. Car ces étranges objets nous donnent des informations sur les débuts de l'expansion, ce qu'on a la mauvaise habitude d'appeler la jeunesse de l'Univers.

Au terme de cette enrichissante lecture, je retiens : les quasars sont des galaxies géantes dont le noyau contient un objet supermassif, un trou noir, et qui traverse une phase de grande production d'énergie par suite d'une intense accréation de la matière environnante. Conclusion laissant la porte ouverte aux recherches qui continuent. En seulement trente ans, on a découvert et commencé à comprendre. Dans dix ans, peut-être moins, Suzy Collin et Grazyna Stasinska nous en diront plus. Ce qu'elles ont écrit en 1987 nous fait attendre la suite avec confiance et impatience.

Astronomie pratique et informatique

par Christian Dumoulin et Jean-Paul Parisot,
préface par Agnès Acker ; 400 p. (niveau II) ; éd Masson 1987 (145 F)

Voici un ouvrage d'un intérêt tout à fait exceptionnel pour nous, enseignants et astronomes amateurs, aussi bien par son contenu que par ses Auteurs et la façon dont leur travail a abouti à ce livre.

Les liens entre astronomie et mathématiques sont anciens et ont été souvent passionnels. "Ce fut la géométrie qui me plut dans l'astronomie" raconte Alain dans Histoire de mes pensées. Alors que pour beaucoup d'astronomes amateurs, si le recours au calcul paraît indispensable, il est parfois obstacle rebutant. Il faut donc saluer la publication de ce livre qui met à notre portée à tous les ressources modernes du calcul : adieu la règle à calcul et la table de logarithmes...

Un livre qui ne fait pas double emploi avec les ouvrages connus de S.Bouiges "Calcul astronomique pour amateurs adapté à l'emploi d'un calculateur ou d'un micro ordinateur" (160 p, éd Masson 1986) et de Jean Meeus (152 p, Société Astronomique de France 1986). Le livre de Dumoulin et de Parisot est plus complet, vous n'en épuiserez pas toutes les richesses en une saison.

Christian Dumoulin a été le maître d'oeuvre comme il est l'animateur du groupe inter-IREM d'astronomie. Jean-Paul Parisot, astronome à l'observatoire de Besançon a rédigé les chapitres sur les calendriers, la navigation, les éclipses, les phases de la Lune, les satellites galiléens de Jupiter. Christian et Jean-Paul ont animé des groupes de travail dans les écoles d'été du CLEA et dans celles de l'Académie de Strasbourg, ce qui leur a permis d'expérimenter les programmes qu'ils présentent ici. On peut donc prétendre que cet ouvrage a vu le jour sous les auspices conjugués du CLEA

et de l'observatoire de Strasbourg.

Faute de pouvoir énumérer tous les sujets traités, j'en détache ceux qui me paraissent les plus représentatifs. Première partie pour rappeler des définitions astronomiques indispensables et quelques notions mathématiques qui ne le sont pas moins. N'ayez pas peur, c'est à la portée d'un bon bachelier.

Deuxième partie, application aux systèmes de coordonnées et au temps. Sur les calendriers, Jean-Paul est expert, il nous donne le calcul de la date de Pâques, celui du jour julien et il traite de la concordance des calendriers grégorien, musulman, maya, ... Coordonnées planétocentriques ou héliographiques ou sélénographiques.

Troisième partie : notions de mécanique céleste. Ce qui passe par le problème des deux corps, l'équation de Kepler et va jusqu'aux développements usuels du mouvement képlérien.

Quatrième partie, calculs des éphémérides, par exemple, calcul des passages d'une planète au périhélie et à l'aphélie, éclipses, phases de la Lune, phénomènes des satellites galiléens, perturbations.

Enfin, cinquième partie, calculs d'orbites y compris orbites d'étoiles doubles. Trois appendices sur solstices et équinoxes, sur les levers et couchers du Soleil, sur la réfraction atmosphérique. Enfin une abondante bibliographie sur les ouvrages en français ou en anglais concernant les calculs astronomiques, et un index.

Cette énumération, même si elle vous paraît longue, n'est qu'un résumé de la table des matières. Elle peut paraître fastidieuse, sous cette forme, alors qu'en reprenant chaque sujet avec toute l'attention qu'il mérite vous retrouvez ce qui fait l'un des attraits des mathématiques, cette façon d'analyser un phénomène pour en abstraire un modèle qui vous en fait comprendre le mécanisme. Bien sûr, si vous êtes astronome amateur et néanmoins allergique à tout calcul, abstenez-vous d'ouvrir ce livre ; mais vous ne saurez alors jamais tout ce que vous perdez. Si, au contraire, comme je l'espère, vous savez tout ce qu'il y a de savoureux à bien calculer, alors Christian et Jean-Paul vous donneront maintes occasions de vous réjouir.

Formes et couleurs dans l'Univers

nébuleuses, amas d'étoiles, galaxies par
Agnès Acker, avec la collaboration de L'Arbeitsgemeinschaft Astrofotografie
220 p, (niveau II) ; éd Masson 1987 (210 F).

Ce livre m'a procuré un autre genre de surprise, surprise agréable je le dis tout de suite. J'avais lu l'annonce du livre, j'imaginai un album de belles images comme beaucoup d'éditeurs en proposent qui flattent le regard et ne proposent pas beaucoup de réflexion. Ici, les images sont belles, certaines même très belles mais il y a aussi un texte qui fait réfléchir et qui aide surtout à tirer des images tout ce qu'elles nous disent sur les merveilles de l'Univers.

Les photos astronomiques réussies ne sont pas le fruit du hasard. Il faut beaucoup de science et une grande habileté technique pour tirer d'un négatif toute l'information qu'il contient. La première partie de ce livre, sur les techniques de la photo astronomique est due à la collaboration de l'Arbeitsgemeinschaft Astrofotografie, une équipe d'amateurs très expérimentés qui décrivent leurs méthodes et leurs instruments. Parmi les plus belles photos présentées celle de la nébuleuse d'Orion réalisée à l'E.S.O. par B.Dumoulin avec la technique du "masque flou" ; je crois n'en avoir jamais admirée de plus raffinée dans le détail ; et c'est en noir et blanc, ne pas croire que la couleur qui flatte trop vite la vue soit la plus instructive

Après cette première partie technique, Agnès Acker reprend sa plume d'astrophysicienne. Elle complète ainsi ce qu'elle avait commencé à dire

dans son "Initiation à l'astronomie" (Masson 1977), la théorie sur les formes et les couleurs, sur les nébuleuses, sur les nuages de gaz entre les étoiles, avant de nous donner 150 pages sur quelques astres choisis. C'est beaucoup mieux qu'un triste catalogue de données : une carte d'identité d'amas, de nébuleuse ou de galaxie, des photos et des schémas et surtout d'instructifs commentaires. Pour qui n'a pas les moyens ou la patience ou l'habileté d'observer ces objets par lui-même, que de bonnes heures il passera, même s'il pleut, à savourer ces pages ! Bien sûr on y retrouve les objets Messier mais pas seulement eux et ils sont ici classés non par rang des numéros mais par catégories. Messier, avec Agnès Acker, est devenu pédagogue...

Vénus dévoilée

voyage autour d'une planète par Jacques Blamont ; 368 p, tout public ; éd Odile Jacob 1987 (130 F).

Une grande monographie sur une planète est forcément bienvenue. Ainsi avais-je fort apprécié, jadis, celle d'Alexander sur Saturne, ouvrage en anglais fort dépassé aujourd'hui après les visites des Voyager. Le présent ouvrage sur Vénus est publié alors que de nombreux problèmes restés longtemps mystérieux, celui de la rotation propre en particulier, trouvent des commencements d'explication. Intérêt incontestable par conséquent et publication opportune même s'il faut s'attendre à en voir certaines pages rapidement dépassées en cette période d'intense recherche spatiale.

Mais alors comment se fait-il qu'un livre sur un sujet aussi passionnant me laisse insatisfait ? L'Auteur en dit trop sur ce qui ne m'intéresse pas (vous me direz que je suis difficile et que Jacques Blamont n'écrivait pas que pour moi). Je m'explique : l'Auteur donne tous les détails sur des questions qui ne sont pas réellement astronomiques, par exemple sur les négociations préparatoires à toute expérience spatiale. Je comprends parfaitement que ces problèmes de relation publique - et de financement - ont leur incidence déterminante sur la recherche. J'admets encore plus volontiers que pour celui qui a dû mener ces négociations il y a usé beaucoup de son temps et une telle énergie qu'il doit nous en donner au moins un écho. Mais un écho, ce n'est pas le récit tout au long qui finit par être lassant.

C'est aussi une affaire de ton. Rappeler l'historique des conceptions sur Vénus est un chapitre important pour que l'on saisisse bien l'étendue des progrès actuels, mais intituler le chapitre "Mes précurseurs" fait sourire sans qu'on soit certain que l'Auteur l'ait voulu. De même quand il écrit "j'ai eu le tort d'avancer mes idées trop tôt" et on ne le prend plus au sérieux quand il énonce ce qu'il appelle le "principe de Blamont": "le produit de l'imaginaire par le réel est constant". Voilà une nouvelle constante dont nous attendons avec impatience qu'elle figure dans les données du Bureau des Longitudes ; à la rubrique nébuleuses probablement ...

Découvrir le ciel

Le guide de l'astronomie facile par Jean-Louis Halbwachs; 144 pages illustrées de 40 cartes du ciel ; éd Bueb et Reumaux (Strasbourg) diffusion Hachette 1987 (72 F)

L'Auteur est astronome au Centre de Données de l'Observatoire de Strasbourg. Il propose sept circuits selon les époques de l'année pour repérer les plus belles curiosités du ciel. Après un bref rappel des définitions qu'il est indispensable de connaître, il donne de bons conseils pour observer. Ensuite les circuits avec des cartes très finement tracées donc d'une parfaite clarté. Toute la présentation de ce petit livre est d'ailleurs impeccable. S'il n'a pas le charme et la richesse culturelle des "Histoires d'étoiles" de Marie-Françoise Serre, il enrichit notre collection de bons guides qui feront aimer l'observation du ciel.

La Terre est un cadran solaire

par Mitsumasa Anno ; 28 pages illustrées ;
éd L'Ecole des Loisirs (140 F)

Nicoletta Lanciano m'écrit : "J'ai trouvé par hasard ce livre traduit et adapté du japonais qui me paraît assez astucieux et qui mérite d'être connu par les enseignants d'élèves de 8 à 14 ans... C'est un livre en relief La première page offre un dessin qui évoque la place St Pierre de Rome; au centre un petit carton rectangulaire sort de la page même du livre et représente l'obélisque gnomon qui se trouve bien en réalité au centre de la place ; l'aiguille N-S d'une boussole est gravée sur la même page et l'indication du texte permet d'orienter le livre."

J'avais remarqué ce livre mais n'avais pas ressenti le même enthousiasme que Nicoletta qui fait aussi des remarques critiques. Non seulement le prix excessif mais aussi des négligences de rédaction. Par exemple, cette phrase "l'axe de la Terre incliné de 23°,5 par rapport à la verticale" ou encore l'impression que donne le livre qu'un gnomon vertical et le style d'un Cadran solaire, c'est tout comme. Je m'étais donc abstenu de citer ici ce livre aussi parce que, sur la construction des cadrans solaires, nos amis des écoles d'été ont déjà tout et bien dit. G.W.

POUR INVENTAIRE

- Astronomie - Le guide de l'observateur, 2 tomes 16/24cm, 1100 pages, 550 illustrations. Ouvrage collectif réalisé sous la direction de Patrick Martinez, éd Société d'Astronomie Populaire, 1 av Camille Flammarion, 31500 Toulouse.

- Le spatiopithèque. Vers une mutation de l'homme dans l'espace. Par Ch.Alexandre, A.Brahic, A.Esterlé, D.Gautier, G.Hottois, G.Huber, G.Lambert, P.Langereux, A.Lebeau, W.J.Ockels, I.Rasool, sous la direction de Hugo d'Aibaury et de Jean Schneider ; éd Le Mail 1987 (90 F).

- Le grand atlas de l'espace, Encyclopaedia Universalis 1987 ; 384 pages.

- Analisi delle Onde elettromagnetiche in Astrofisica a cura di M.Elena Dilaghi Pestellini, 358 p, édition Societa Astronomica Italiana (Un cours destiné aux enseignants qui nous est envoyé par Nicoletta Lanciano).

- Encyclopédie scientifique de l'Univers : Les Etoiles, le système solaire, 404 p, éd Gauthier-Villars 1986 (deuxième édition du deuxième tome de cette encyclopédie réalisée par le Bureau des Longitudes ; l'édition précédente datait de 1980.)

- L'Univers par I.Nicolson et P.Moore ; traduit de l'anglais ; 256 p, éd Armand Colin 1986.

- Architecture de l'Univers par S.Brunier, 184 p, éd Bordas 1985.

- Nemesis, l'étoile du destin par D.Goldsmith, 240 p, éd Robert Laffont 1986 (sur l'extinction des dinosaures, une thèse fondée sur des considérations astronomiques.)

- De l'autre côté du Soleil par Jean-Louis Bertaux, 276 p, éd Albin Michel 1987 (sur le retour de la comète de Halley avec des photos prises par les sondes russes et Giotto).

- A travers la Voie Lactée par J.Lequeux, 126 p, éd Le Rocher-Monaco.

- La vie des étoiles par Cl Doom, 116 p, préface de Hubert Reeves, éd Le Rocher-Monaco.

- Le catalogue des étoiles les plus brillantes, version disquette préparée par François Ochsenbein et Jean-Louis Halbwachs. Observatoire de Strasbourg, 11 rue de l'Université (120 F). Nos Collègues A.Acker, F.Ochsenbein, E.Legrand, J-M.Poncelet et E.Thuet-Fleck avaient édité ce guide, version imprimée en 1984 55 F + frais de port qui comme la version disquette est en vente au planétarium de Strasbourg.

- Astronomie, Astrologie, lexique latin par André Le Boeuffle, 304 p, éd Picard (200 F).

- Le Journal des Astronomes Français, n°29 (avril 87) : "Neutrinos solaires et expérience Gallex" par E.Schatzman et G.Berthomieu ; "le Mega SETI, une étape majeure en bioastronomie" par J.Heidmann.

LES POTINS DE LA VOIE LACTÉE DES ARCS LUMINEUX GEANTS DANS DEUX AMAS DE GALAXIES

Un nouveau type de structure ayant une géométrie très particulière, a été découvert par hasard au cours d'études systématiques (photométrie et spectroscopie) d'amas de galaxies. Le premier cas a été découvert par une équipe de l'Observatoire de Toulouse dans l'amas appelé A370 (il s'agit de l'amas Abell 370 où la lettre A désigne l'auteur du premier catalogue fondamental d'amas de galaxies établi en 1958 par l'astronome américain Georges Abell et où 370 désigne le numéro de l'amas dans ce catalogue) à partir d'observations effectuées avec les deux télescopes de 3,60m dont dispose la communauté française (télescope Canada-France-Hawaii situé à Hawaii et télescope de l'ESO : European Southern Observatory situé au Chili). La découverte française a été confirmée au début de cette année par une équipe américaine qui a également détecté le même type de structure dans un autre amas de galaxies (désigné par 2242-02 d'après ses coordonnées équatoriales). Dans les deux cas, la structure mise en évidence se présente comme un immense arc lumineux étroit et de forme circulaire, proche du centre de l'amas et de galaxies elliptiques géantes et dont la concavité est tournée vers le centre de gravité de l'amas. Comme les deux arcs sont superposés chacun sur un amas de galaxies il a semblé naturel de les associer physiquement à l'amas. Dans le cas de A370, on connaît le décalage spectral relatif de l'amas : $z = \Delta\lambda / \lambda = 0,373$, d'où l'on peut déduire sa distance d d'après la loi de Hubble (ici en première approximation, cela fournit en utilisant $d = V_r / H$, où V_r désigne la vitesse radiale de fuite $\approx 0,3c$ et H la constante de Hubble, avec $H = 75$

km/s/Mpc : $d \approx 1300$ Mpc; 1Mpc=1 million de parsecs=3,26 millions d'années de lumière) et les dimensions de l'arc lumineux : environ 100 kpc en longueur et 5 kpc en largeur (1 kpc= 1000parsecs); pour comparaison, rappelons que le diamètre moyen d'une galaxie, telle la nôtre, est de 30 kpc environ.

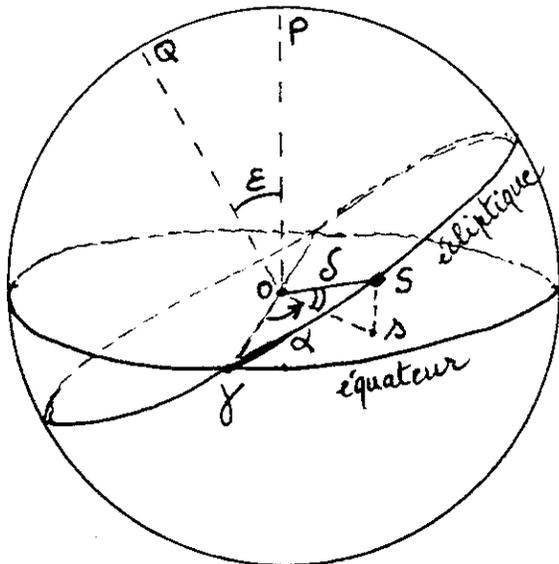
Ces structures se révèlent sur les clichés obtenus avec les détecteurs extrêmement sensibles que sont les caméras à CCD (pour Charge Coupled Device); sur un tel cliché, avec un temps de pose de l'ordre de 15 min, apparaissent à la fois les images relativement compactes des galaxies individuelles de l'amas et le rayonnement diffus constituant les arcs dont la brillance superficielle est beaucoup plus faible. Ces structures particulières sont un phénomène très rare puisque sur près de 450 amas étudiés jusqu'ici avec des caméras à CCD par diverses équipes, deux cas seulement ont été recensés. Comprendre la nature et l'origine de ces arcs est bien sûr un défi qui a suscité de nombreuses spéculations théoriques. L'une de ces théories considère que les arcs pourraient se composer d'étoiles formées à la suite de phénomènes catastrophiques se déroulant dans les galaxies situées au centre de l'amas; mais ce type de scénario nécessite qu'une quantité très importante de gaz soit présente entre les galaxies de l'amas, ce que l'on n'observe pas; de plus, la structure ainsi formée serait plutôt une bulle d'étoiles avec du vide à l'intérieur et non pas une structure linéaire en ruban. Une alternative très élégante à ce type de théorie met en jeu le phénomène de **lentille gravitationnelle** (voir les C.C. n° 18 p.3 et n° 30 p.21). En effet, dans le cas où l'on a sur la ligne de visée un alignement exact d'une source lumineuse ponctuelle lointaine située derrière un centre d'une lentille gravitationnelle à symétrie axiale, l'observateur perçoit une image de cette source qui est un cercle lumineux (appelé "anneau d'Einstein"). L'image peut être plus complexe (par ex. : arc incomplet au lieu d'un cercle, 2 arcs symétriques au lieu d'un seul) si ces conditions particulières ne sont pas exactement réalisées (par ex. : lentille non symétrique, alignement non parfait). Dans ce type de scénario, l'amas dans son ensemble jouerait simplement le rôle d'une lentille gravitationnelle défectrice agissant sur une galaxie lointaine - la source- située plus loin que l'amas et presque exactement le long de la ligne de visée allant de l'observateur au centre de l'amas : l'image prévue dans ce cas est tout à fait analogue aux arcs lumineux géants observés.

Une observation cruciale permet de tester cette explication. Il s'agit ici d'observations spectroscopiques de l'arc lumineux pour déterminer son décalage spectral, donc sa distance comme cela a été expliqué précédemment; si le décalage est bien supérieur à celui de l'amas, l'explication par effet de lentille gravitationnelle devient extrêmement probable, par contre, si ce décalage est voisin de celui de l'amas, des processus internes à l'amas devraient être à l'origine des arcs. L'équipe française a tout récemment mesuré ce décalage en obtenant le spectre d'une partie de l'anneau de A370 et a obtenu $z=0,59$. Il s'agirait donc bien de l'image d'une galaxie située **derrière** l'amas. Ceci est une première confirmation remarquable en faveur de l'explication par effet de lentille gravitationnelle. D'autres observations spectroscopiques sont prévues dans la totalité de la structure en arc de A370 et également dans l'amas 2242-02 où pour le moment aucune mesure spectroscopique n'existe.

Outre leur intérêt du point de vue de la vérification de la théorie de la Relativité Générale, ces observations présentent un grand intérêt astrophysique parce qu'elles permettent d'avoir accès très directement - sans hypothèses physiques particulières- à la valeur de la masse défectrice traversée le long de la ligne de visée, c'est-à-dire essentiellement la masse du coeur de l'amas (dans le cas de A370 elle est de l'ordre de 1 à $2 \cdot 10^{14}$ masses solaires). C'est un moyen d'étude puissant de la répartition de la masse sombre dans l'Univers.

DESSINE MOI L'ECLIPTIQUE !

1. Le Soleil et la Terre:



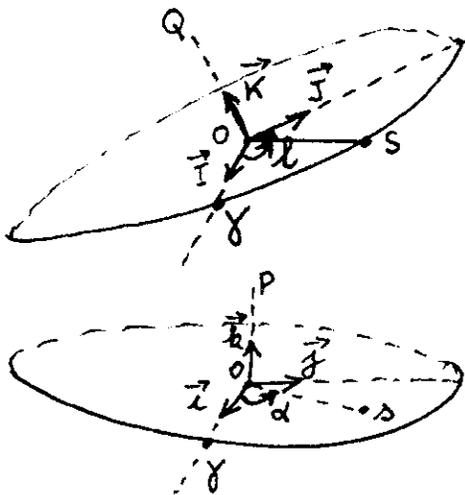
Sur la sphère céleste, le Soleil semble faire un tour complet autour de la Terre placée en O pendant un an. La trajectoire apparente annuelle du centre S du Soleil est l'écliptique.

Celui-ci est incliné d'un angle ϵ sur l'équateur.

P et Q sont les pôles nord de ces deux grands cercles; ainsi $\widehat{POQ} = \epsilon$.

Si S est la position du Soleil à un instant donné, s est sa projection orthogonale sur l'équateur.

La déclinaison de S à cet instant est $\widehat{SOs} = \delta$ et son ascension droite $\widehat{\gamma Os} = \alpha$.



Dans le plan de l'écliptique la position de S est définie par sa longitude géocentrique: $\widehat{\gamma OS} = l$

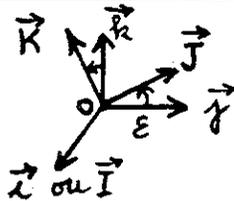
Exprimons les coordonnées de S dans le repère orthonormé $O, \vec{I}, \vec{J}, \vec{K}$

$$\vec{OS} = \cos l \cdot \vec{I} + \sin l \cdot \vec{J} \quad (1)$$

Faisons de même dans le repère $O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ lié à l'équateur:

$$\vec{OS} = \cos \delta \cdot \cos \alpha \vec{i} + \cos \delta \cdot \sin \alpha \vec{j} + \sin \delta \vec{k} \quad (2)$$

2. Le repère a tourné:



On remarquera que le repère écliptique se déduit du repère équatorial par une rotation autour de la droite Oγ, l'angle étant ϵ ;

ainsi $\vec{I} = \vec{i}$ et $\vec{J} = \cos \epsilon \cdot \vec{j} + \sin \epsilon \cdot \vec{k}$

et en remplaçant dans (1) on obtient

$$\vec{OS} = \cos l \cdot \vec{i} + \sin l \cdot (\cos \epsilon \cdot \vec{j} + \sin \epsilon \cdot \vec{k})$$

et en identifiant avec (2) on en déduit:

$$\begin{cases} \cos l = \cos \delta \cdot \cos \alpha \\ \sin l \cdot \cos \epsilon = \cos \delta \cdot \sin \alpha \\ \sin l \cdot \sin \epsilon = \sin \delta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sin \delta = \sin l \cdot \sin \epsilon \\ \tan \alpha = \tan l \cdot \cos \epsilon \end{cases}$$

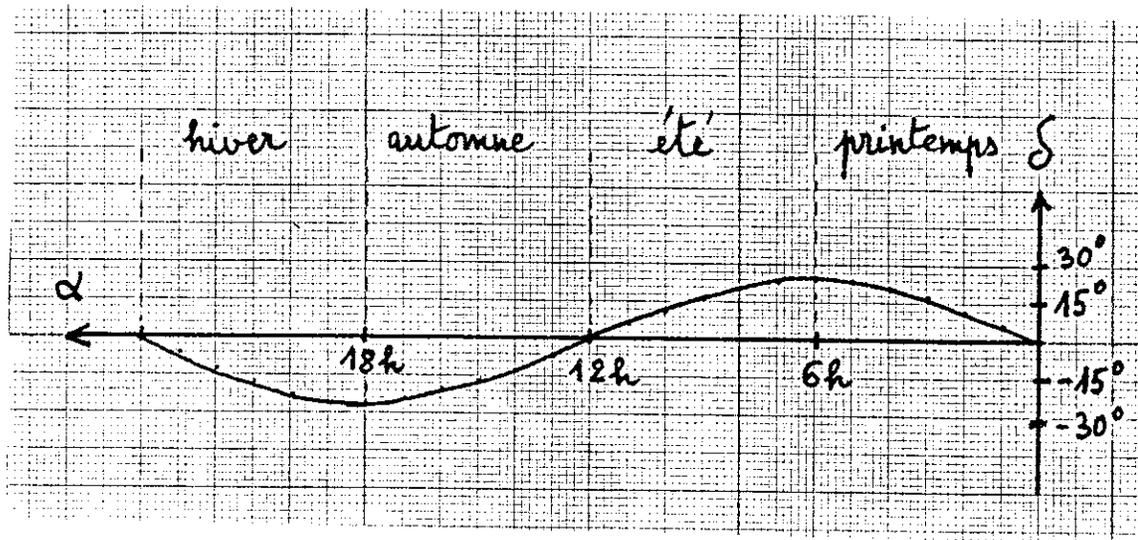
en éliminant l on trouve finalement:

$$\sin^2 \delta = \frac{\sin^2 \epsilon \sin^2 \alpha}{1 - \sin^2 \epsilon \cos^2 \alpha} \quad \text{avec } \epsilon = 23;44^\circ$$

Il suffit de faire les calculs pour un quart de tour de S (vive le printemps!) en se rappelant que 15° correspondent à 1 heure pour α . Les autres valeurs s'obtiennent par symétrie.

α	0	30m	1h	1h30	2h	2h30	3h	3h30	4h	4h30
δ	0	3°14'	6°24'	9°25'	12°14'	14°47'	17°03'	18°59'	20°35'	21°50'
α	5h	5h30	6h							
δ	22°43'	23°15'	23°26'							

3. Le dessin:



Jean-Paul ROSENSTIEHL
Club Astro Université Le Mans

STAGE "ASTRONOMIE: DECOUVERTE DU CIEL"

Ce stage est organisé à l'Université Paris-Sud, centre d'Orsay le mercredi après-midi de 14 h à 17 h (12 séances consécutives à partir du 7 octobre 1987). Il s'adresse à tous les enseignants et animateurs scientifiques. Il comporte des conférences, de nature historique, des travaux sur documents d'observation (photos, spectres) et des ateliers consacrés à la construction d'instruments simples ou de maquettes. Des séances d'observation astronomique au moyen du stellarium "starlab" sont également programmées.

Ce stage, similaire dans ses grandes lignes à celui de l'année 1986-1987 sera encadré par l'équipe d'Orsay: L. Bottinelli, J. Dupré, M. Gerbaldi et L. Gouguenheim et des enseignants (M. Bobin, A. Dargencourt, B. Sandré et G. Walusinski).

Pour renseignement complémentaire et inscription, s'adresser à:

L. Gouguenheim
Labo d'Astronomie Bât. 470
91405 ORSAY CEDEX

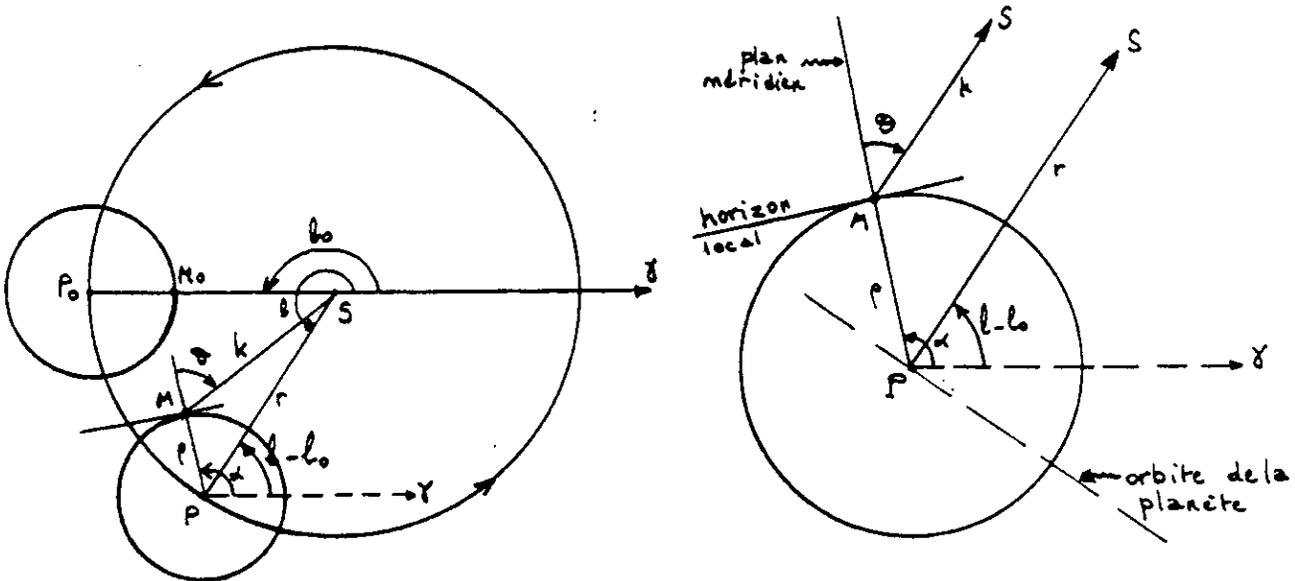
Mouvement apparent du Soleil
vu depuis une planète.

Supposons un moment qu'une sonde spatiale nous ait déposés sur une planète quelconque du Système Solaire (ou d'un autre...). Nous allons devoir apprendre à vivre l'écoulement du temps (jour, année) en utilisant nos habitudes terrestres, c'est à dire en observant le mouvement apparent du Soleil, depuis l'endroit où nous allons "habiter".

1. Etude géométrique.

La planète décrit autour du Soleil une orbite elliptique dont on connaît les paramètres: demi-axe (a), excentricité (e) et période sidérale (\mathcal{C}). Cette planète de rayon ρ tourne sur elle-même. On supposera cette rotation uniforme.

Choisissons l'instant initial tel que le Soleil soit alors vu dans la direction du point vernal δ (équivalent du printemps pour la Terre), et dans le plan méridien. La longitude "écliptique" héliocentrique de la planète est alors $l = l_0 = 180^\circ$.



Quelques temps après, la planète est en P du fait de la révolution, et M_0 est en M, par rapport au Soleil, du fait de la rotation. Les coordonnées polaires du Soleil par rapport à M (méridien et horizon) s'obtiennent par le triangle MPS:

$$\begin{cases} k \cdot \cos \theta = r \cdot \cos(\alpha - (l - l_0)) - \rho \\ k^2 = r^2 + \rho^2 - 2 \cdot r \cdot \rho \cdot \cos(\alpha - (l - l_0)) \end{cases}$$

Pour les planètes connues du Système Solaire, ρ est très petit devant r : même pour Jupiter, $\rho/r < 10^{-4}$. Ainsi les directions MS et PS sont parallèles et les équations se simplifient en;

$$k = r \quad \text{et} \quad \theta = \alpha - (l - l_0).$$

La longitude héliocentrique se calcule par l'équation de Kepler (voir les CC. 26, 27, 28) à partir de l'anomalie moyenne M. En appelant \mathcal{C} la révolution sidérale (mesurée en jours terrestres par exemple), et \mathcal{J} la rotation sidérale (même unité), on a:

$$M = \frac{360^\circ}{\mathcal{C}} \cdot t \quad \text{et} \quad \frac{d\alpha}{dt} = \frac{360^\circ}{\mathcal{J}}.$$

Un cas intéressant est quand \mathcal{C} et \mathcal{J} sont tels que $\frac{\mathcal{C}}{\mathcal{J}} = \frac{p}{q}$ avec p et q premiers entre eux.

2. Calcul de k et Θ .

On se donne les paramètres orbitaux a, e, \mathcal{C} . On choisit $i=0$ ce qui revient à se placer dans le plan orbital, qui est alors le plan "écliptique local". La durée de rotation \mathcal{J} étant connue, la seule variable du problème est le temps t .

Les étapes du calcul sont les suivantes:

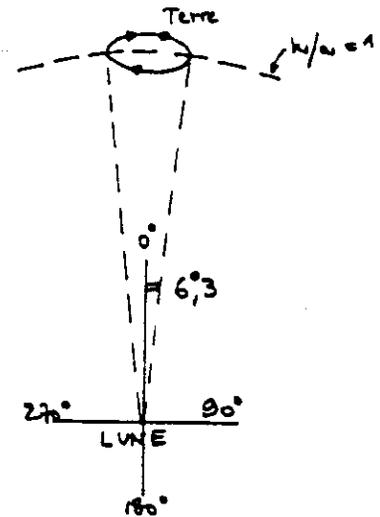
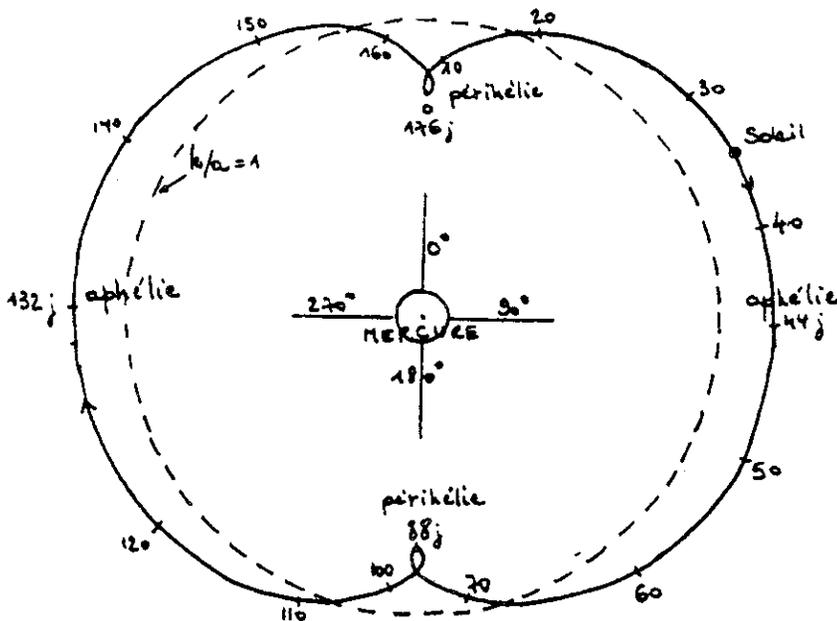
- anomalie moyenne: $M=360^\circ/\mathcal{C} \cdot t$
- anomalie excentrique: $u=M+e \cdot \sin u$ (Equation de Kepler)
- anomalie vraie v par: $\tan\left(\frac{v}{2}\right) = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan\left(\frac{u}{2}\right)$
- longitude héliocentrique: $l=v+\bar{\omega}$ ($\bar{\omega}$ longitude du périhélie, $\bar{\omega}=0$ ici)
- angle de rotation: $\alpha=d\alpha/dt \cdot t$
- distance au Soleil: $r=a \cdot (1-e \cdot \cos u)$ d'où $k/a=1-e \cdot \cos u$
- angle de position apparente du Soleil: $\Theta = \alpha - l + 180^\circ$

On a donc Θ et k/a à l'instant t . Il reste à tracer la courbe $k(\Theta)$ pour différentes valeurs de t .

3. Cas de Mercure.

Les valeurs sont $e=0,2$, $\mathcal{C}=88j$ (jours terrestres) et $\mathcal{J}=58,6...j$. Ainsi, $\mathcal{C}/\mathcal{J} = 1,5 = 3/2$.

Le graphe obtenu montre un résultat quelque peu surprenant: le "jour" mercurien (durée moyenne entre deux levers successifs du Soleil à l'horizon) est le double de l'"année" mercurienne (durée moyenne entre deux passages du Soleil dans une direction de référence, "vu" depuis le centre de la planète).



4. Cas de la Lune.

Ici, $\mathcal{C}/\mathcal{J}=1$ et $e=0,055$ (orbite autour de la Terre). On met en évidence le phénomène de libration, lequel permet de voir, depuis la Terre, 10% de la surface "cachée" de la Lune.

5. Avis aux amateurs.

De tels calculs sont facilités avec l'aide d'un micro-ordinateur, qui peut tracer la courbe $k(\Theta)$ sur un écran. Je conseille ainsi de voir les cas: $\mathcal{C}/\mathcal{J} = 2/3$ ou $3/4$ ou $4/3$ ou 2 ou autres... On obtient d'assez jolies figures! Est-ce la science-fiction ?

Concours général de sciences physiques - 1987

(Classes terminales C, D et E) - Durée : 5 heures

LA MESURE DU TEMPS

(Les différentes parties sont indépendantes entre elles)

I. PROBLEMES DE CALENDRIER

1° L'année ordinaire, appelée tropique, est la durée entre deux équinoxes de printemps successifs. Elle dure "environ" un temps T_c égal à $T_c = 3,15569259747 \cdot 10^7$ secondes.

Un jour dure actuellement un temps $T_1 = 86\ 400$ secondes. Combien y a-t-il de jours dans une année, soit N_1 ?

2° Ce nombre N_1 n'est pas un entier. On est donc conduit à introduire la notion d'année bissextile de 366 jours. D'autre part, les années séculaires ne sont pas bissextiles sauf les années 1600, 2000, 2400, etc. Combien y a-t-il de jours en moyenne dans une année de ce type de calendrier (appelé grégorien), soit N_2 ?

3° Bien sûr, N_2 n'est pas rigoureusement égal à N_1 . L'ajustement n'étant pas parfait, de combien de jours se sera décalé le calendrier au bout de 10 000 ans ? Et, réciproquement, à quelle époque ce décalage sera-t-il de 1 mois ?

4° Indépendamment de cette erreur systématique d'arrondi, il y a une autre cause de dérive: l'année tropique diminue de 5,1 millisecondes chaque année. Au bout de 10 000 ans, quel serait le décalage ?

5° D'autre part, la rotation de la Terre sur elle-même se ralentit. L'allongement du jour qui en résulte est de $4,5 \cdot 10^{-8}$ seconde chaque jour. Quelle en est la cause probable ? En 10000 ans, quel serait le décalage ?

6° Ces trois décalages se compensent-ils ? Discuter brièvement la "durée de validité" du calendrier grégorien.

7° Compte tenu de la donnée de la question 14°, justifier le nombre de chiffres significatifs donné à la première question. Par contre, de combien de chiffres avait-on besoin pour résoudre les questions précédentes ?

II. IRREGULARITES DU JOUR SOLAIRE VRAI

En fait, la durée $T_1 = 86\ 400$ secondes correspond à un jour solaire moyen. Le jour solaire vrai est la durée entre deux passages consécutifs du Soleil au méridien du lieu ; il n'est pas constant. En effet, sur la sphère céleste ayant pour centre la Terre, le Soleil décrit un grand cercle appelé écliptique qui fait l'angle α avec le cercle équatorial. L'intersection des deux cercles se fait selon la ligne des noeuds $\gamma\gamma'$ (Cf fig 1). On donne $\alpha = 23^\circ 27'$.

1° En supposant que le Soleil décrive régulièrement l'écliptique, on aurait :

$$\varphi = \widehat{\gamma TS} = \omega_e(t - t_0) \quad \text{avec } 2\pi/\omega_e = T_c = 1 \text{ an.}$$

On appelle θ l'ascension droite du Soleil, angle dièdre du plan méridien passant par le Soleil et du plan méridien de référence contenant la ligne des noeuds. Montrer que

$$\text{tg } \theta = \cos \alpha \cdot \text{tg } \varphi$$

On rappelle la formule d'approximation : $f(x+h) \approx f(x) + h \cdot f'(x)$. Comme $\sin^2 \alpha/2$ est petit, montrer que la quantité $h_1(N) = (\theta - \varphi)/\omega_1$ vaut sensiblement $-570 \sin 4\pi(N-82)/365$ secondes, N étant le quantième du jour de l'année et $\omega_1 = 2\pi/T_1$. On rappelle que l'équinoxe de printemps a lieu le 82^{ème} jour de l'année.

2° En réalité à cause de l'excentricité e de la trajectoire elliptique de la Terre et de la loi des aires de Kepler, l'angle $\varphi = \widehat{\gamma TS}$ suit la variation temporelle suivante :

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\omega_e [1 + e \cos(\varphi - \varphi_0)]^2}{(1 - e^2)^{\frac{3}{2}}}$$

La dérivée $d\varphi/dt$ est maximum quand la Terre est à son périhélie, atteint le 3 janvier. La valeur de $e = 0,0167$ est petite. Montrer dans ces conditions que la quantité $h_2(N) = \frac{(\varphi - \omega_e t)}{\omega_e}$ vaut sensiblement $450 \sin 2\pi(N-3)/365$ secondes à une constante additive près.

3° Au total, l'heure $H(N)$ à laquelle le Soleil passe au méridien, au jour N , s'exprime aisément à l'aide de $h_1(N)$ et de $h_2(N)$.

Quelle est la durée du jour solaire vrai en fonction du quantième N ? Tracer la courbe correspondante. A quelles dates le jour solaire vrai est-il égal à 24 heures? A quelles dates est-il le plus court? le plus long? Est-ce mesurable par une bonne montre?

III. STABILITE D'UNE HORLOGE ASTRONOMIQUE

Un des problèmes essentiels de la mesure du temps est celui de réaliser des diviseurs et des multiples de l'étalon réguliers et bien stables. L'horloge astronomique sert encore beaucoup.

1° Essentiellement il s'agit d'un pendule composé, de masse m , oscillant dans le champ de pesanteur local g . Soit J le moment d'inertie par rapport à l'axe horizontal et $OG = a$ la distance du centre de gravité G à l'axe. Etablir la formule donnant la période T_0 des petites oscillations en écrivant la loi de conservation de l'énergie.

2° La tige du pendule est supposée de masse négligeable. La masse pendulaire est une boule de rayon $R = 5$ cm, de masse $m = 5$ kg, fixée en son centre à la tige. Que vaut OG pour que le pendule batte la seconde (c'est à dire $T_0 = 2s$)? On rappelle : $J = ma^2 + 2/5 mR^2$. On donne

3° Le coefficient de dilatation linéaire de la boule est $\alpha = \Delta R/R\Delta\theta = 2 \cdot 10^{-5} \text{ .K}^{-1}$. $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$. Calculer le retard par jour pour une augmentation de température $\Delta\theta = 1K$. La tige étant en invar, α ne change pas.

4° Quelle variation de g provoquerait une variation de marche par jour égale à 0,01s? Le passage de la Lune est-il détectable? On rappelle que la Lune, 81 fois moins massive que la Terre, gravite à environ 60 rayons terrestres. Attention, le phénomène est "différentiel".

5° En fait, le mouvement exige pour son entretien une amplitude θ_0 non négligeable. La période devient $T = T_0 (1 + \theta_0^2/16)$. Quelle doit être la nouvelle valeur de $OG = a$ pour que le pendule batte toujours la seconde, avec $\theta_0 = 0,05$ rd? On voudrait que le retard par jour ne dépasse pas 0,01 s. Montrer que la variation d'amplitude $\Delta\theta_0$ doit rester inférieure à $\Delta\theta_{max}$ que l'on déterminera. Quelle est la différence d'énergie ΔE du pendule entre la situation d'amplitude θ_0 et celle d'amplitude $(\theta_0 + \Delta\theta_{max})$? Cette différence est-elle grande par rapport à l'énergie $\Delta E'$ fournie au pendule par période pour entretenir son mouvement? L'énergie est fournie au pendule par un "poids" d'environ 5 kg tombant d'environ 2 m en 10 jours, d'où l'expression "remonter" la pendule.

6° Conclusion : quelle stabilité attend-on d'une bonne horloge astronomique? Quelle précision escompter?

Peut-on détecter les irrégularités du jour solaire vrai (durée entre deux passages consécutifs du Soleil au méridien du lieu)?

Peut-on détecter les irrégularités du jour sidéral (durée entre deux passages consécutifs d'une étoile au méridien du lieu)?

IV. STABILITE D'UNE HORLOGE A QUARTZ

1° Un quartz piézo-électrique peut être décrit comme un dipôle R, L, C série, shunté par une capacité C_1 (Cf fig 2). On donne $C = 10^{-2} \text{ pF}$; $C_1 = 10 \text{ pF}$; $L = 147,5 \text{ H}$ (c'est à dire une inductance apparente élevée), R est provisoirement négligée.

Si la tension aux bornes du quartz est $u(t) = U \cos \omega t$, le courant est $i(t) = \cos(\omega t + \varphi)$.

Montrer que Z peut s'écrire :
$$Z = \frac{1}{C_1 \omega} \left| \frac{\omega^2 - \omega_s^2}{\omega^2 - \omega_p^2} \right|$$

Indiquer les valeurs de ω_s^2 et ω_p^2 . Montrer que ω_p s'interprète aisément comme la pulsation "bouchon" du dipôle, c'est à dire sa pulsation propre, les bornes n'étant pas reliées. Tracer $Z(\omega)$ et $\varphi(\omega)$.

2° Dans le montage de Pierce, on fait émettre l'oscillateur sur la fréquence bouchon du circuit représenté figure 3. En déduire la formule de Pierce donnant la pulsation d'émission ω en fonction de ω_s, ω_p, C_1 et C_2 puis en fonction de ω_s, C_1, C_2 . Calculer C_2 pour que $\omega = 8,23550 \cdot 10^5 \text{ rd.s}^{-1}$.

3° Généralement C et L sont bien stables. Mais C₁ et C₂ sont parasitées souvent par une capacité parallèle ΔC. Expliquer pourquoi on fabrique un quartz de manière que ω_a soit aussi proche que possible de la pulsation ω à réaliser. Dans le cas présent, calculer Δω/ω avec ΔC = 1pF puis 10⁻² pF.

4° Via un comparateur, l'oscillateur fournit des impulsions positives de voltage à la fréquence f = ω/2π. Ces impulsions sont appliquées à l'entrée d'une bascule B₀ dont le signal de sortie s₀ passe instantanément de 0 (état 0) à 5 volts (état 1), puis de 5 volts à 0, etc, cela chaque fois qu'une impulsion est appliquée à l'entrée (Sf fig 4).

On ne garde que la partie positive de ds₀/dt. Montrer qu'on obtient à nouveau une suite d'impulsions positives. Quelle en est la fréquence ?

On effectue 17 fois l'opération précédente. Quelle est la fréquence de sortie ? Application numérique.

5° Que représente le nombre binaire donné par la suite des états des 17 bascules ? Quel énorme avantage représente une horloge à quartz sur une horloge à pendule de ce point de vue ?

6° L'incertitude sur la mesure d'un temps égal à N périodes T est Δt = ΔT √N. Quelle est la précision sur 1 seconde du quartz précédent ?

Si N devient très grand, quelle cause vient limiter la précision ? Comparer justesse, fidélité et précision d'une horloge astronomique et d'une horloge à quartz.

V. STABILITE D'UNE HORLOGE ATOMIQUE

A l'heure actuelle, le temps est défini à partir de la fréquence d'oscillation d'un maser à césium, posée par définition égale à ν_a = 9 192 631 777 Hz.

1° Un maser est essentiellement une cavité électromagnétique de longueur L, qui, vide, produirait une onde stationnaire de pulsation ω_c = πc/L, où c est la célérité de la lumière dans le vide. Expliquer cette relation. Calculer l'ordre de grandeur de L pour un maser à césium.

2° On envoie dans cette cavité des atomes de césium excités, et par interaction entre les atomes et la cavité, une onde de pulsation ω est extraite de la cavité :

$$\omega = \frac{(\omega_a Q_a + \omega_c Q_c)}{(Q_a + Q_c)}$$

Dans cette formule ω_a = 2πν_a, Q_a est le "facteur de qualité" de la raie de résonance atomique, et Q_c est le "facteur de qualité" de la cavité. La pulsation ω_a est très stable, surtout s'il y a peu d'atomes et peu de rayonnement. Théoriquement, la précision ultime pouvant être atteinte est 1/(Q_a √N) où N est le nombre de périodes que dure une mesure sans dérive. Sur 1 seconde, quelle est la précision avec Q_a = 10¹⁰ ?

3° En fait, la pulsation ω_c varie relativement beaucoup. Pour quelles raisons ? En déduire que, pour avoir un instrument fidèle, il ne faut pas avoir Q_c trop élevé, et dans ce contexte, commenter la phrase suivante : rien ne sert d'avoir une mesure précise qui dérive (c'est à dire fausse) ni une mesure juste très imprécise.

4° Un laser est un maser qui opère dans le domaine des ondes visibles. Montrer qu'à facteur de qualité identique, et pour un même temps de mesure, on a intérêt à prendre des lasers plutôt que des masers. Par analogie avec la question IV.5°, montrer que le problème est de compter avec précision le rapport des fréquences laser et maser. Prévoyez-vous un nouveau changement de l'étalon temps ?

5° Mesurer la vitesse de la lumière, c'était mesurer la fréquence d'une transition d'un atome de krypton par rapport à celle du césium. La précision de définition sur la raie du krypton était 10⁻⁹. Expliquer l'abandon de l'étalon krypton pour la définition du mètre en 1983. Quel était alors le nouveau dilemme ? La nouvelle définition du mètre est la suivante : le mètre est la distance parcourue par la lumière dans le vide en un temps égal à 1/299 792 458 seconde.

Prévoyez-vous un nouveau changement de l'étalon longueur ? Ne fera-t-on plus jamais de mesure de vitesse de la lumière ?

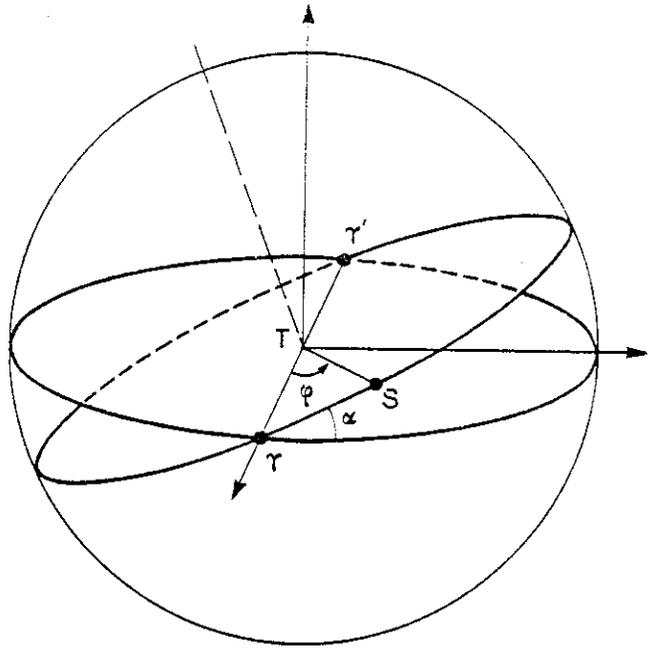


Figure 1

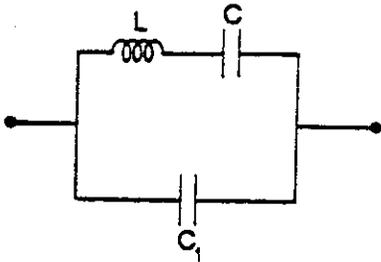


Figure 2

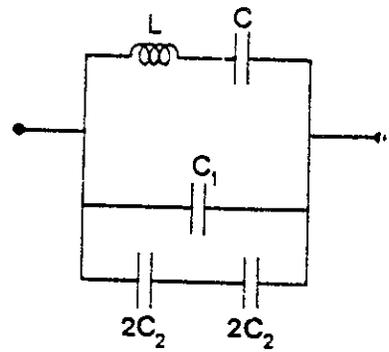


Figure 3

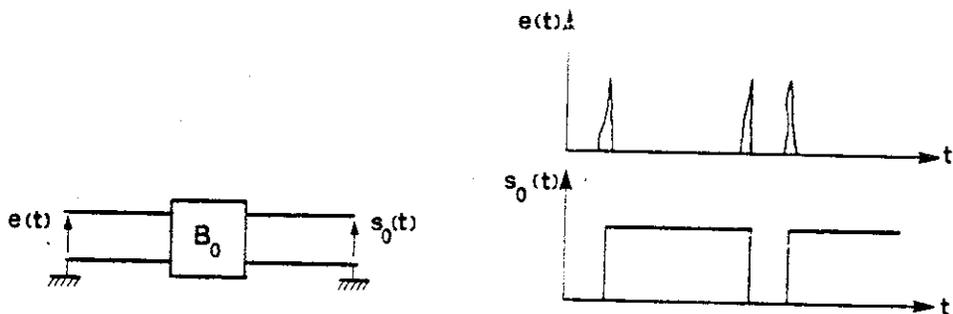


Figure 4

SOLUTION ET CORRECTION DES PARTIES I, II, III

I.1°. Une année comprend $N_1 = T_0/T_1$ jours. $N_1 = 365,2422\dots$ jours.

2°. Une année grégorienne moyenne comprend N_2 jours avec
 $N_2 = 365 + 1/4 - 1/100 + 1/400 = 365,2425$ jours.

3°. Cette année grégorienne est donc trop longue de $3 \cdot 10^{-4}$ jour/an. En 10 000 ans, le décalage sera de 3 jours. En environ 100 000 ans, il sera d'un mois ; on fêterait progressivement Noël aux bourgeons puis aux moissons.

4°. En 10 000 ans, la dérive sera $5,1 \cdot 10^{-3} (1 + 2 + \dots + 10\,000) \approx 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^8 / 2 \approx 2,5 \cdot 10^5$ s soit environ 3 jours ; décalage dans le même sens.

5°. La Terre se ralentit à cause du couple retardateur exercé par la Lune et le Soleil sur le bourrelet des marées océaniques et terrestres, la dissipation d'énergie étant due à la viscosité. L'année comprendra de moins en moins de jours. Au total, le décalage sera $4,5 \cdot 10^{-4} (3,65 \cdot 10^6) / 2$ s soit environ 3 jours.

6°. Ces trois décalages jouent dans le même sens, soit environ 10 jours pour 10 000 ans. Les décalages 4 et 5 varient comme $A \cdot t^2$. L'ajustement grégorien est linéaire en t : B.t. On ne peut songer compenser les uns par l'autre que pendant un temps tel que $Bt \approx At^2$ c'est à dire précisément t \approx 10 000 ans. Inutile par conséquent de chercher à affiner le calendrier grégorien.

7°. On donnait ΔT_0 à 0,1 ms près soit $\Delta T_0 / T_0 \approx 3 \cdot 10^{-4}$; ce qui justifiait la précision donnée au 1°. Le mot "environ" est là pour signifier que T_0 évolue constamment : donc il faut choisir une année particulière pour donner T_0 .

CORRECTION

Beaucoup d'erreurs dans 2° où certains ont trouvé 365,00 365,25 ou 365,2475
 Beaucoup énormément d'erreurs dans 4° et 5° pour trouver la loi en At^2 Certains ont bien raisonné ainsi : au bout de 10 000 ans, l'année aura 51 s de moins ; en moyenne l'année aura eu 51/2 secondes de moins ; décalage total $25 \cdot 10^4$ s ; ce qui était un bon raisonnement.
 Quelques candidats seulement citent la marée comme cause mais aucun ne sait le justifier autrement qu'empiriquement ("on sait que la lune s'est arrêtée déjà, la Terre fera de même").
 Personne n'a trouvé la durée de vie comme $t \propto B/A$. De toute façon, même cette manière de voir est relative au choix de B donc n'est pas intrinsèque.
 La variation de l'année tropique n'a rien à voir avec la variation de l'année sidérale (très stable et égale à environ 365,256 368 mais non mesurable facilement). Cette variation est due à la non linéarité temporelle du terme de précession des équinoxes.

II.1° Projétons le Soleil en σ sur le plan équatorial. θ est l'angle $\widehat{\sigma T \gamma}$. Les coordonnées de $T\sigma$ sont $(\cos \varphi, \sin \varphi \cos \alpha, 0)$ donc $\text{tg } \theta = \text{tg } \varphi \cos \alpha$. Posons alors $\varepsilon = \theta - \varphi$;
 $\text{tg } \theta = \text{tg } (\varphi + \varepsilon) = \text{tg } \varphi + \frac{\varepsilon}{\cos^2 \varphi} = \text{tg } \varphi \cos \alpha$ soit $\varepsilon = -\sin^2 \varphi \cos \alpha (1 - \cos \alpha) = -\sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin 2\varphi$
 avec $2\varphi = 2 \cdot \frac{2\pi}{365} (N-82)$ car $\varphi = 0$ à l'équinoxe de printemps.
 $\frac{\theta - \varphi}{\omega_1} = -\frac{T_1}{2\pi} \sin^2 \frac{\alpha}{2} \sin 2\varphi = -570 \sin 2\varphi$ seconde

2°. Comme e est petit $[1 - 2e \cos(\varphi - \varphi_0)] \dot{\varphi} = \omega_1 (1 + e^2 \cdot 3/2)$
 soit en intégrant $\varphi - 2e \sin(\varphi - \varphi_0) = \omega_1 t + \text{cste}$. Soit $\frac{\varphi - \omega_1 t}{\omega_1} = \frac{2e}{\omega_1} \sin \frac{2\pi}{365} (N-3) + \text{cste}$
 avec $2e/\omega_1 = T_1$, $e/\pi = 460$ secondes.
 (attention : erreur dans l'énoncé qui donnait $e = 0,0318$ au lieu de $e = 0,0167$)

3°. $H(N) = h_1(N) + h_2(N)$. La durée du jour est donc $T_1 + dH/dN = T_1 + z(N)$ avec
 $z(N) = -19,6 \cos 4\pi \frac{N-82}{365} + 7,75 \cos 2\pi \frac{N-3}{365}$ secondes. Le tracé de la courbe montre que $z = 0$ pour le 42 ème, le 135 ème, le 208 ème et le 308 ème jour c'est à dire les 11 février, 15 mai, 27 juillet et 4 novembre. Les jours les plus courts sont le 28 mars et le 17 septembre d'environ -20 s (le 87 ème et le 259 ème), les plus longs sont le 20 juin de 12 s et le 23 décembre de 24 s. Bien sûr tout cela est mesurable sur une bonne montre. Evidemment les erreurs cumulées, $H(N)$ sont, elles, gigantesques puisqu'elle atteignent jusqu'à 15 minutes.

CORRECTION

: seuls deux candidats se sont attaqués à cette partie, la question 2° n'ayant pas été traitée sans doute à cause de l'erreur d'énoncé sur e qui a intrigué les deux candidats.

III. 1°. $1/2 J \cdot \ddot{\theta}^2 + mga (1 - \cos \theta) = cste$; en dérivant $J\ddot{\theta} + mga \sin \theta = 0$ donne pour les petites oscillations $T_0 = 2\pi\sqrt{J/mga}$

2°. $J = J_0 + ma^2 = 2/5 mR^2 + ma^2$ Soit l tel que $T_0 = 2\pi\sqrt{l/g}$; alors $l = a + 2/5 R^2/a$; soit deux racines $a_1, 2/5 R^2/l$ irréalisable et a_2, l .

Application numérique : $l = 99,396 \text{ cm}$ $a = 99,295 \text{ cm}$ $\simeq 99,3 \text{ cm}$.

3°. Si R devient $R + \Delta R$, l devient $l + \Delta l$ avec $\Delta l = 4/5 (R/a)\Delta R$

$$\Delta T/T = 1/2 \Delta l/l = 2/5 R^2/al (\propto \Delta \theta)$$

Application numérique : $\Delta T/T = 2 \cdot 10^{-8}$ soit $\Delta T = 4 \cdot 10^{-8} \text{ s}$. Retard par jour = $4 \cdot 10^{-8} \text{ s} \times 43200$

On pouvait aussi faire le calcul à la machine $\frac{T_0'^2 - T_0^2}{T_0^2} = \frac{T_0' - T_0}{T_0}$

4°. $\Delta T/T = -1/2 \Delta g/g$ soit $\Delta g = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-2}$. Si on calcule g Lune on trouve

$g_L = g \cdot 1/81 \cdot 1/60 = g \cdot 34 \cdot 10^{-7}$ cela devrait donc être détectable. Mais non, car l'effet est différentiel ; seule se manifeste g effectif = g Lune(M) - g Lune(T) $\simeq g$ Lune $2R/d = g_L \cdot 1/30$

il est donc à peine détectable ; plus exactement, rien ne sert de faire une horloge plus précise puisque son mouvement devrait tenir compte de l'influence de la Lune.

5°. Avec $\theta_0 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ rd}$ ($\leq 30^\circ$), l devient $99,365 \text{ cm}$ et $a_2 = 99,264 \text{ cm}$. La variation sur a_2 est donc infime de $32 \mu\text{m}$, ce qui est difficile à ajouter mais doit être faisable.

Si l'amplitude change $\theta_0 \rightarrow \theta_0 + \Delta \theta_0$, la période change $T \rightarrow T + \Delta T$ avec $\Delta T = T \cdot \theta_0 \Delta \theta_0 / 8$

$$\Delta T/T < 1,2 \cdot 10^{-7} \Rightarrow \Delta \theta_0 < 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ rd} = 6'' = \Delta \theta \text{ max}$$

$$E = E \text{ cin} + E \text{ pot} = mga (1 - \cos \theta_0)$$

$$\Delta E = mga \sin \theta_0 \Delta \theta_0 \simeq mga \theta_0 \Delta \theta_0 = mga \cdot 8 \Delta T/T = mga \cdot 10^{-6} \Delta E/E \simeq \Delta \theta_0 / 2 \theta_0 \simeq 2 \cdot 10^{-4}$$

Par période on fournit $\Delta E' = mga \cdot 2/86400 \cdot 2 = 200 \mu\text{J}$ Ce qui veut dire que l'énergie fournie ne laisse pas θ_0 constante, non plus que l'énergie perdue. Certes cela se compense, mais tout espoir de descendre en deçà du 1/1000 de seconde est relativement exclu.

6°. Conclusion : on peut attendre d'une bonne horloge 10^{-2} s par jour voire 1 s par ans. Thermo-stater l'horloge, assurer un transfert régulier de l'énergie d'entretien de façon que l'horloge batte toujours de la même façon est impératif. Au delà, on voit que de multiples facteurs mal contrôlables entrent en jeu : il faudrait voir comment se répercutent sur la marche de l'horloge, la variation de $g(t)$ (due à la Lune et au Soleil, aux vibrations du sol, etc.), la variation de longueur $l(t)$ (usure du couteau, dilatation) et la variation d'amplitude $\theta_0(t)$ (transfert d'énergie mal synchronisé) et ceci SIMULTANEMENT. Cela devient inextricable : on préfère s'adresser à un autre système.

Les irrégularités du jour solaire sont aisément détectables (10s/jour). Les irrégularités de la rotation de la Terre de l'ordre de quelques ms sont peu perceptibles.

CORRECTION

Trop nombreux sont les candidats ignorant la démonstration de la formule du pendule composé.

L'usage des calculatrices rend plus faciles les calculs des petites variations mais pourquoi ne plus en faire du tout : ces correctifs sont le lot quotidien du physicien. Il faut savoir les effectuer rapidement pour évaluer les erreurs systématiques.

Vous aimeriez discuter du contenu des Cahiers Clairaut ou des activités du CLEA. Excellente idée.

Pour la traduire en actes notez la date
samedi 21 novembre 1987

ASSEMBLEE GENERALE DU CLEA

de 10 heures à 18 heures, des échanges et des conférences dans le climat CLEA.

Brève rencontre avec Jean-Baptiste Biot

Pendant les vacances, il nous arrive de voyager et de faire des rencontres imprévues. Cet été, le mauvais temps m'a maintenu à l'intérieur plus souvent que j'aurais souhaité. J'ai remué des livres dans un rayon peu accessible de ma bibliothèque. C'est là que j'ai fait une bonne rencontre, le livre de Jean-Baptiste Biot "Etudes sur l'astronomie indienne et sur l'astronomie chinoise" (édition de 1862, nouveau tirage 1969 de la librairie Blanchard). J'aurai sans doute bien des occasions de citer ce livre que j'avais un peu oublié parce qu'il était caché par des livres plus récents. Cette redécouverte m'a amené à chercher des renseignements sur l'auteur - je n'aime pas lire un livre sans me soucier de l'auteur, quand vivait-il, où, que faisait-il, que pensait-il...

Je suis donc parti à la recherche de Jean-Baptiste Biot. Né et mort à Paris me dit le dictionnaire : 1774-1862. Tiens, justement l'année de la publication du livre cité qui est donc une oeuvre de vieillesse. Dans sa jeunesse, il a du être un élève proche de Laplace puisqu'on me dit qu'il a participé à la correction des épreuves de la Mécanique céleste. On peut imaginer l'étudiant remarqué par le maître et qui s'empresse avec zèle d'aider à la tâche ingrate de relecture des épreuves du grand traité. Les liens entre eux ont duré puisque c'est grâce au soutien de Laplace que notre Jean-Baptiste devient professeur au Collège de France en 1800. Sa compétence est alors reconnue puisqu'en 1809 il est, en plus, chargé d'une chaire d'astronomie physique qui connut un grand succès. J'ai oublié de dire qu'au Collège de France c'était une chaire de physique qu'il occupait.

Biot eut une activité très variée d'homme de science et d'écrivain. Il participa aussi à des expériences célèbres et qui n'étaient pas sans risque. En 1804, avec Gay-Lussac, il participe à la première ascension en ballon dans un but scientifique. En 1806, il part en Espagne avec le jeune Arago pour prolonger là-bas la triangulation de Méchain ; il rentre en France le premier et échappe ainsi aux aventures que Arago nous raconte de façon si plaisante dans "Histoire de ma jeunesse" que la collection Epistémé des éditions Christian Bourgois a eu la bonne idée de republier récemment. En 1817, Biot voyage encore aux Orcades pour vérifier des mesures méridiennes.

Autre contribution astronomique, avec le physicien allemand Ernest Chladni, il avait reconnu l'origine céleste des météorites en 1794. Aussi fit-on appel à lui pour étudier les objets qui avaient arrosé la région de L'Aigle, dans l'Orne, en 1803, le 26 avril exactement nous raconte Flammarion et le rapport de Biot devant l'Académie des Sciences emporte la conviction générale, ces pierres étaient bien tombées du ciel, beaucoup auparavant ne pouvaient l'admettre.

Biot retrouve Arago pour étudier la conduction thermique dans les gaz et la mesure des densités. Avec l'Ecossois David Brewster, il étudie les propriétés optiques des cristaux et découvre les lois de la polarisation rotatoire.

Quant à la loi connue sous le nom de loi de Biot et Savart, elle fut formulée telle qu'on la connaît par Laplace en 1820 et concerne les interactions entre aimants et courants électriques continus.

Biot fut aussi un écrivain prolifique. Des traités de physique faisant une large place à l'optique. Mais aussi des considérations historiques, depuis son "Essai sur l'histoire des sciences pendant la Révolution" jusqu'au livre qui m'a fait rencontrer Biot sur l'histoire de l'astronomie chinoise.

Dans ce dernier travail, Biot fut aidé par son fils Constant qui était devenu un savant sinologue, mais qui malheureusement disparut avant son

père. Et c'est celui-ci qui fit éditer les traductions réalisées par le jeune savant.

Jean-Baptiste Biot connut aussi les honneurs ; membre des l'Académie des Sciences en 1802, il est aussi élu à l'Académie Française en 1856. Il semble d'ailleurs avoir bien supporté les bouleversements politiques que connut la France pendant sa vie. Mais dans une note en bas de page du tome 3 de "Science and Civilisation in China" par Joseph Needham, j'ai trouvé un aspect de la vie de Biot qui m'a plu : devenu un vieil homme Jean-Baptiste Biot sut reconnaître l'importance des travaux d'un jeune et obscur chercheur qui venait de découvrir les deux formes stéréoisomères de l'acide tartrique . Ce jeune chercheur était Louis Pasteur.

Bref, pendant ces jours sombres d'un été pluvieux (et moi je ne le suis pas moins), j'ai fait un peu connaissance avec Jean-Baptiste Biot qui connut Laplace, Arago et Pasteur. Brève mais bonne rencontre.

K.Mizar

LE COURRIER DES LECTEURS

UN APPEL de la Commission Inter IREM d'Astronomie

La Commission Inter IREM d'Astronomie prépare une publication regroupant de nombreux thèmes relatifs à l'observation des mouvements apparents des astres. A cet égard, un appel est lancé à tous les observateurs et photographes du ciel du CLEA pour participer à la réalisation d'une collection de clichés des phases de la Lune sur une même lunaison, du disque du Soleil sur une même année, des reliefs lunaires à grande focale ainsi que des rapprochements de planètes ou tout autre phénomène céleste mettant en évidence les mouvements apparents ou relatifs des corps célestes (astéroïdes par exemple). Les clichés retenus seront publiés avec le nom de leur auteur.

Pour tous renseignements s'adresser à Christian DUMOULIN
IREM, 123 rue Albert Thomas, 87060 LIMOGES
ou 21 rue Corneille, 87920 CONDAT SUR VIENNE.

Le cours de Paris VI

Tout comme en 86-87, un stage de 30 heures intitulé "METHODES SPATIALES DE L'ASTRONOMIE" débutera le 24 novembre 1987 à l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI) pour les enseignants de l'académie de Créteil.

Au programme, deux thèmes liés à l'actualité : les missions franco-soviétiques vers Mars et la mise en orbite du grand télescope spatial.

Parmi les méthodes destinées à assurer cette initiation à l'astronomie (1er et 2 ème cycle) et aux techniques spatiales : conférence avec moyens audio-visuels, expériences en spectroscopie, réalisation de maquettes, applications à la mécanique, observations astronomiques, ...

Pour toute information, contacter A.C.LEVASSEUR-REGOURD, Service d'Aéronomie du CNRS (69 20 10 60) ou Y.BOUSQUET à l'Institut d'Astrophysique de Paris (43 20 14 25).

L'école de Steige 1988

On sait que cette année, l'école d'été de l'académie de Strasbourg n'a pu avoir lieu, faite de locaux disponibles. Bonne nouvelle: l'école d'été 1988 aura lieu dans des locaux rénovés, au col de Steige et avec un programme alléchant ; ne projette-t-on pas de construire un radiotélescope ! Retenir que l'école aura lieu au début de juillet.

UNE SPHERE ARMILLAIRE

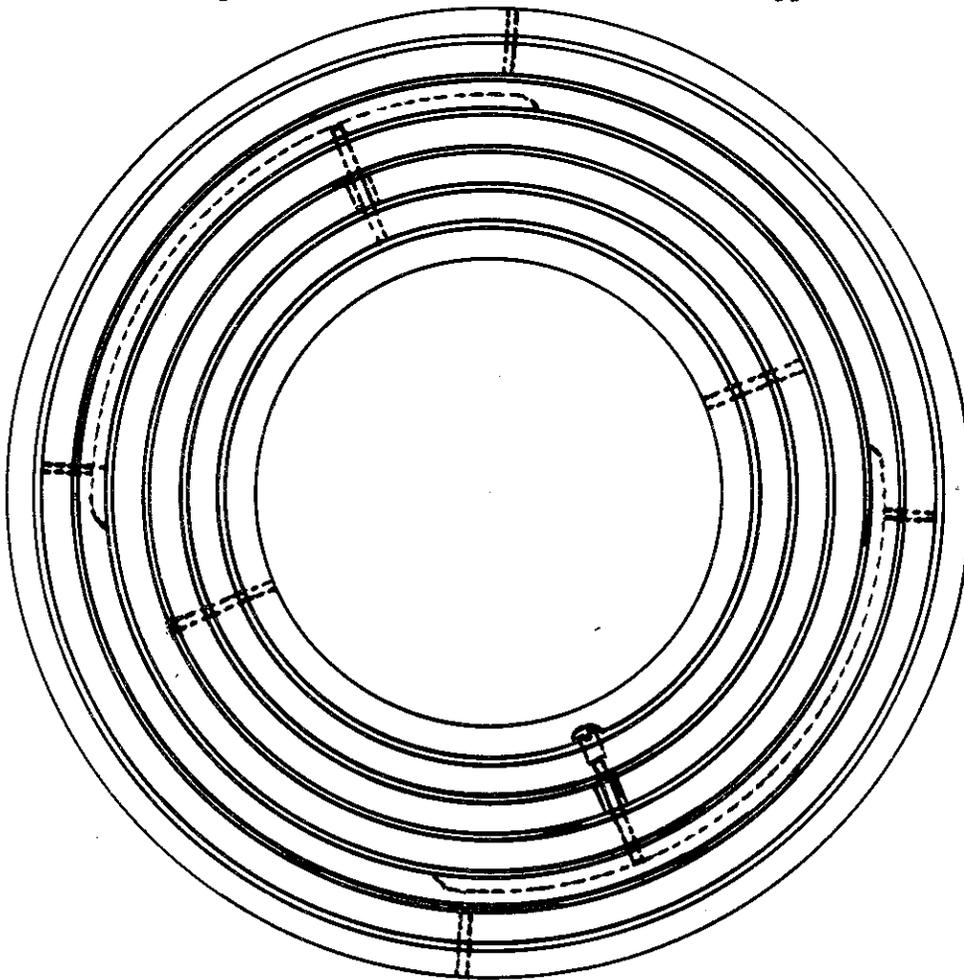
Comme son nom l'indique, une sphère armillaire est constituée d'anneaux. Ceux qui ont eu la chance de participer à des Ecoles ou Universités d'été ont pu en admirer de magnifiques en bois, parfois orné de marqueterie. Quel travail! Que de temps passé! Que de patience! Mais le résultat est là: des oeuvres d'art.

Certains ont proposé des modèles simplifiés (carton et polystyrène) ou de grands modèles en carton. Mais avez-vous remarqué l'encombrement? Pas facile à transporter, alors pourquoi ne pas réaliser une sphère PLIABLE.

Il suffit de découper dans du contreplaqué (se déforme) ou du duralumin (pas facile) sept anneaux concentriques en prévoyant un certain jeu.

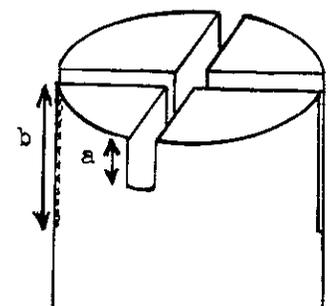
Une fois placés dans un support (plexiglas ou bois) les trois anneaux extérieurs (Horizon, Vertical et Méridien du lieu) seront fixes. Les autres seront mobiles autour de l'axe des pôles; le plus petit matérialisera l'Equateur céleste, un autre l'Ecliptique.

La position des axes et la forme du support sont représentées ci-dessous.



- le plus grand anneau $\varnothing = 27$ cm
- largeur des anneaux $l = 7$ mm
- épaisseur du duralumin $e = 4$ mm

$$a = \frac{2}{3} l$$
$$b = 3 l$$



collé sur une
plaque

- Remarques:- il est absolument nécessaire de tracer deux axes perpendiculaires sur la plaque de duralumin avant de découper les anneaux.
- il serait également intéressant, avant découpage, de tracer les graduations de certains anneaux.
 - deux rainures faites dans l'épaisseur du troisième anneau permettent de régler la latitude.
 - une vis placée dans l'avant dernier anneau permet le blocage en latitude.

Rôle de chaque anneau repéré par les lettres A à G du plus grand au plus petit.

- A - Vertical du lieu.
- B - Horizon, gradué en azimut de 0° à 360° .
- C - Méridien, gradué de 0° à $+90^\circ$ dans la zone portant une rainure, et de 0° à -90° dans la zone portant l'autre rainure.
- D - porte les déclinaisons de -90° à $+90^\circ$.
- E - Ecliptique, porte deux rainures dans son épaisseur pour laisser passer l'axe des pôles quand l'ensemble est plié.
- F - anneau perpendiculaire à D.
- G - Equateur gradué en ascension droite de 0h à 24h.

Jean RIPERT, La Garde.

§ § § § § § § § § § § § § § § §

A ORSAY: STAGE "STRUCTURE INTERNE ET EVOLUTION DES ETOILES"

Un stage nouveau, sur le thème des étoiles, est proposé aux enseignants scientifiques. Il débutera le 18 janvier 1988 et se déroulera pendant 9 séances consécutives le lundi après-midi, de 14h à 17h à l'Université Paris-Sud, Bât. 470 (laboratoire d'astronomie).

Les activités comporteront des conférences et des exercices pratiques (détermination des propriétés physiques du Soleil et des étoiles à partir de documents d'observation).. Quelques séances d'observation au moyen du stellarium "starlab" sont également programmées.

L'équipe pédagogique comporte les astronomes d'Orsay, (L. Bottinelli, J. Dupré, M. Gerbaldi, L. Gouguenheim) et des enseignants (M. Bobin, A. Dargencourt, B. Sandré)

Pour tout renseignement et inscription, s'adresser à: L. Gouguenheim
Labo d'astronomie Bât. 470
91405 ORSAY CEDEX

La chronique du CLEA

juin - septembre 1987

NOTRE NOUVEAU CALENDRIER

Comme le rappelle l'éditorial, la réforme cléatique du calendrier consiste à rattraper un trimestre afin que les abonnements aux Cahiers Clairaut correspondent à l'année civile. De ce fait l'actuelle dixième année des Cahiers comportera les numéros 37 (été), 38 (automne) et 39-40 un numéro double (hiver 87-88).

Les abonnés n'y perdront rien : le numéro double s'annonce bien avec des contributions exceptionnelles de J.-C. Pecker, E. Schatzman, A. Acker, H. Gié, J. Vialle, D. Bardin, J. Ripert, M. Toulmonde, J.-P. Rosenstiehl, ...

De ce fait l'assemblée générale du CLEA est avancée. Au lieu de la tenir en janvier, grâce à quoi nous fûmes plusieurs fois victimes des grands froids, elle aura lieu le samedi 21 novembre à 10 heures à l'Université d'Orsay. Les adhérents au CLEA recevront courant octobre une convocation qui leur précisera le programme de cette journée. Ils noteront que notre réforme du calendrier entraîne la tenue de deux assemblées générales en 1987, le CLEA ne se refuse rien.

La soudure des abonnements

Tous les abonnés de la neuvième année (n°33 à 36) ont reçu le cahier 37. Pour ceux qui n'avaient pas renouvelé l'abonnement une astucieuse étiquette tirée par Jacques Dupré leur rappelait qu'ils étaient en retard : "Ciel ! mon abonnement se terminait au n° 36" Beaucoup d'entre vous ont apprécié ce rappel amical mais certains n'y ont pas pris garde et vont se trouver privés du Cahier 38 ; le secrétariat en sera quitte pour leur envoyer une dernière lettre de rappel.

Notre réforme du calendrier présente un inconvénient : dès janvier 1988, elle proposera le renouvellement pour la onzième année, n° 41 à 44, année 1988. Il est vrai qu'un bon nombre d'entre vous ont profité de la solution des abonnements pour deux ans, ceux-là pourront attendre janvier 1989. Dans tous les cas, regardez-donc la bande d'envoi : Jacques vous dit tout, à gauche notre numéro d'abonné, à droite le dernier numéro auquel vous donne droit votre abonnement



VIRY - 39360 VAUX-LES-ST-CLAUDE
Tél. 84.42.47.51

MATERIEL D'INITIATION ASTRONOMIQUE SIMPLE DE GRANDE VALEUR PEDAGOGIQUE

Pour enseignants, animateurs de clubs
et moniteurs de camps de vacances.

- KITS POUR REALISER DES LUNETTES SIMPLES \varnothing 40 ou \varnothing 50 - G 40 ×
..... A PARTIR DE 133,00 F
- KITS POUR REALISER UN TELESCOPE SIMPLE \varnothing 90 - G 34 × et 84 ×
..... A PARTIR DE 781,00 F
- KITS POUR REALISER UN APPAREIL PHOTO SIMPLE \varnothing 50 - F 230
..... A PARTIR DE 130,00 F
- MAPPEMONDE \varnothing 60 mm POUR REALISER UN GEOSCOPE LUNI-SOLAIRE
(voir Astro-Ciel n° 12 de Mars - Avril 1987)
..... A PARTIR DE 24,00 F

DOCUMENTATION DETAILLEE ET GRATUITE " MATERIEL PEDAGOGIQUE " (à préciser) SUR DEMANDE

PARMI NOS LETTRES - De Victor Aguerre, l'annonce de l'ouverture de classes de découverte faisant une large place à l'astronomie au centre de loisirs de Penarroya, 1 allée de l'Empereur, 64600 ANGLET (tél 59 63 03 01). Pour tous renseignements écrire à Victor, 54 av J-F.Kennedy, 64200 BIARRITZ

- De Maurice Carmagnole (Sollies-Toucas) qui a confectionné un programme pour que son ordinateur lui donne des anagrammes. Envoici quelques exemples : MONTRE A SOI (astronomie), PI CLIQUEZE (écliptique), ELLE Y TACHE LA MODE (la comète de Halley), TU CHARRIES LA CIA (Cahiers Clairaut) et LA MIGNONNE ASSOCIATION DES MINETTES ROSES (Comité de Liaison enseignants astronomes).

- De F.Raba (Pontarlier), une chaude approbation de l'article de Anne-Marie Louis sur le spectacle du planétarium de La Villette. A côté de lui, un spectateur du programme "Les enfants du Soleil" s'est même endormi et ce n'était pas par insolation.

- D'un correspondant à la signature peu lisible : "Je serais prêt à mettre un peu plus d'argent dans l'abonnement pour obtenir des Cahiers Clairaut non pliés. Quoique, d'un autre côté, ainsi pliés, ils tiennent tout seuls en position verticale sur ma table ce qui en facilite la lecture. Comment choisir ?"

Une date à retenir :

samedi 21 novembre 1987

ASSEMBLEE GENERALE DU CLEA

Rappel des tarifs des abonnements

Abonnement seul (n°37 à 40) ... 60 F (soutien 80 F) -Cotisation CLEA 1987:25F
Abonnement (n°37 à 40) et cotisation 1987 ... 30 F (soutien 100 F)

Pour deux ans : abonnement simple (n°37 à 44) ... 120 F
abonnement (n°37 à 44) et cotisation 87 et 88 ... 160 F

Fiche d'abonnement aux Cahiers Clairaut
Fiche d'adhésion au CLEA

Mr Mme Mlle

NOM (en capitales) prénom

Adresse

CODE POSTAL

désire s'abonner aux Cahiers (n° 37 à)

désire cotiser au CLEA

désire recevoir la collection complète des Cahiers (n°1 à 36), 350F

Libeller le chèque ou virement à l'ordre du CLEA, puis adresser fiche et chèque joints au secrétaire trésorier G.Walusinski, 26 Bérengère, 92210StCLOUD

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLEA

Directeur de la publication : L.Gouguenheim, Université de Paris-Sud, Laboratoire d'astronomie,
bât 470, 91405 ORSAY CEDEX

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

Edité à l'Université Paris-Sud, Laboratoire d'astronomie, bât 470 91405 ORSAY CEDEX

Prix du numéro 15 F ; abonnement simple (4 numéros) 60 F

Dépot légal : 1 er semestre 1979 ; numéro d'inscription à la CPPAP : 61660

