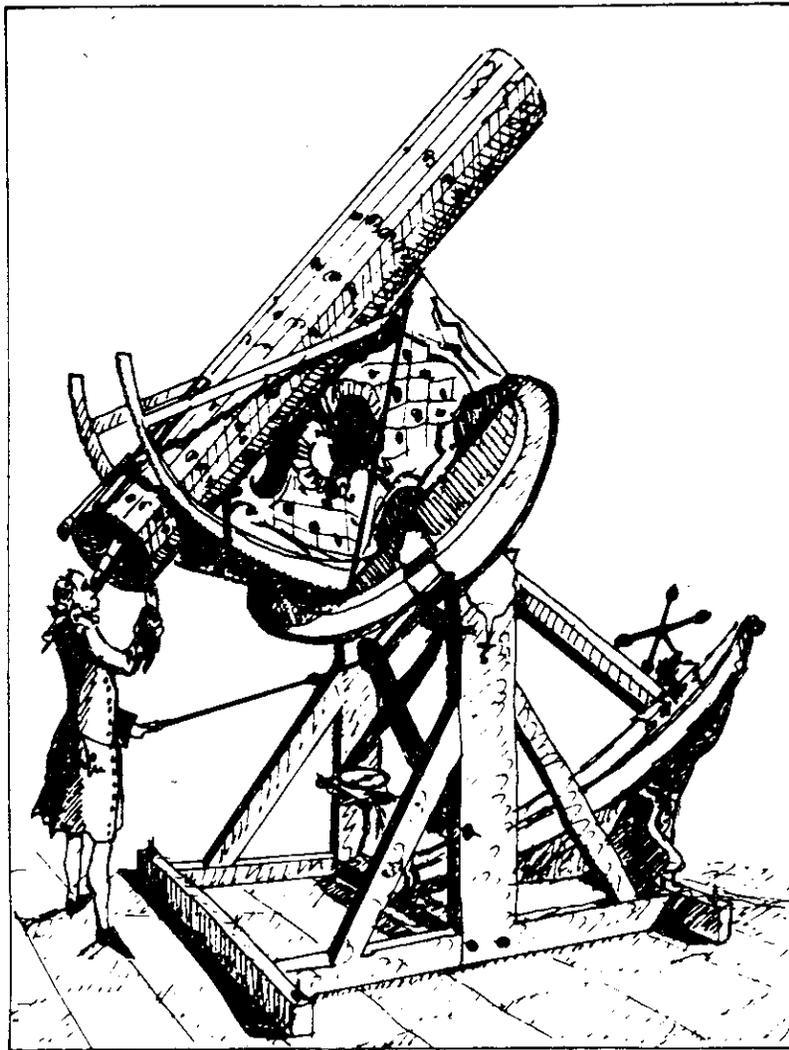


les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°28 - printemps 1985

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 28 Printemps 1985

Table listing contents and page numbers: La nouvelle organisation du secrétariat et de la trésorerie... 3, Réabonnez-vous sans attendre... 3, Règles à bien lire et à bien suivre... 3, etc.

EDITORIAL

Ce numéro est le dernier de l'abonnement en cours. Nous insistons pour que vous vous réabonniez sans attendre: l'expédition des numéros anciens à ceux d'entre vous qui se réabonnent en retard est très coûteuse - en temps comme en argent -.

L'année 1985 voit une modification profonde de notre gestion. H. Boissinot, F. Delmas et M. Gerbaldi, à l'IAP ont vaillamment assumé jusqu'ici la gestion du fichier des abonnés et l'expédition des numéros en FP et hors abonnement. Ce travail est devenu trop lourd pour elles, compte tenu de leurs activités professionnelles. Pour la même raison, F. Delmas a demandé à être relevée de ses fonctions de trésorière. Nous les remercions chaleureusement toutes les trois pour le travail qu'elles ont accompli.

Gilbert Walusinski, qui assumait déjà depuis un an les fonctions officieuses de trésorier-adjoint, s'est proposé pour devenir à la fois le trésorier en titre et assurer la gestion du fichier et les envois hors abonnement. Un premier gros travail l'attend: retranscrire sur l'Apple IIe du CLEA le fichier qui était géré jusqu'ici par l'équipe de l'IAP. L'incompatibilité entre les deux ordinateurs l'oblige à un travail fastidieux de dactylographie sur le clavier de l'Apple; mais grâce à l'organisation informatique astucieuse mise au point par Jacques Dupré, la gestion ultérieure, une fois le fichier entré, sera beaucoup plus aisée.

Si vous voulez aider GW au maximum, lisez attentivement les consignes de la page 3. Merci pour lui !

Mais Gilbert conserve aussi sa fonction de secrétaire du CLEA: il a certainement plus de plaisir à lire vos lettres et à y répondre qu'à enregistrer les chèques et à taper vos adresses sur le clavier de l'Apple ! Alors, n'hésitez pas à lui écrire !

L. Gouguenheim, présidente du CLEA

FICHE D'ADHESION AU CLEA (1985) ET D'ABONNEMENT AUX CAHIERS CLAIRAUT

Nom (en caractères d'imprimerie):

Adresse

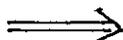
- Renouvellement options: [] renouvelle sa cotisation au CLEA, [] se réabonne aux Cahiers Clairaut (n°29 à 32), [] désire recevoir la collection complète des numéros parus (n°1 à 28)(prix:250f)

tarifs: {cotisation seule: 25f; abonnement seul (n°29 à 32):50f (soutien 75f) / {abonnement et cotisation: 70f (soutien: 100f) LIBELLER LES CHEQUES A L'ORDRE DU CLEA

Retourner la commande à : G. Walusinski, 26 Bérengère 92210 SAINT-CLOUD

LA NOUVELLE ORGANISATION DU SECRÉTARIAT ET DE LA TRÉSORERIE

Une seule adresse à retenir,



Gilbert Walusinski
26 Bérengère
92210 St-CLOUD
tél (1) 771 69 09

Il avait été envisagé de transférer le fichier des CC et du CLEA sur l'ordinateur de l'APMEP qui voulait bien nous accueillir. Après étude du problème, il a paru plus simple de transférer ce fichier sur l'Apple du CLEA (une nouvelle contribution de la pomme au progrès de l'astronomie) Ce qui présentera l'avantage de rendre notre administration complètement autonome.

Rappelons une nouvelle fois que la formule des abonnements aux Cahiers est la suivante: un abonnement est toujours valable pour une série de quatre numéros, du numéro 4n+1 au numéro 4(n+1). Le présent cahier n°28 est le dernier de la série n = 6 (c'est à dire sixième année d'existence de notre revue). Les nouveaux tarifs indiqués ci-dessous et rappelés page 2 de ce cahier concernent la série n = 7 du numéro 29 au numéro 32.

VOUS FACILITEREZ GRANDEMENT LE TRAVAIL DU SECRÉTARIAT DU CLEA EN VOUS REABONNANT DES LA RECEPTION DU PRESENT CAHIER. EN APPLIQUANT, BIEN SUR, LES NOUVEAUX TARIFS. EN PRECISANT AUSSI "réabonnement".

* * * * *

REABONNEZ-VOUS SANS ATTENDRE !!!

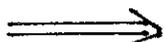
ABONNEMENT SEUL (N° 29 AU N°32)	50F
(SOUTIEN)	75F
COTISATION SEULE (POUR 1985)	25F
ABONNEMENT (N°29 À 32) ET COTISATION 1985	70F
(SOUTIEN)	100F

* * * * *

RÈGLES À BIEN LIRE ET À BIEN SUIVRE:

1°) NOUS N'AVONS PLUS DE FRANCHISE POSTALE. IL N'Y A DONC PLUS AUCUN INTÉRÊT À EFFECTUER L'ENVOI À L'ADRESSE DE VOTRE ÉTABLISSEMENT. PRÉCISEZ-NOUS L'ADRESSE À LAQUELLE VOUS SOUHAITEZ RECEVOIR LES CAHIERS CLAIRAUT ET LA CORRESPONDANCE CLEA.

2°) TOUTE LA GESTION SERA FAITE DÉSORMAIS PAR GILBERT WALUSINSKI: UNE SEULE ADRESSE À RETENIR:



GILBERT WALUSINSKI
26 BÉRENGÈRE
92210 SAINT-CLOUD

NE PLUS RIEN ADRESSER À F.DELMAS NI À L'I.A.P.

3°) ETABLIR LES CHÈQUES À L'ORDRE DU CLEA

4°) ECRIRE EN CARACTÈRES D'IMPRIMERIE

L'ASTRONOMIE ET LE PHILOSOPHE

Note de la rédaction:

Nous sommes heureux de commencer aujourd'hui la publication de ce texte, écrit par Patrick Dupouey, professeur de philosophie au lycée Jean Moulin, à Montmorillon, dans la Vienne. Il reprend un exposé, prononcé à la demande du club d'astronomie du lycée, destiné aux élèves du second cycle et aux enseignants sur le thème: "Signification et portée philosophique de la connaissance astronomique".

"... nous apercevons bientôt l'usage que nous pouvons faire de la géométrie et de la mécanique, pour acquérir sur les propriétés des corps, les connaissances les plus variées et les plus profondes. C'est à peu près de cette manière que sont nées toutes les sciences appelées physico-mathématiques. On peut mettre à leur tête l'astronomie, dont l'étude, après celle de nous-mêmes, est la plus digne de notre application par le spectacle magnifique qu'elle nous présente. Joignant l'observation au calcul, et les éclairant l'un par l'autre, cette science détermine avec une exactitude digne d'admiration les distances et les mouvements les plus compliqués des corps célestes; elle assigne jusqu'aux forces mêmes par lesquelles ces mouvements sont produits ou altérés. Aussi peut-on la regarder à juste titre comme l'application la plus sublime et la plus sûre de la géométrie et de la mécanique réunies; et ses progrès comme le monument le plus incontestable du succès auquel l'esprit humain peut s'élever par ses efforts."

D'Alembert
Discours préliminaire de
l'Encyclopédie Première partie

L'astronomie est sans aucun doute la plus ancienne des sciences de la nature; encore qu'il ne faille pas confondre avec une théorie scientifique la compilation - même précise - d'observations répétées autorisant la prévision, ou le balisage du ciel étoilé en constellations. Son âge respectable n'empêche pas l'astronomie d'être aujourd'hui l'un des domaines de la connaissance où les bouleversements sont les plus rapides.

Si l'histoire des sciences montre un intérêt quasiment ininterrompu pour l'observation du ciel, le public a longtemps considéré les astronomes comme des "savants de l'inutile". Aux femmes savantes peintes par Molière, Chrysale demande de

Ne point aller chercher ce qu'on fait dans la lune,
Et vous mêler un peu de ce qu'on fait chez vous,
Où nous voyons aller tout sens dessus dessous.

Il se plaint:

Et l'on sait tout chez moi, hors ce qu'il faut savoir;
On y sait comme vont lune, étoile polaire,
Vénus, Saturne et Mars, dont je n'ai point affaire;
Et, dans ce vain savoir qu'on va chercher si loin,
On ne sait comme va mon pot, dont j'ai besoin. (1)

Rousseau, qui ne tenait pas les sciences en très haute estime, recommande d'enseigner l'astronomie dans la perspective de l'utilité pratique. Pour instruire le petit Emile, point de globe ni de cartes du ciel; parti à jeun pour une promenade en forêt, égaré et mourant de faim, il faudra bien qu'il s'oriente sur le soleil. Il retrouvera son chemin, non sans s'être écrié, "frappant des mains et poussant un cri de joie": "Allons déjeuner, allons dîner, courons vite: l'astronomie est bonne à quelque chose."(2)

Nous devons à la rivalité des deux super-puissances (et à leurs espoirs de débouchés militaires) les prouesses de l'astronautique. Une technique, marque du pouvoir de l'homme sur les choses, séduit mieux le public que la connaissance pure; mais l'exploit éblouit plus qu'il n'instruit, et il est douteux qu'après les merveilleuses photographies de Jupiter et de Saturne, l'homme de la rue connaisse mieux la structure du système solaire. "Savoir ou pouvoir, disait Alain, il faut choisir" (3).

L'astronomie risque de ne jamais intéresser le profane que par ce qu'elle offre de spectaculaire, du moins tant que les conditions d'accès des gens au savoir n'auront pas changé. Sans porter de jugement sur ce fait, remarquons que l'astronomie est absente des programmes de l'enseignement secondaire. Le ciel a bien des ressources pour émerveiller, mais l'émerveillement n'est pas encore connaissance scientifique.

En quoi l'astronomie intéresse-t-elle les philosophes? Peu d'entre eux s'y livrèrent directement (alors que plusieurs furent des mathématiciens remarquables). Mais la situation privilégiée de l'astronomie dans l'ordre des connaissances humaines, son ancienneté, son rapport particulier aux mathématiques et à la physique, tels sont les objets que peut interroger la réflexion philosophique. Son intérêt se porte aussi sur certains enjeux de la science astronomique et de ses objets: l'espace infini (par exemple chez Newton), la structure rationnelle du cosmos, l'ordre mathématique du monde; autant de thèmes qui trouvent un écho dans la tradition métaphysique (mais aussi dans l'art ou la religion).

Enfin, on a beaucoup dit que l'étude du cosmos rabaissait l'orgueil humain à de plus justes proportions: face à l'immensité et aux richesses de l'univers, il sied à l'homme d'être modeste, de se sentir petit. Soit. Camille Flammarion a écrit là-dessus de fort belles pages (4). Mais la science astronomique ne montre-t-elle pas, du seul fait de son existence, que la vocation de l'homme n'est pas de demeurer à jamais englouti dans un infini qui le dépasse? Le seul fait que nous comprendions que l'univers nous dépasse suffit à prouver qu'il ne nous dépasse pas tout à fait. Et si l'homme était aussi, mais en un autre sens, plus grand que l'univers?

Mais d'abord, qu'est-ce que faire de l'astronomie?

ASTRONOMIE ET CONTEMPLATION

Faire de l'astronomie, c'est regarder*. Toute astronomie, tout astronome ont commencé par là, et il y a gros à parier qu'il ne faut pas chercher plus loin la vocation de la majorité des amateurs.

L'astronome est privé du recours à une expérimentation directe, qui pourrait "faire varier ou modifier, dans un but quelconque, les phénomènes naturels et les faire apparaître dans des circonstances ou dans des conditions dans lesquelles la nature ne les lui présentait pas" (5). Le physicien construit ses machines, accélère et brise les particules élémentaires; le chimiste brûle, mélange, synthétise; le biologiste cultive et fait des croisements. Certes, l'astronautique a livré quelques possibilités d'expérimentation, mais pour l'essentiel, Claude Bernard a raison de ranger l'astronomie dans les "sciences d'observation". Cette impossibilité d'expérimenter peut sembler un handicap pour l'astronomie; on verra bientôt que ce fut la véritable raison de son éclatante et précoce fortune scientifique.

L'astronomie commence donc par le regard. Elle est "théorie", au sens grec de ce mot: contemplation. Le regard vise un objet, la voûte céleste, qui ne se laisse pas saisir autrement que par la vue.

Or, il est clair que parmi les sens dont l'homme dispose pour s'ouvrir au monde extérieur, la vue occupe un rang privilégié. Seule, elle nous fait d'emblée "sortir de nous-mêmes", en nous livrant les objets extérieurs. Odorat et goût nous renseignent autant sur nous-mêmes que sur les choses; le toucher est esclave de la distance (quel autre sens que la vue peut nous offrir la perception directe d'un objet situé à des millions d'années-lumière?); je ne contrôle aucunement l'ordre de mes sensations dans l'audition.

L'astronome doit diriger son regard vers le haut, ce que rendent possible la morphologie et la posture de l'homme. La station verticale, marque décisive de l'homínisation, promet l'homme à un destin plus élevé que les plantes ou les animaux. Aristote remarque que "le haut de l'homme est dirigé vers le haut de l'univers" (6). En dirigeant ses yeux vers le ciel, l'homme prend comme possession de ce monde qu'il est destiné à connaître. Lorsqu'il écrit l'éloge d'Epicure luttant contre la superstition, Lucrèce en parle comme du premier mortel qui "osa lever les yeux" à la face du ciel (7). La connaissance prend des allures de défi.

* On objectera que l'astrophysique contemporaine fait beaucoup plus que regarder, que l'observation directe n'y joue même plus un rôle essentiel. On aura bien sûr raison; mais nous voulons ici avertir le lecteur: cet article n'a pas pour but de réfléchir sur les résultats les plus actuels de la science astronomique, résultats dont nous n'ignorons pas l'importance. Nous voulons plutôt tenter de comprendre la signification de la démarche astronomique dans ce qu'elle a d'original, presque d'originel. D'apparition fort récente, l'astrophysique témoigne davantage de l'unification relative des sciences naturelles sous la "domination" de la physique, que d'une démarche typiquement astronomique.

Le regard dirigé vers le ciel n'est pas exclusivement scientifique; disons même qu'il n'est pas d'abord scientifique. Car le ciel est un spectacle. Aucun spectacle n'a par lui-même la vertu d'instruire, mais il en est qui émerveillent.

Le ciel nocturne est beau, mais il est plus que beau: fascinant, envoûtant, presque effrayant. Kant a raison de dire que si le jour est beau, la nuit, elle, est sublime (8). Mais gardons nous d'un sens galvaudé; sublime ne veut pas dire simplement "très beau". Nous y reviendrons.

Il importe maintenant de comprendre la nature et la signification de ce spectacle.

UN AUTRE MONDE

"Le jour, c'est la vie des êtres; mais la nuit, c'est la vie des choses."

Alphonse Daudet (9)

Avec les premières étoiles, surgit un autre monde. Mais pour cela, il faut qu'un monde se retire: le nôtre. On croit spontanément que la nuit dissimule ce que le jour dévoile. Mais le jour est aussi, à sa manière, un grand dissimulateur. Sous la bruyante succession de nos activités, de nos occupations, de nos intérêts quotidiens et bornés, le jour nous fait oublier qu'il existe un monde extérieur indifférent à nos affaires humaines; la nuit laisse voir ce monde. Contempler le ciel nocturne est donc une activité typiquement humaine en tant qu'elle ne relève d'aucun intérêt immédiat; "La nuit, dit Alain, nous laisse à choisir entre dormir et penser". (10).

Comment s'étonner de l'impression d'étrangeté qui nous saisit à la contemplation du ciel nocturne? C'est que ce monde d'étoiles est profondément autre. Poussières et lumières des villes nous ont déshabitué d'un spectacle qui impressionnait certainement moins les premiers hommes qu'un arc-en-ciel ou un coup de tonnerre. Le décor de la voûte céleste ne nous est plus familier.

Il n'en va pas de même du ciel diurne: "Le jour est comme une claire coupole sans mystère aucun". (11). Un ciel bleu est un ciel vide. On peut s'en réjouir parce qu'il autorise la course projetée; mais justement parce qu'il parle trop à nos préoccupations quotidiennes, on ne s'extasie pas devant l'azur. Le soleil, les nuages qui passent dans le ciel diurne sont des objets trop familiers.

Mais le ciel nocturne n'est pas seulement étrange; il présente aussi certaines particularités remarquables.

UN ORDRE IMMuable

Indifférente au tumulte humain, la voûte céleste apparaît d'abord comme un monde fixe, immuable, éternel. Certes, on y observe des mouvements. Mais par leur lenteur, leur régularité, leur majesté presque, ces mouvements ont quelque chose d'une grandiose immobilité. Malgré leur rotation régulière autour de la polaire, les étoiles forment la "sphère des fixes", en raison de la stabilité de leurs positions respectives; "dociles comme un grand troupeau" dit Alphonse Daudet (12).

Il faut à l'observateur un affût prolongé pour percevoir ce mouvement; encore doit-il prendre des points de repère pour vérifier par la mémoire un changement que les sens ne voient point.

Seules la Lune et quelques planètes errent et se présentent sous des formes variables. Si les changements périodiques de la Lune sont trop rapprochés pour qu'on n'y ait pas rapidement aperçu une régularité rassurante, le déplacement des planètes paraît plus désordonné; mais une observation minutieuse et prolongée laisse voir des retours et des conjonctions périodiques. La fixité de leur éclat les désigne bien comme participant de l'éternité céleste.

Bref, le ciel est un monde sans histoire - qu'est-ce qu'une histoire reposant sur l'éternel retour des cycles? - il ne s'y passe rien. Les seuls événements sont trop brefs - une étoile filante glissant dans le silence - ou trop rares - l'explosion d'une supernova - pour altérer l'éternité immobile des cieux.

Une telle stabilité contraste avec les changements incessants de la chatoyante nature terrestre, plus encore avec le bruit et la fureur du monde humain; ce contraste se lit à l'échelle des millénaires:

"...Tous les regards humains depuis que l'humanité a dégagé ses ailes de la chrysalide animale, toutes les âmes depuis qu'il y a des âmes, ont contemplé ces lointaines étoiles perdues dans les profondeurs éthérées; nos aïeux de l'Asie centrale, les Chaldéens de Babel, les Egyptiens des Pyramides, les Argonautes de la Toison d'or, les Hébreux chantés par Job, les Grecs chantés par Homère, les Romains chantés par Virgile, tous ces yeux de la terre, depuis si longtemps éteints et fermés, se sont attachés de siècle en siècle à ces yeux du ciel, toujours ouverts, toujours animés, toujours vivants. Les générations terrestres, les nations et leurs gloires, les trônes et les autels ont disparu; le ciel d'Homère est toujours là."

Camille Flammarion (13)

Peu à peu, l'homme va se faire à l'idée qu'il y a deux mondes: ici-bas, où tout naît, change et périt dans un désordre déconcertant; là-haut, le ciel immuable, éternel, incorruptible, impérissable. Rien d'étonnant à ce qu'on ait fait du ciel la demeure des dieux.

Cette dualité cosmique est théorisée au IV^{ème} siècle avant Jésus-Christ par Aristote dans le Traité du ciel. Situé au-delà de la lune, le ciel ne connaît d'autre changement que le mouvement local; toute altération de forme dérogerait à la dignité ontologique de ce monde supra-lunaire. La génération et la corruption sont le triste sort du monde sublunaire, où Aristote place des phénomènes comme les étoiles filantes et les comètes. Cette image du monde, qui fournira à Dante le décor de la Divine Comédie, se complique de constructions destinées à rendre compte des phénomènes observés, en particulier du mouvement des planètes.

Le monde s'organise en sphères*: une sphère d'"éther", la plus haute, porte les étoiles fixes, tandis que chaque astre errant se voit attribuer une sphère porteuse; l'introduction de sphères "compensatrices" portait leur nombre à une cinquantaine. Lorsque l'observation conduira Galilée^{deux} mille ans plus tard - à affirmer la présence de satellites autour de Jupiter, les savants cramponnés au modèle aristotélicien objecteront l'impossibilité de tels satellites: ils briseraient dans leur rotation la sphère de cristal porteuse de Jupiter**.

Passons rapidement, car cela est bien connu, sur l'intérêt pratique de la présence, au-dessus de nos têtes, d'un monde ordonné et immuable.

La "docilité" du "grand troupeau" des étoiles permet d'y dessiner une géographie: les constellations. On se rend le ciel familier en y projetant des formes connues: la Grande Ourse est sanglier pour les Gaulois, hippopotame pour les Egyptiens. Le ciel se peuple de mythologie.

Les repères fixes de la voûte céleste permettent l'orientation dans l'espace. Marche, migrations, navigation se dirigent sur les astres.

Mais le ciel est aussi un repère temporel. Tout y est régularité, périodicité; l'éternel retour des astres scande les travaux et les jours de l'existence terrestre. E de la Vierge (Vindemiatrix) doit son nom à la période des vendanges qu'elle annonce; quant à la canicule, la constellation du Grand Chien (canis) avertissait les anciens de son commencement.

(à suivre...) Patrick DUPOUEY

STAGES DE FORMATION CONTINUE EN ASTRONOMIE
AU CENTRE SCIENTIFIQUE D'ORSAY EN 1985-86

L'équipe d'Orsay propose pour la prochaine année scolaire (1985-1986) deux stages d'Astronomie destinés aux enseignants.

Le premier stage "Astronomie Initiation" de nature essentiellement pratique est ouvert à toutes les catégories d'enseignants, de toutes disciplines. Comme les stages similaires organisés au cours des dernières années, il se déroule sur 6 semaines, les mercredis après-midi, de 14h à 17h.

Le second stage "Univers extragalactique et Cosmologie" est destiné plus particulièrement aux enseignants des disciplines scientifiques (physique et mathématiques). Il comportera une partie théorique (pour environ la moitié du temps) et une partie pratique (dépouillement de documents d'observation). Ce stage nouveau se déroulera sur 9 semaines, également les mercredis après-midi.

Le premier stage aura lieu les 9, 16 et 23 octobre 1985 et les 6, 13 et 20 novembre 1985; le second stage aura lieu à la suite à partir du 27 novembre 1985 et se terminera le 5 février 1986.

Ces deux stages seront annoncés au "PAF" dans les trois académies de Versailles, Paris et Créteil. Les collègues intéressés sont vivement encouragés à prendre une inscription par la voie hiérarchique, dès la date de parution du PAF (pour des raisons de financement des dépenses matérielles entraînées par les stages) et à prendre contact également avec l'équipe d'Orsay, pour des raisons d'organisation matérielle. Merci à l'avance.

Pour tout renseignement, s'adresser à: L. Gouguenheim, Labo d'Astronomie
Bât. 426 Université Paris XI
91405 ORSAY CEDEX

N.B. Ces stages sont ouverts à des collègues qui n'appartiendraient pas aux 3 académies mentionnées ci-dessus. En ce cas, l'inscription est à prendre directement auprès de l'équipe d'Orsay, à l'adresse mentionnée ci-dessus.

L'AMOUR DU RISQUE, LE RISQUE DE L'AMOUR.

Note de la rédaction: Ce texte nous a été adressé par Pierre Corbier, accompagné du commentaire suivant: "Un groupe d'enfants de 6ème a écrit ce conte au cours d'un PAE ayant pour thème "Le Soleil".

Nous nous sommes bien gardés, avec le professeur de français, d'intervenir sur les idées des enfants pour révéler au maximum ce qu'ils "savaient" sur l'astronomie (aucune connaissance d'astronomie ne leur avait été donnée avant l'écriture de ce conte).

C'est joli ... et très instructif sur les "informations" qu'avaient pu recevoir les enfants.

Si c'est utile à quelqu'un "branché" sur la question, ou bien si ça intéresse les austères Cahiers Clairaut (!) l'utilisation est libre de droits !"

Le texte a beaucoup intéressé la rédaction; et nous nous réjouissons de devenir un peu moins austères !

* * * * *

Le 14 Février, jour de la Saint Valentin, le Roi Soleil voulut offrir à sa bien aimée, la Lune pâle et discrète, un cadeau digne d'elle.

Il était tombé amoureux d'elle lors d'une brève rencontre un matin à l'aube. Il décida d'aller chercher dans une autre galaxie un bouquet d'étoiles, ou la planète Jupiter, toute en or, ou l'anneau de Saturne pour lui faire une bague. Aussitôt levé, il se mit en route pour être à l'heure à son coucher.

Après avoir voyagé tout un long jour, il revint les bras chargés de présents et attendit la nuit pour voir sa bien aimée. Mais les heures tournaient et la Lune ne venait pas. Le Soleil devint rouge d'impatience puis commença à s'inquiéter. Il voulait demander de ses nouvelles aux autres planètes, quand il vit une étoile filante s'avancer vers lui. Cette messagère lui apprit une fâcheuse nouvelle: "Mercure a enlevé ta bien aimée au delà du système solaire. Si tu ne vas pas chercher la pierre de l'espace dans les trois jours, il épousera la séduisante Lune. Et il te conseille de ne pas appeler à l'aide l'armée des étoiles !". Sur ces mots l'étoile filante s'éclipça à la vitesse de la lumière et disparut, laissant le Roi Soleil inquiet et abattu. Mais il réagit vite et décida d'aller à la recherche de la Lune pour la sauver, toute sa vie s'il le fallait.

Avant son départ, il pensa à la Terre et fit venir des étoiles pour l'éclairer en son absence. Puis il partit à la vitesse de six croissants de lune et quatre kilospaces, pour un long voyage.

Il affronta d'abord le vent qui soufflait si fort qu'il ne pouvait plus avancer. Puis les flocons de neige lui crièrent: "Tu n'iras pas plus loin, Mercure nous en a donné l'ordre !". Le Soleil n'écouta pas longtemps: il devint si rouge et se mit à chauffer si fort qu'il fit fondre les flocons - sur la Terre, il faisait 60°-. "Ouf, pensa-t-il, j'ai bien cru que je ne m'en sortirais pas vivant".

Sur son chemin, il rencontra alors une petite étoile blessée qui perdait sa lumière. Le Soleil la ranima de ses rayons et elle se remit à éclairer. Ravie, elle lui confia un petit sac de poudre magique: "Tiens, voila de la poudre de météorite pour éblouir tes ennemis et empêcher Mercure de tourner".

Comme il repartait, Pluvieux, le roi de la pluie, refusa de le laisser passer, en lui envoyant un jet d'eau et des nuages menaçants. Dans le Champ de Mars, un éclair déchirant vint même lui couper un de ses rayons. Un peu affaibli, il se reposa un instant sur un petit nuage doux. Ses forces revenues, il continua de plus belle; les nuages vaincus décidèrent de faire la paix et lui donnèrent un arc en ciel pour montrer leur alliance.

Or Vénus, déesse de l'amour, est toujours secourable pour les amoureux. Prévenue par l'étoile filante, elle eut pitié des deux fiancés et vint aider le Soleil à chercher sa compagne. Arrivés à un garage, ils prirent le meilleur et le plus rapide des dromaspace pour poursuivre Mercure. Les phares du dromaspace éclairèrent dans l'espace les traînées de Mercure.

Alors Pluton, avec son visage grimaçant, voyant que son complice Mercure allait être en difficulté, lui proposa ses services. Malgré sa petite taille, en ricanant, il suggéra un plan diabolique et infernal: asphyxier Vénus et le Soleil en leur envoyant un gaz maléfique, le Plutonium, et garder la Lune prisonnière dans son enfer. Mais Vénus et le Soleil arrivèrent à passer grâce à deux petits nuages qu'ils se mirent en masque devant la bouche. Enervé, Pluton lança la pierre de l'espace sur le Soleil... qui la rattrapa et nos deux amis s'enfuirent.

Il ne restait plus qu'à capturer Mercure qui glissa entre les mains comme un poisson, se faufile entre les planètes comme un lézard malin. Il ne cessait de bouger, se cachant derrière les astres pour que le Soleil ne le voie pas. Ils rencontrèrent une comète qui, essoufflée par le voyage, les renseigna: "Vous êtes encore loin, car Mercure adore voyager. Vous ne le trouverez pas, il vous fait courir dans le désert de l'espace !"

Vénus s'exclama: "Nous sommes Mercredi, jour de Mercure, nous devrions reporter cette poursuite à Vendredi, jour de Vénus". Alors ils s'arrêtèrent sur un petit nuage douillet.

Le Vendredi, ils tinrent un conseil du tonnerre et aperçurent alors les traces de Mercure. Enfourchant leur dromaspace, ils s'élançèrent et arrivèrent près de celui qu'ils poursuivaient. Le Roi Soleil lança la poudre de météorite et Mercure resta enfin tranquille.

Vénus lui tendit la pierre et le Soleil déclara: "Maintenant je veux retrouver ma bien aimée !". Mais les épreuves n'étaient pas finies. Mercure n'était pas satisfait, il lui fallait encore plus: "Je vais te poser trois cosmoblagues que tu devras résoudre pour revoir la Lune", dit-il avec ironie. Le Soleil fut obligé d'accepter.

"Qu'est-ce qui monte en été et descend en hiver ?". Le Soleil n'hésita pas une seconde: "Toi, le Mercure." Mercure, déçu, se dépêcha d'enchaîner une seconde énigme.

"Qu'est-ce qui est grand comme un trou, noir comme le noir, profond comme un entonnoir ?". "Trou Noir ?" se demanda le Soleil. "C'est le trou noir, répondit Mercure, décidément tu es très malin !". Le Soleil eut l'air tout étonné. "J'ai donc trouvé la solution sans m'en apercevoir, pensa-t-il". Mais il commençait à s'impatienter: "Finissons-en vite afin que je retrouve ma bien aimée: donne-moi la dernière devinette.

"Quel est le centre de gravité ?". Le Soleil se tourna vers Vénus pour lui demander son aide et l'appela: "Vé...". Mercure lui coupa la parole: "Oui c'est la lettre V. Tu as gagné !".

"Ta fiancée t'attend". Dans la dernière prison de Pluton, le Soleil trouva la Lune. Mais pas de clé. Que faire ? Le petit arc en ciel devint toboggan et le Soleil se laissa glisser jusqu'à la Lune. Elle sauta à son cou et lui couvrit le visage de doux baisersspaces.

Quelques temps après, ils invitèrent toutes les planètes à leur mariage; les danseuses-étoiles donnèrent un beau spectacle et, bien sûr, Vénus fut leur demoiselle d'honneur...

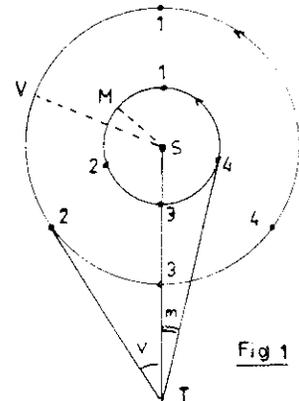
L'ECLAT DE MERCURE ET DE VENUS :
Essayons d'y voir plus clair !

Au cours du printemps nous pourrons observer la planète Vénus (improprement appelée "étoile du berger"). Très brillante, vers l'ouest, après le coucher du Soleil. Son éclat a inspiré les poètes de tous les temps et suscite encore de nombreuses questions de la part d'élèves et de collègues.

La figure 1 nous rappelle que les deux planètes "inférieures" : Mercure et Vénus s'éloignent peu, angulairement de la direction Terre-Soleil. Elles ne sont observables que peu de temps avant le lever ou après le coucher du Soleil.

Si on prend la distance Soleil-Terre (ST) comme unité astronomique (ua), on a : SM = 0,39 ua et SV = 0,72 ua . Les élongations maximales qui correspondent aux positions 2 et 4 sont donc :

pour Mercure	$\sin m = SM/ST$	$m = 30^\circ$
pour Vénus	$\sin v = SV/ST$	$v = 46^\circ$



Avec un mouvement diurne de 15° par heure nous ne pourrons pas observer Mercure plus de 2 heures avant ou après le coucher du Soleil et 3 heures pour Vénus.

Ces planètes présentent des phases que Galilée observa pour la première fois en 1610 sur Vénus grâce à sa lunette de 2,5 cm de diamètre (amateurs à vos lunettes!). Des phases sont :

- | | |
|---|------------------------|
| pleine Vénus (Mercure) en 1 : | conjonction supérieure |
| premier et dernier quartier en 2 et 4 : | élongation maximale |
| nouvelle Vénus (Mercure) en 3 : | conjonction inférieure |

Une trop rapide analogie avec les phases de la Lune conduirait à penser que Vénus apparaît plus brillante dans la position 1, quand elle est pleine. Ce serait sans compter avec l'effet de distance, en effet : $TV_1 = 6 \cdot TV_3$

Nous allons rechercher à quelle position sur son orbite Vénus nous apparaît la plus brillante. Ce doit être un compromis entre une pleine Vénus bien éclairée mais que l'on voit petite car éloignée, et une Vénus plus proche, donc que l'on voit plus grosse mais non complètement éclairée. Allons-y !

Première question : Quelle portion éclairée de la planète voit-on depuis la Terre ?

Plaçons-nous loin au dessus de l'orbite terrestre. Supposons que la planète effectue son mouvement de révolution dans le même plan que la Terre. Pour plus de clarté on a fortement grossi la planète (fig. 2). Le Soleil éclaire une demi-sphère ADB de la planète. De la Terre, seule la portion ADC de cette partie éclairée est visible.

Le terminateur (limite entre l'ombre et la lumière) passant par A est la projection d'un demi grand cercle, c'est donc une demi ellipse (fig. 3) de demi grand axe : $a = R$ et de demi petit axe : b . Ainsi la surface éclairée du disque vue de la Terre se compose d'un demi cercle et d'une demi ellipse. (la surface d'une ellipse est πab). Donc

$$S = 1/2 \pi R^2 + 1/2 \pi ab$$

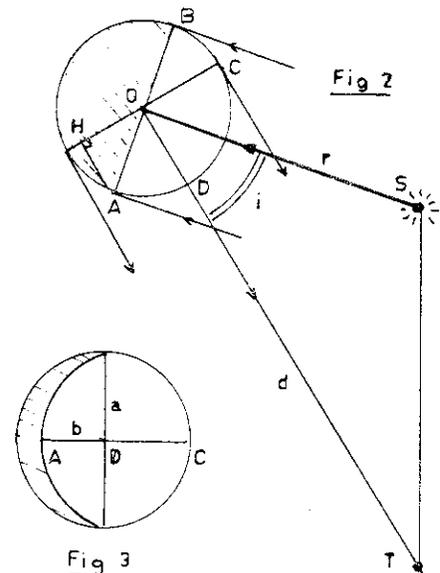
On appelle $i = \angle TOS$ l'angle de phase.

On retrouve cet angle en AOH.

Ainsi $b = R \cos i$ et puisque $a = R$:

$$S = \pi R^2 * 1/2 (1 + \cos i)$$

$k = 1/2 (1 + \cos i)$ est le coefficient de phase ($k=1$ pleine ; $k=0,5$ quartier ; $k=0$ nouvelle). Cette formule est évidemment utilisable pour les phases de la Lune.



Deuxième question : Quel éclairement la planète produit-elle sur la Terre ? En d'autres termes : nous paraît-elle plus ou moins brillante, ou encore : quelle est sa magnitude ?

Intuitivement on peut trouver que plusieurs paramètres interviennent :

- l'aptitude de la planète à réfléchir le rayonnement solaire dans une direction donnée.
- la surface éclairée S visible de la Terre.
- la distance r de la planète au Soleil.
- la distance d de la planète à la Terre.

Les deux premiers paramètres dépendent de l'angle de phase i. Soit f(i) cette fonction, dont la valeur est obtenue à partir d'observations antérieures.

L'éclairement de la planète par le Soleil est inversement proportionnel au carré de la distance Soleil-planète (r). Et l'éclairement de la Terre par la planète est inversement proportionnel au carré de la distance planète-Terre (d). Donc l'éclairement E reçu sur Terre est :

$$E = A * f(i) * \frac{1}{r^2} * \frac{1}{d^2}$$

On en déduit la magnitude grâce à la formule de Pogson :

$$\begin{aligned} m &= C - 2,5 \log E \\ m &= C - 2,5 \log A + 5 \log(r*d) - 2,5 \log f(i) \\ m &= m_0 + 5 \log(r*d) - 2,5 \log f(i) \end{aligned}$$

m₀ est la magnitude de la planète pour r = 1 ua et d = 1 ua.

Le terme -2,5 log f(i) est assez correctement représenté par un développement limité. Ce qui donne pour la magnitude (i en degrés, r et d en ua) :

$$m = m_0 + 5 \log(r*d) + a*(i/100) + b*(i/100)^2 + c*(i/100)^3$$

Les valeurs des coefficients sont données par Danjon (Astronomie générale) :

	m ₀	a	b	c
Mercure	-0,21	3,80	-3,25	+2,00
Vénus	-4,14	0,09	+2,39	-0,65

Les lecteurs assidus des C.C. se souviennent de l'article de M. Toulmonde (modèle simplifié de l'univers n° 24) qui permet de déterminer les valeurs de r et d et ils peuvent donc s'adonner aux joies de la calculatrice. Toutefois voici les résultats donnés par Danjon dans l'hypothèse d'orbites circulaires :

i	Mercure Vénus	
	m	m
0°	-1,56	-3,66
20°	-0,96	-3,65
40°	-0,64	-3,68
60°	-0,48	-3,78
80°	-0,33	-3,99
100°	-0,15	-4,21
120°	+0,30	-4,31
140°	+1,10	-4,22
160°		-3,94
180°		-3,52

On remarque que Mercure est la plus brillante au moment de sa conjonction supérieure (i=0°). Hélas, elle est alors très proche du Soleil. Vénus au contraire est la plus brillante pour i=120,5° donc entre sa plus grande élongation (i=90°) et sa conjonction inférieure (i=180°). Enfin, on peut voir Vénus lors de sa conjonction inférieure car l'atmosphère de la planète crée un halo ayant un certain éclat.

L'EQUATION DE KEPLER (suite et fin)

6- Application: mettre une planète sur orbite.

On a dit, au début de cet article, que l'équation de Kepler (EK) était importante en mécanique céleste. En effet, à présent que l'on peut la résoudre avec la précision voulue, on peut situer, à un instant donné, une planète sur son orbite.

Et (EK) n'est qu'une étape (obligée) dans le calcul.

a). Méthode générale.

Les éléments orbitaux d'une planète sont, pour ce qui nous intéresse:

- a : demi-grand axe (en Unités Astronomiques UA)
- e : excentricité de l'orbite
- T : période de révolution (en jours, ou années)
- t₀ : date du passage au périhélie P₀

Les nombres a et e définissent l'ellipse géométriquement. Les valeurs T et t₀ permettent d'introduire le temps qui sera la seule variable ici.

On cherche donc r(t) et v(t) afin de tracer l'orbite en coordonnées polaires (fig.6).

Il suffit d'appliquer les relations suivantes, que l'on a déjà établies:

-1-Calcul de l'anomalie moyenne M

$$M = 2\pi/T \cdot (t - t_0)$$

Si M est en degrés, 2π devient 360. Il faut exprimer t - t₀ et T dans la même unité. On devra donc au préalable calculer le nombre de jours écoulés depuis un passage au périhélie. Ce peut ne pas être le dernier: dans ce cas, on prendra M modulo 360°.

On a choisi le périhélie comme point origine car alors : M(t₀) = 0. En fait, si on connaît la position de la planète à une date t₁, cette date peut être prise elle aussi pour origine avec M(t) = 360/T · (t - t₁) + M(t₁). C'est en général de cette façon que l'on calcule les éphémérides, et t₁ est une date de référence pour toutes les planètes: par exemple le 31/12/1899 à 12h TU.

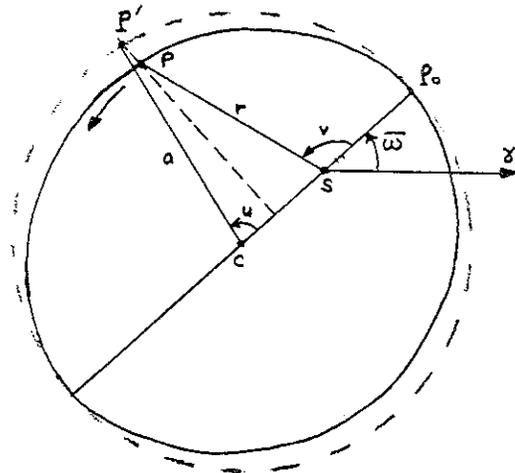


fig.6

Ainsi, $M(t)$ est de la forme: $M(t) = n \cdot t + M_0$ avec n et M_0 caractéristiques d'une planète; dans ce cas, les données t_0 et T sont inutiles.

-2- Calcul de l'anomalie excentrique u

C'est en résolvant (EK) que l'on obtient u : $u = M + e^0 \cdot \sin u$

-3- Calcul de l'anomalie vraie v

On a vu la relation:

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \operatorname{tg} \frac{u}{2}$$

Si $u=180^\circ$ ou -180° , alors $v=u$

-4- Calcul de la distance au Soleil r

On l'obtient par $r = a \cdot (1 - e \cdot \cos u)$ où u est racine de (EK).
Il suffit à présent de reporter la position sur l'orbite.

b). Position de la planète sur la sphère céleste.

Là, le problème devient plus complexe, car il faut situer la planète par rapport à la Terre, et non plus seulement par rapport au Soleil.

Jusqu'à présent, il n'y avait dans notre "espace" que deux corps: le Soleil et la planète. En réalité, la population est plus dense, et l'orbite réellement suivie n'est plus l'orbite "keplerienne" car, toutes les planètes s'attirant mutuellement, le mouvement en est "perturbé".

Le calcul de la position exacte des planètes (et des comètes) fut un des problèmes essentiels de la Mécanique céleste aux XVIII^e et XIX^e siècles. Des astronomes comme Clairaut, Le Verrier, Delaunay, Newcomb, ... ont peu à peu "affiné le modèle": il faut en effet déterminer les termes correctifs à apporter au mouvement keplerien "non perturbé". Delaunay, par exemple, mit 10 ans à établir à la main (et 10 ans à le vérifier: 1847-1867) une liste impressionnante de termes pour la Lune. La précision est telle que son calcul est utilisé aujourd'hui pour ... tester les gros systèmes informatiques (Cf "Pour la Science", n°52, 2/82).

Si on se contente d'une précision de l'ordre de 1° pour les angles, le problème est plus simple, mais on doit cependant tenir compte de l'orientation du plan orbital de la planète par rapport au plan écliptique (de l'orbite terrestre), c'est à dire indiquer d'autres éléments orbitaux: la longitude du périhélie (notée $\bar{\omega}$ fig.6), l'inclinaison du plan orbital sur l'écliptique, et la position des noeuds (intersection des deux plans). De plus,

il est nécessaire d'utiliser des relations de trigonométrie sphérique.

On se reportera à l'article des C.C. n° 24, déjà évoqué, pour trouver des valeurs numériques pour les planètes visibles à l'oeil nu et la Terre.

Le calcul complet de la position sur la sphère céleste fera l'objet d'un autre article, avec applications informatiques.

c). Rappelons la marche à suivre:

- Données : $a \ e \ n \ M_0 \ (\bar{\omega})$
- Variable : $t-t_1$
- Calculer successivement
 - M par $M = n \cdot t + M_0$
 - u par $u = M + e^0 \cdot \sin u$
 - v par $\text{tg } \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \text{tg } \frac{u}{2}$
 - r par $r = a \cdot (1-e \cdot \cos u)$

La longitude écliptique héliocentrique l , mesurée par rapport à l'équinoxe $S\delta$ est donnée par $l = v + \bar{\omega}$ (si on néglige l'inclinaison du plan orbital sur l'écliptique).

d). Remarques aux quarts de tours.

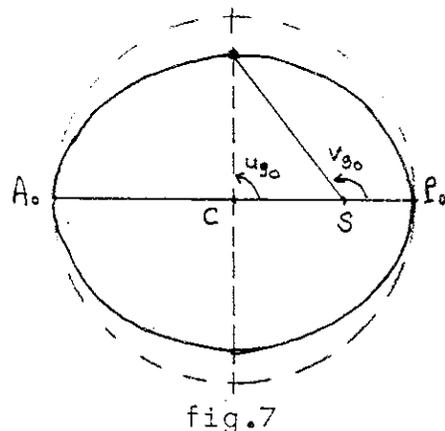
En partant du périhélie P_0 , les positions correspondant aux quarts de tours sont définies par $u = k \cdot 90^\circ$ avec k entier. Si k est pair, $u=0$ ou 180° (modulo 360°), et $M=u$ quelque soit e .

Donc la $1/2$ période correspond au $1/2$ parcours.

Mais si k est impair, ($k=1$ ou 3 par exemple), le $1/4$ de "tour" ne correspond plus au $1/4$ de période, comme le montre le tableau ci-après; calculons M_{90} correspondant à $u=90^\circ$: en écrivant (EK)

$90 = M_{90} + e \cdot 180/\pi \cdot \sin 90$, d'où $M_{90} = 90 \cdot (1 - 2e/\pi)$. On calcule v_{90} de la même façon: $\text{tg } \frac{v_{90}}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$

e	M_{90}	$\frac{M_{90}}{360}$	v_{90}
0	90°	0,250	90°
0,1	84,3	0,234	95,7
0,2	78,5	0,218	101,5
0,5	61,4	0,170	120
0,9	38,4	0,107	154,2
1	32,7	0,091	180



Et les saisons peuvent avoir des durées fort inégales. Prenons le cas d'une planète (hypothétique) de période 12 mois et dont l'excentricité orbitale serait $e=0,5$.

La planète est figurée ci-contre sur son orbite, chaque mois. Les noms équinoxe (Eq) et solstice (Sc) indiqués ici correspondent à une direction $S\bar{\lambda}$ supposée parallèle au grand-axe de l'ellipse. Et que penser des écarts de température tout au long de l'année...

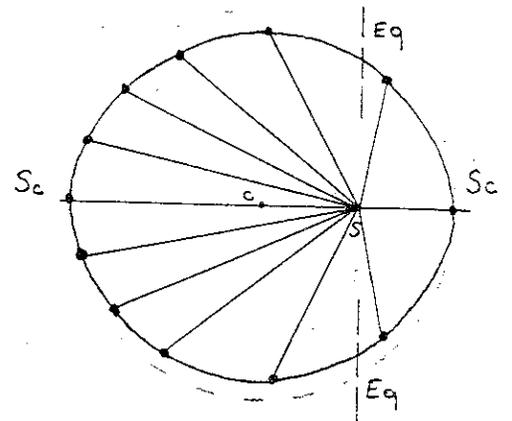


fig.7

Il serait intéressant de tracer cette ellipse sur papier millimétré et d'évaluer l'aire de chacun des 12 secteurs elliptiques, de sommet S.

Rappelons que le début d'une saison est défini par $l=k.90^\circ$ où k est un entier, et $l=v+\bar{\omega}$ la longitude héliocentrique de la planète. On a supposé fig.7 que $\bar{\omega}=0^\circ$. Il est facile de calculer les durées des saisons pour différentes valeurs de e .

e). D'autres exercices...

En utilisant une calculatrice programmable, le tracé de quelques graphiques n'est plus fastidieux. En voici deux à titre d'exemples:

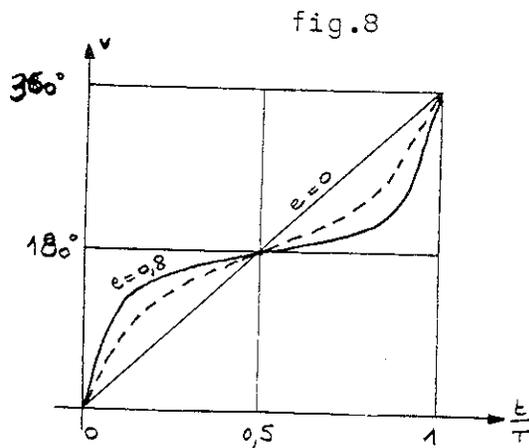


fig.8

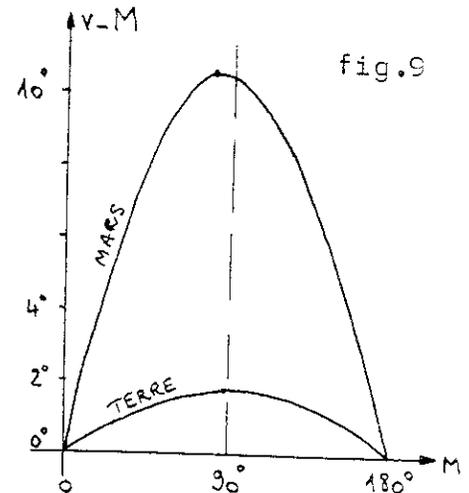


fig.9

$v=v(t/T)$ visualise la révolution non uniforme (fig.8)

$v-M=f(M)$ visualise les écarts avec une révolution uniforme, pour Mars ($e=0,0934$) et la Terre ($e=0,0167$) (fig.9), grâce aux travaux de KEPLER.

A vos calculatrices ...

Michel TOULMONDE (EN Etiolles 91)

VII - Le point actuel* de la question en cosmologie

Que de chemin parcouru depuis cette époque pas tellement lointaine où Einstein publiait ses premières Considérations Cosmologiques ! Que reste-t-il aujourd'hui de l'espoir du génial savant et de ses plus illustres successeurs d'établir le modèle mathématique de notre univers à partir d'un seul concept initial précis du cosmos et de principes physiques suffisamment fondamentaux ? De tout cela, il subsiste les équations einsteiniennes de la relativité générale dont toute l'histoire de la cosmologie a démontré de façon éclatante le remarquable souplesse, l'extraordinaire pouvoir d'adaptation à toutes les découvertes modernes, au point que nul ne songerait plus aujourd'hui à construire une théorie cosmologique autonome, hors du cadre si efficace de la relativité générale.

Seulement, de nos jours, notre méthode générale d'approche de la connaissance s'est déplacée. Dans ses premières années, la cosmologie a connu la bouillonnante impatience de la jeunesse qui refuse d'attendre le fruit de l'expérience. Entre les diverses solutions proposées, les choix étaient alors le plus souvent philosophiques. (On se souviendra par exemple que c'est en généralisant, de l'espace au temps, le principe cosmologique, que Gold et Bondi furent conduits à l'unicité de leur modèle stationnaire.)

Aujourd'hui, les progrès de l'astronomie d'observation imposent d'autres choix plus objectifs. Cela ne diminue en rien la valeur épistémologique de la cosmologie. Parmi la multiplicité infinie des solutions des équations d'Einstein, ce sont les découvertes astronomiques de l'avenir qui orienteront notre choix vers l'unique modèle représentatif de l'univers réel. Alors seulement ce modèle aura valeur de connaissance.

Les recherches observationnelles s'orientent actuellement dans plusieurs voies, celle de l'astronomie optique classique, celle de la radioastronomie, celle récente de l'astronomie des rayons ultraviolets, X et gamma qui utilise nécessairement le technique des satellites.

Depuis plusieurs années déjà, c'est l'une des plus importantes missions dévouées au télescope de 5 mètres du Mont-Palomar que de vérifier les tests observationnels de la cosmologie. Inlassablement, sous la direction de Sandage, les investigations sont portées à des galaxies de plus en plus lointaines. Le taux d'expansion de l'univers (la fameuse constante de Hubble) est précisé. L'écart à la linéarité de la loi d'expansion (décalage spectral proportionnel à la distance) est mesuré avec le plus grand soin. Il est en effet significatif de la courbure de l'espace, de l'accélération ou de la décélération de l'expansion, bref du modèle d'univers. L'approche est lente et sûre. Le modèle stationnaire de Gold, Bondi et Hoyle doit être déjà rejeté comme incompatible avec ces observations.

Les dénombrements des galaxies jusqu'à une magnitude limite donnée, c'est-à-dire en fait jusqu'à une distance donnée, constituent aussi un excellent critère. Dans un espace euclidien où la répartition des éléments est homogène, il est clair qu'en multipliant par deux par exemple la portée des investigations, c'est par huit (deux au cube) que se trouve multiplié le nombre d'éléments dénombrés. Dans l'espace elliptique d'un univers fermé sur lui-même ce nombre sera inférieur à huit. Il serait supérieur à huit dans un espace hyperbolique. Là encore, sans être encore assez lointaines pour décider de la finitude ou de l'infinitude de notre monde, les investigations assurées présentement par ce grand télescope conduisent par éliminer, par ce test du dénombrement, le modèle stationnaire à création continue de Gold, Bondi et Hoyle.

* Note de la rédaction: On se rappellera que ce texte a été écrit il ya plus de dix ans. Le qualificatif "actuel" utilisé ici se rapporte donc à ce qu'était l'actualité de la question vers 1973. Une mise au point plus récente sera prochainement publiée dans les Cahiers.

La portée des radiotélescopes est encore plus grande que celle des télescopes optiques et les dénombrements des radiogalaxies (malheureusement toutes les galaxies ne sont pas des radiogalaxies) confirment les résultats publiés par l'équipe du Palomar.

Mais on sait que l'apport le plus important de la radioastronomie à la cosmologie fut la découverte par Penzias et Wilson du rayonnement de 3K. Ce rayonnement ne provient pas de la direction de telle ou telle source; il arrive avec une égale intensité de toutes les directions de l'espace. Il serait le résidu, actuellement très refroidi, du rayonnement initial très chaud de l'univers lors de l'explosion primordiale. C'est là, bien évidemment, la plus grande découverte cosmologique depuis celle de la récession générale des galaxies, par Hubble.

L'importance d'un tel fait exige une grande convergence de confirmations. L'une d'elle serait le caractère purement thermique d'un tel rayonnement. On comprend dès lors sans peine les efforts de nombreuses équipes, dont plusieurs sont françaises, à réaliser des observations en ballon, ou mieux en satellite pour observer hors de l'atmosphère si ce rayonnement de 3K a bien le caractère thermique.

Pourtant, il n'est plus guère aujourd'hui, en l'attente de ces résultats, d'astronomes pour douter que l'on ait mis en évidence la trace, et partant la preuve, de l'explosion primordiale de l'univers. Cette découverte va dans le même sens que les observations optiques ou radioastronomiques dont nous avons parlé plus haut. Le modèle stationnaire à création continue est incompatible avec ce résultat puisqu'il ne comporte pas d'explosion primordiale. Mais la découverte du rayonnement de 3K va plus loin car, de toutes les solutions des équations de la relativité générale, les modèles à explosion primordiale ne constituent plus qu'une petite famille. Cette découverte est donc un pas important vers l'unicité du modèle.

Certes, la question fondamentale de savoir si l'univers est fini ou infini reste encore en suspens. Sachons attendre encore d'autres découvertes d'observations qui préciseront ce point. Par contre un progrès important est réalisé dans le domaine du temps sur lequel nous reviendrons ultérieurement. L'explosion primordiale est-elle l'origine du temps et de l'espace, la création de l'univers ou seulement un passage par un état hyperdense où toute la matière devient rayonnement à la suite d'une phase de contraction, précédant la phase d'expansion actuelle. Le temps serait alors infini et l'existence de l'univers également. Le point nul de la théorie ne serait que l'image mathématique, jamais atteinte physiquement, de ce passage de l'univers par l'état hyperdense. Pourtant l'idée que la réalité d'un tel point nul puisse avoir un sens commence à se faire jour. C'est toute la question des singularités, véritables frontières de l'espace-temps, où l'espace et le temps s'annulent, où toute la géométrie de l'espace s'écroule dans le néant et avec elle toutes les lois de la physique. Qu'une telle singularité existe dans le passé et que l'univers en ait surgi par l'explosion primordiale est une hypothèse vraiment très consolidée si d'autres singularités doivent exister dans l'avenir. Or c'est un résultat des équations de la relativité générale, qui en ressort encore grandie, que de prédire le devenir inéluctable de la matière-énergie de l'univers par sa disparition dans une telle singularité future, image symétrique de son émergence au réel, au cours de la singularité passée que représente l'explosion primordiale. Mais des édifices matériels moins grands que l'univers tout entier, des étoiles par exemple, devront subir aussi l'inexorable sort de disparaître dans de telles singularités, les fameux trous noirs, terme qui explique bien cette notion de limite des observables pour l'observateur que nous sommes. Que les observations en satellite du rayonnement X de certains systèmes stellaires doubles révèlent pour le compagnon invisible les valeurs mêmes des paramètres que la théorie prévoit pour le trou noir ote désormais tout caractère spéculatif à ces études.

Leur apport philosophique est considérable. Une fois de plus, à la lumière de ces considérations, le concept d'univers éclate: l'univers des observables, espace-temps de l'observateur que nous sommes, prisonnier des singularités qui le bornent, est-il tout ce qui existe? Ou n'est-il lui-même qu'une singularité parmi d'autres dans un cosmos beaucoup plus général à jamais inobservable pour nous? Horizon des observables, hiérarchie des univers, n'est-ce pas là prestigieuse conquête de la cosmologie le fait qu'appartiennent désormais au domaine de la science de si extraordinaires idées qu'on aurait prises encore naguère pour d'inconsistants fantasmes échappés à quelque délire.

Henri Andrillat

LECTURES POUR LA MARQUISE ET POUR SES AMIS

Sous l'étoile Soleil

***** par Jean-Claude Pecker, un volume de 412p., collection "Le temps des sciences", éd Fayard (120 F).

Le Soleil a commencé par être un dieu ; il fallait mettre la divinité quelque part, ce n'était pas mal choisi. Mais l'imagination humaine a trouvé mieux pour localiser la divinité : fin du Soleil-dieu. Vint alors le Soleil centre du monde puisque Copernic nous assurait que ce n'était pas la Terre comme tout, pourtant poussait à le faire croire. Vint Shapley qui montra que le Soleil était un marginal dans la Galaxie : fin du Soleil centre du monde. Quelle dégringolade, le prestige se perd. Et pourtant, ce Soleil, il nous intéresse diantrement. Pas seulement pour chauffer nos vieilles douleurs ou "ressourcer" (comme on écrit dans les magazines, nos énergies. Surtout, quel bel objet d'étude pour un astronome !

Voici donc le Soleil de Pecker, non centre du monde, mais dans une large mesure, centre d'intérêt fondamental pour l'astrophysicien qu'il est et, grâce à lui, pour le lecteur passionné que nous sommes dès que nous le suivons dans son plan aussi clair que complet : 1) histoire de Soleil ; 2) l'étoile Soleil ; 3) le système Soleil , 4) le laboratoire Soleil.

Dans l'histoire de Soleil, il y a les légendes anciennes aussi variées que pittoresques sur ce dieu chauffant. Il y a aussi le Soleil des artistes, celui que dessinent tous les enfants de la Maternelle (curieux quand même que, sans qu'on leur dise, ce soit toujours leur premier sujet), celui qu'invoquent tous les poètes. JCP (vous permettrez cette désignation codée de l'Auteur) a collectionné (appendice F, "Les fleurs du Soleil") une anthologie de poésies sur le Soleil que chaque lecteur enrichira encore selon ses goûts. Le chapitre "Le Soleil maître de notre destin" rappelle les croyances astrologiques et vous pensez bien que JCP en profite pour dénoncer avec autant de vigueur que de clarté leur inanité (ce qui ne les empêche pas de proliférer dans tant de magazines et autres mauvais lieux). Enfin, dans cette histoire de Soleil, il y a aussi le chapitre "Soleil, étoile banale" qui nous rappelle les définitions classiques et les données de base. Un livre qui servira de référence.

La deuxième partie, "L'étoile Soleil", est la visite guidée, et bien guidée, de cette merveilleuse machine. En partant de l'usine thermonucléaire centrale puis en allant vers l'extérieur. Je ne dis pas la surface car il y a la photosphère profonde, la moyenne et l'externe avant la chromosphère et la couronne : le terme géométrique de surface convient bien mal à cette réalité physique. Visite passionnante, il y a plus de dix mille raies obscures dans le spectre solaire, seul spectre astronomique qui puisse être étalé sur plusieurs mètres, dix mille raies "qui posent dix mille problèmes plus fascinants que les mots croisés du samedi" selon l'Auteur qui est aussi spécialiste de ce genre de casse-tête. J'ai été, quant à moi, qui ne suis pas cruciverbophage, spécialement accroché par le chapitre "Soleil et étoiles" convaincu en effet que s'il faut s'intéresser au Soleil, il ne faut pas s'enfermer dans le "ghetto solaire", l'expression est de JCP. Soyez assurés qu'il ne s'y enferme pas, c'est bien tout le contraire puisque, à partir de tout ce que lui enseigne le Soleil, il nous conduit vers une nouvelle astrophysique des étoiles : à côté ou au-dessus du diagramme H-R et de la seule considération des trois paramètres luminosité, masse, diamètre, quelles découvertes nous attendent lorsqu'on pourra tenir compte, pour certaines étoiles au moins, comme pour le Soleil, du moment angulaire,

du champ magnétique, etc... Dans dix ans, JCP nous donnera un livre sur le Soleil et les étoiles qui laissera celui-ci... dans l'ombre.

En attendant, poursuivons la visite du "Système du Soleil", le système des planètes considéré comme banlieue solaire, avec la variété des banlieues, la résidentielle (enfin pourvu qu'on ne la pollue pas trop) et les inhabitables. On discute des relations Soleil-Terre qui nous touchent immédiatement pour finir sur l'évolution du système qui fait rêver. Plaisant rappel du calcul de cet archevêque anglais qui datait la création du monde au 23 octobre de l'an 4004 avant J-C à 9 h du matin (heure de Greenwich). Nous sommes rassurés de le savoir beaucoup plus vieux, entre 3,8 et 5,4 milliards d'années avec une réserve pour un avenir rayonnant sensiblement de même durée. Le temps certainement d'en savoir enfin plus long sur toute son histoire.

La dernière partie de la visite, "le laboratoire Soleil" est sans doute celle qui a la préférence de l'astrophysicien JCP. Il faut le reconnaître, quel riche labo, ce Soleil, sous ses yeux, ses instruments, ses théories. Belle histoire : ce sont les astronomes qui ont poussé les physiciens à inventer la chimie nucléaire, puis ce sont les physiciens très terrestres avec leurs accélérateurs de particules qui sont venus résoudre certains problèmes des astronomes (encore une occasion de noter que s'enfermer dans n'importe quel ghetto est toujours mauvais). Aboutissement (provisoire?), la MHD, la magnétohydrodynamique qui couple ou conjugue (comme vous voudrez) l'électromagnétisme et la mécanique des milieux continus.

Conclusion, il y a la relativité générale et les preuves observées dans le système solaire. Il n'y a qu'une physique, qu'un Univers, qu'une astronomie et toute cette étude du Soleil peut être considérée comme n'en constituant qu'une introduction.

Oui, mais fameuse ! Par son contenu dont cette analyse rapide (le livre a 412 pages et je veux me limiter à deux pages des CC) ne décrit la richesse que très incomplètement. Par la forme sur laquelle je voudrais insister. Le Livre est édité dans une collection, "Le temps des sciences", qui a déjà permis à plusieurs grands savants contemporains de s'adresser à un large public ; "Traité du vivant" par Jacques Ruffié, "L'homme neuronal" par Jean-Pierre Changeux, "Le jeu des possibles" par François Jacob m'ont paru des chefs d'oeuvre de ce genre difficile qu'est la vulgarisation scientifique. Ces auteurs, et JCP à leur suite, ne considèrent pas leurs lecteurs comme des êtres amorphes seulement capables comme d'aucuns d'absorber des variétés télévisées dites de luxe ou de boulevard. Ces auteurs n'hésitent pas à demander quelques efforts à qui veut les suivre. Cet effort est récompensé, ce qui définit la bonne vulgarisation.

JCP y ajoute sa note personnelle. En particulier dans les quelques lignes qui, en tête de chaque chapitre, disent ses intentions. Exemple : "Où l'auteur, soucieux de montrer qu'il sait des quantités de choses, même en physique..." ou encore, en tête du dernier chapitre : "...ce qui prouve définitivement que le Soleil et Einstein font bien partie du même Univers."

Le livre est complété par des très utiles appendices qui regorgent de données comme cette carte d'identité du Soleil, la bibliographie classée et le précieux index alphabétique. Si bien que l'ouvrage, passionnant à lire, sera très souvent consulté avec profit et commodité par les non-spécialistes que nous sommes souvent.

Ayant donc lu ce livre avec l'intérêt que je viens de dire, je me suis trouvé devant un désir et une interrogation. Le désir, celui de relire tel ou tel chapitre, d'en approfondir la compréhension. Désir facile à satisfaire, je garde le livre à portée de main. Quant à l'interrogation, elle dépasse le sujet et l'auteur tout en les concernant au premier chef. Qu'est ce qui fait l'attrait de la lecture d'un tel livre ? Son sujet ou le talent de son auteur ? Le meilleur talent peut parfois venir au secours d'un sujet trop étroit (la virgule chez Cicéron ou les éclipses de Io par Ganymède). Ce qui fait une réussite, c'est le talent au service d'un sujet

ouvert dont il sait exploiter la richesse. Encore faut-il que l'auteur ne fatigue pas notre attention au profit de considérations secondaires. Bref, les conditions idéales sont remplies lorsque le sujet est vaste et que la culture de l'auteur nous le fait explorer en profondeur. Avec le Soleil, JCP a choisi le cadre parfait. Vous objecterez qu'il n'a pas choisi, puisqu'il n'y a qu'un Soleil. Mais il n'y a qu'un JCP et notre chance, c'est qu'ils se sont rencontrés.

G.W.

P-S. J'ai débordé les deux pages promises, c'est sa faute, à JCP, on regrette de ne plus parler de son livre.

La cosmologie moderne

***** par Andrillat, Maeder, etc ; éd Masson 1984 (140 F).

Cet ouvrage collectif a été écrit par quatre astronomes, H. Andrillat, B. Hauck, J. Heidmann, A. Maeder et un philosophe J. Merleau-Ponty. La Société suisse des professeurs de mathématiques et de physique a organisé en 1982, à l'intention des professeurs de l'enseignement secondaire, un cours d'une semaine consacré à la Cosmologie. Le livre édité rassemble les textes des diverses conférences prononcées à cette occasion. Sa présentation n'est pas luxueuse, le texte a été reproduit tel que tapé à la machine et le livre ne contient que quelques photographies de qualité médiocre mais son prix est relativement modéré.

Dans la première partie intitulée "La Cosmologie, du point de vue du philosophe", J. Merleau-Ponty insiste sur le caractère très particulier de cette science.

La deuxième partie, la plus importante (80 pages sur 170), a pour titre "La Cosmologie relativiste". Les deux premiers chapitres donnent les résultats essentiels de la relativité générale. Ils sont très mathématiques mais les calculs sont développés dans des "encadrés" dont la lecture n'est pas indispensable. Les deux chapitres suivants, consacrés aux modèles cosmologiques et au choix du bon modèle sont plus faciles. Il est peut-être dommage que les modèles à constante cosmologique non nulle n'aient pas été envisagés. Le Dernier chapitre expose la théorie du "Big Bang". Sans doute dans un souci de simplification, elle est traitée un peu rapidement. En particulier, la détermination du pourcentage d'hélium et d'hydrogène ne tient compte ni de la désintégration du neutron ni de la température à laquelle s'est produite la nucléosynthèse et ne permet pas en toute rigueur de retrouver les douze pour cent de neutrons et les quatrevingt huit pour cent de protons, prédiction fondamentale de la théorie. La bibliographie finale permettra d'approfondir le sujet, mais je regrette que le livre de J. Heidmann "Introduction à la Cosmologie" (PUF) et celui de S. Mavridès "L'Univers relativiste" (Masson) n'y figurent ni l'un ni l'autre.

Le choix d'un modèle cosmologique ne peut se faire que grâce à une connaissance précise de l'Univers. Les deux parties du livre consacrées à la Cosmologie observationnelle et à la détermination des distances montrent les progrès réalisés, les résultats obtenus et ceux qui sont encore discutés, les progrès qui restent à faire.

La cinquième partie présente et discute les diverses interprétations du paradoxe d'Olbers. L'exposé est très complet et très clair.

A l'heure actuelle, la Cosmologie repose donc entièrement sur la relativité générale ; et pourtant les vérifications expérimentales de cette théorie ont été pendant bien longtemps très médiocres. La dernière partie du livre montre comment l'étude d'un pulsar binaire confirme avec une grande précision les prévisions d'Einstein et donne aux modèles cosmologiques relativistes toute leur valeur. C'est une belle conclusion à l'ensemble du livre.

Béatrice Sandré

Galilée, Newton lus par Einstein

***** espace et relativité par Françoise Balibar,
n°1 de la nouvelle collection "Philosophies", 128 p., éd PUF (25 F).

Quel merveilleux petit chef d'oeuvre ! Sous un volume équivalent à un "Que sais-je?", quelle richesse d'information sous la forme la plus claire. Petit par conséquent en raison du format, chef d'oeuvre par le contenu et par le style.

L'idée : présenter des extraits largement commentés du "Dialogue concernant les deux plus grands systèmes du Monde" écrit par Galilée en 1632 avec les yeux et, éventuellement, les commentaires d'Einstein. Voilà pour la mécanique de Galilée, le principe d'inertie et le principe de relativité.

Relire ensuite Newton grâce à l'article de Einstein sur "La mécanique de Newton et son influence sur le développement de la théorie physique" (article que l'on peut relire en entier dans le volume d'Einstein "Comment je vois le monde"). Ici, l'article est largement cité et commenté excellemment.

Conclusion, en chapitre 3, "Newton, excuse-moi" dont le titre reprend une expression d'Einstein lui-même et dans lequel Einstein explique pourquoi la notion d'un espace absolu immobile est superflue, pourquoi il faut développer la mécanique dans l'espace-temps. Qu'est-ce que la mécanique sinon la recherche des référentiels équivalents, idée de la relativité au sens large.

En même temps que ce joli petit livre, F.Balibar publie avec J-M.Lévy-Leblond le premier tome d'un traité intitulé "Quantique" qui comprendra trois volumes. Ce premier tome de 494 pages (édition CNRS-Interéditions, 178 F) est modestement intitulé "Rudiments" ce qui ne doit cependant pas faire illusion ; il est destiné aux étudiants de l'Université déjà bien informés. Tandis que ce petit livre et cette collection "philosophies" sont certainement accessibles aux élèves de Terminale du secondaire, par conséquent recommandé à un plus large public. L'ayant lu, vous aurez envie de le faire lire. La pédagogie par les textes originaux des savants, ça existe, je viens de la rencontrer.

G.W.

Le destin ultime de l'Univers

***** implosion ou disparition, par Jamal N.Islam,
traduit de l'anglais par Ana Alter, collection dirigée par Jean Audouze,
178 p., éd Belfond|Sciences (89 F).

Alors que la plupart des livres de cosmologie destinés au grand public (ce qui signifie "ouvrages qui s'interdisent tout formalisme mathématique") s'intéressent principalement à la formation de l'Univers, réponse à la question "d'où venons-nous ?", celui de J.N.Islam nous propose une information et une réflexion à propos d'une question plus rarement posée et tout aussi intéressante "où allons-nous ?" Et là où Jacques le Fataliste, sous la plume de Diderot, restait fort indécis, il nous offre une perspective.

JNI commence évidemment par rappeler les données du problème : la structure à grande échelle de l'Univers et l'accord du plus grand nombre des astronomes sur le grand boum et l'expansion qui s'ensuivit et s'ensuit encore. Accord général sur les grandes lignes qui n'exclut pas certaines nuances. Exemple : le traducteur signale en passant la découverte de larges régions qui paraissent vides de galaxies, ce qui infirme l'hypothèse de la répartition uniforme des galaxies dans l'espace (répartition uniforme en moyenne).

Mais venons-en à l'avenir. L'avenir du tout passe par l'avenir des parties, les "trois façons pour une étoile de mourir", naine blanche, étoile à neutrons ou trou noir. Avec cette remarque qui peut surprendre que le destin de ces gros objets que sont les étoiles est déterminé par la physique des particules. Mais si vous avez enfin admis que le comportement de votre corps, tête comprise, était déterminé par les gènes de votre cellule initiale, j'espère que ces liens intimes entre le très petit et le très grand -vous notez que je ne dis pas les deux infinis -ne vous troublent plus.

Si, comme on peut le penser, l'Univers est ouvert et l'expansion indéfinie dans mille milliards d'années (10 puissance 12), même si des nouvelles étoiles se forment entre temps, une galaxie typique comme la nôtre ne sera plus formée que de naines blanches, d'étoiles à neutrons et de trous noirs. Les galaxies ne rayonneront presque plus, notre ciel sera tout noir à l'exception de quelques rares éclairs de temps à autres...

Cela ne fixe pas une date limite à l'évolution de l'Univers ouvert. Au bout de 10 puissance 18 années (j'écrirai 10p18, ma machine à écrire n'est pas faite pour écrire ces durées qui la dépassent) ou même 10p27 années, les galaxies auront éjecté la plupart de leurs étoiles "mortes" (étoiles en fin d'évolution) appliquant la règle bien connue que les déchets c'est pour les autres. Quant aux noyaux galactiques ils se concentreront en trous noirs galactiques dont les masses seront de l'ordre du milliard de masses solaires. Des sources d'énergie resteront disponibles pendant quelques 10p100 années. Au delà, il reste à savoir si des formes de vie et de civilisation restent possibles dans un Univers où les ressources en énergie seraient fixes et limitées.

Si l'Univers est fermé, c'est à dire si sa densité moyenne est plus grande que la valeur limite prévue par la Relativité Générale, la phase actuelle d'expansion sera suivie par une phase de contraction et un grand effondrement, une gigantesque implosion. Alors destin plus court, 90 à 110 milliards d'années. A moins que ce "Big Crunch", disons "Grand Broyage" ne soit suivi par une nouvelle expansion. Autrement dit évolution cyclique indéfinie ponctuée tous les cent milliards d'années de "grands boums" où tout repart "à zéro" comme on dit de façon sûrement trop simpliste.

Et Nous, dans cette histoire ? Nous, la Terre, la vie au sens courant des êtres vivants dont certains ont créé des civilisations et commencé à faire de l'astronomie (je dis commencé car les débuts sont récents, moins de 10p4 années). La réponse à cette question est une autre histoire. Dans ce livre de vulgarisation, l'auteur présente ses réflexions de façons claire et simple qui donne envie au lecteur d'approfondir le sujet : voir alors les études sur la Relativité Générale et les quanta. Quant aux grands nombres manipulés ici, ils sont bien petits par rapport au nombre de Skewes dont le dictionnaire m'apprend qu'il s'écrit en numération décimale avec 10p10p34 chiffres, les mathématiques dépassent la cosmologie...

G.W.

Poussières d'étoiles

***** par Hubert Reeves, collection "Science ouverte", 200 p. format 27/31 cm, relié ; éd Seuil (400 F).

Le succès de "Patience dans l'Azur" (paru en 1981) a incité l'auteur et l'éditeur à reprendre le même thème, l'évolution cosmique, sous une forme encore plus abordable par un plus vaste public. Ce qui consiste à remplacer tout exposé un peu technique (par exemple certains excellents addenda du premier livre, je pense à ceux sur les neutrinos, sur l'évolution stellaire...) par une illustration abondante, agrandie et en couleurs. Résultat un coûteux album de très belles images et un commentaire souvent trop lyrique à mon goût. Mais j'admets très bien que la beauté des images est une voie non interdite pour amener quelqu'un à s'intéresser à l'astronomie tout le monde n'est pas forcément conquis par la mesure de la précession par ce brave vieux Hipparque.

G.W.

Livres à lire (sur lesquels nous reviendrons) :

- Les tables Alphonsines avec les canons de Jean de Saxe ; édition critique par Emmanuel Poullé. Ces tables calculées au début du XIV ème siècle sont données avec le mode d'emploi établi par Jean De Saxe en 1327. Edition CNRS.
- L'Univers, énigmes et découvertes par Philippe de La Cotardière, 156 p., 99F éd Larousse.

QUADRANT DE COPERNIC

Le quadrant de Copernic fut un des plus simples appareils anciens utilisés pour calculer la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon .

Il s'agit tout simplement d'un quart de cercle gradué en degrés sur lequel se projette l'ombre d'une cheville ou pointe placée à angle droit à l'intersection des deux rayons.

Utilisation de l'appareil:

On place le quadrant sur un support bien horizontal de sorte que l'appareil vu par la tranche soit bien parallèle aux rayons solaires. La largeur de l'ombre de l'appareil lui-même est alors égale à son épaisseur.

L'ombre de la pointe est alors rasante à la surface de l'appareil et peu visible . On est obligé de tourner très légèrement l'appareil pour mieux voir la trace de l'ombre et lire ainsi la valeur de la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon.

Construction de l'appareil:

Pour que le quadrant soit stable on fixe de chaque côté de la base un tasseau de bois (fig 1). Pour maintenir l'appareil de niveau il suffit de le doter d'un petit fil à plomb suspendu à la pointe .

Autre construction:

La fig 2 représente un quadrant amélioré.

Sur le bord supérieur sont vissés deux pitons dont les anneaux sont recouverts d'une rondelle de carton. Le piton au-dessus du fil à plomb est percé en son centre pour permettre le passage des rayons solaires qui viennent frapper le centre de la rondelle de l'autre piton (fig 2b). Le fil à plomb indique la hauteur du Soleil. Un tel quadrant peut être maintenu entre les mains sans autre support.

On peut également à la place des pitons, coller un tube de carton . Le bout du tube, côté Soleil, est muni d'un réticule bien centré (croisillon de fils), l'autre bout étant obturé par une rondelle de carton percée en son centre (fig 2a).

Ce système permet, par visée à l'oeil nu, de mesurer la hauteur au-dessus de l'horizon de tout objet céleste: Soleil, lune, étoile.. Pour le Soleil placer devant le réticule une diapo noire pour ne pas être aveuglé.

Groupe "Ciel" CEMEA

(communiqué par Victor Aguerre)

QUADRANT DE COPERNIC

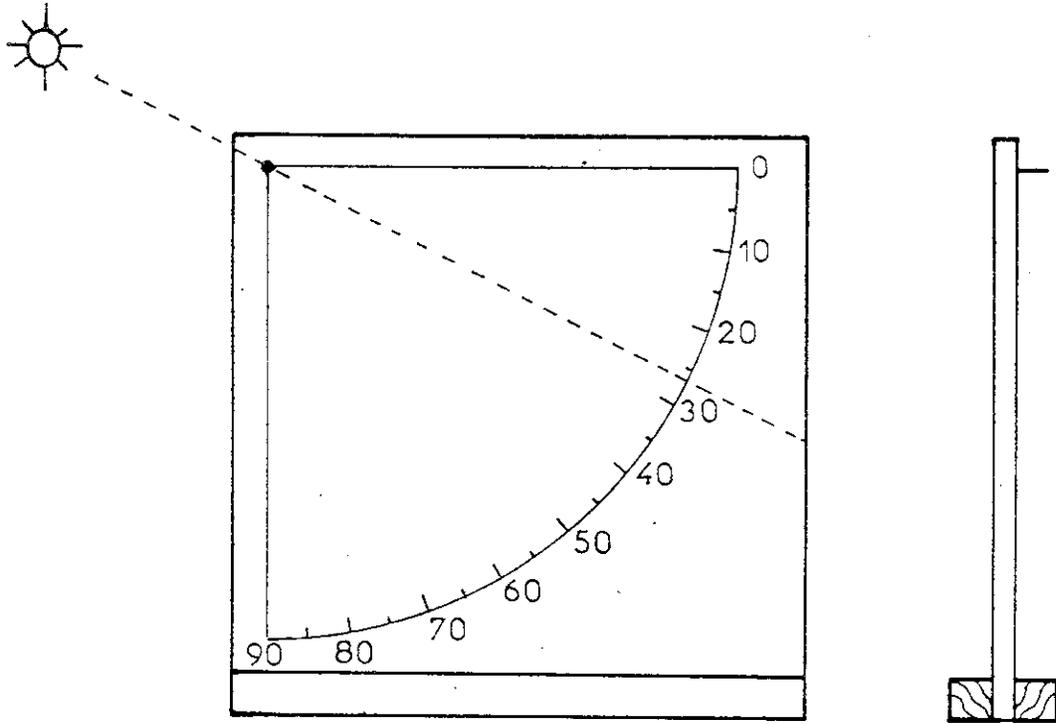


Fig. 1

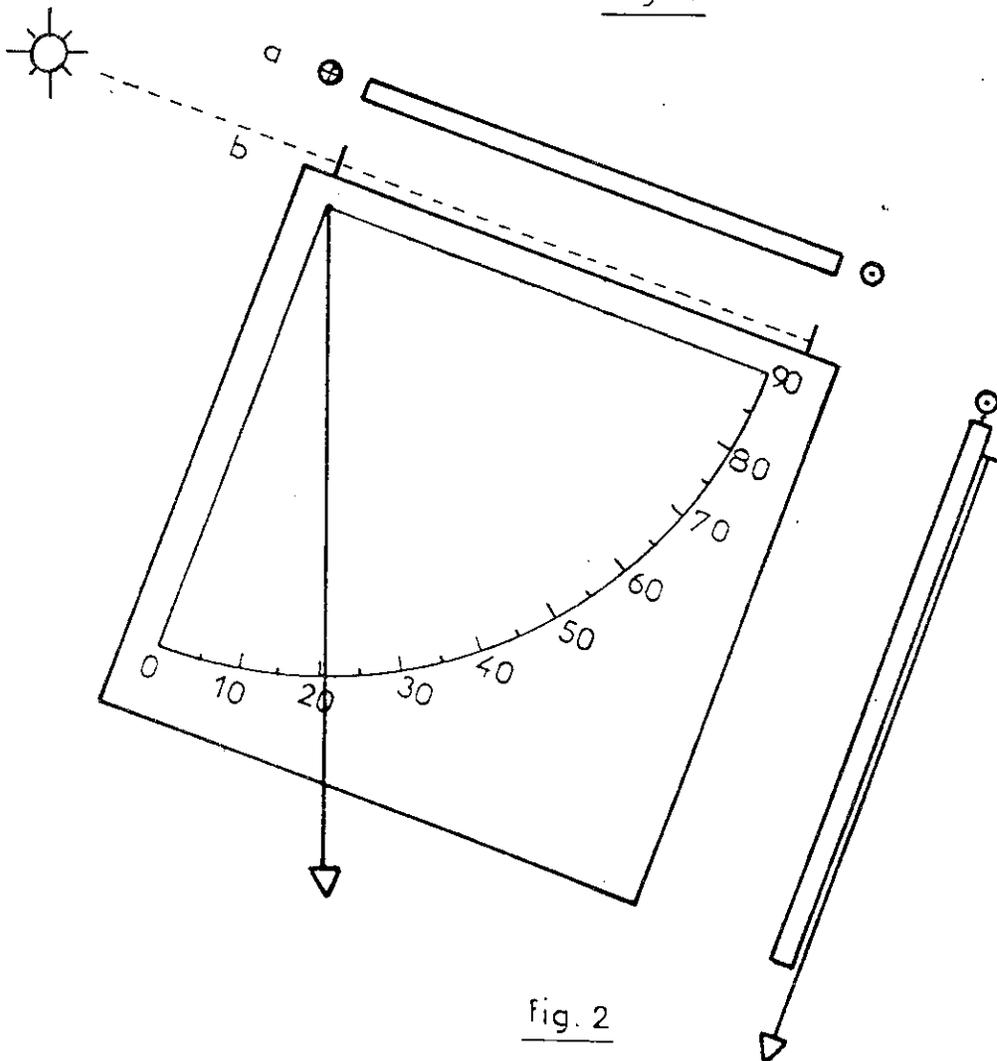


Fig. 2

ETOILES A NEUTRONS ET PULSARS

Pourquoi croit-on que les pulsars sont bien des étoiles à neutrons ?

La découverte des pulsars soulevait toute une série d'interrogations: quel genre d'objet peut émettre un tel rayonnement pulsé ? Pourquoi une stabilité aussi grande de la période ? Quels mécanismes physiques permettent d'expliquer les caractéristiques du rayonnement ? etc... A cette fin, et plutôt que d'inventer de nouveaux objets exotiques aux propriétés ad hoc, il fallait d'abord tenter d'épuiser l'arsenal des possibilités conventionnelles. Il existe en fait trois types naturels de systèmes astrophysiques périodiques: (i) les systèmes orbitaux où deux étoiles tournent l'une autour de l'autre; (ii) des étoiles en pulsation, qui se contractent et s'étendent périodiquement et (iii) des étoiles en rotation.

La première possibilité était éliminée par K. Thorn. La relativité générale prédit l'émission très efficace d'ondes gravitationnelles par de tels systèmes, de sorte que les deux étoiles en orbite perdraient rapidement de l'énergie (sous forme d'ondes gravitationnelles; de même que les phénomènes électromagnétiques peuvent donner lieu à la propagation d'ondes, la relativité générale prédit que les interactions gravitationnelles peuvent également se propager comme des ondes; cette prévision vient d'être vérifiée, avec une très grande précision, sur le pulsar double PSR 1913 +16 grâce à des calculs effectués en France par L. Bel, T. Damour, N. Deruelle, B. Linet et A. Papapétrou) et spiralerait l'une vers l'autre; un tel système aurait une durée de vie beaucoup trop courte.

Le second cas - celui d'une étoile en pulsation - fut éliminé en remarquant préalablement que la taille de l'émetteur était au plus de l'ordre de 6 000 km (pour le premier pulsar découvert): cette taille ne peut excéder la distance que parcourerait la lumière pendant la durée de l'impulsion (ici 20 ms). En effet, pour que les diverses parties de la source émettent en même temps, il est nécessaire qu'elles soient "informées" d'avoir à le faire. Pour cela il est indispensable que se propage un signal (une interaction) entre les diverses parties de la source. Or un tel signal ne peut se propager à une vitesse supérieure à la vitesse de la lumière. Il s'ensuit que la source aura une taille d'au plus $300\,000\text{ km/s} \times 0,02\text{ s} = 6\,000\text{ km}$. Il s'agissait donc soit d'une naine blanche soit d'une étoile à neutrons.

Cependant, les naines blanches ne peuvent avoir de période de pulsation inférieure à 0,25 seconde (la période de pulsation est proportionnelle à l'inverse de la racine carrée de la densité moyenne, elle-même au plus de l'ordre de 10^8 g/cm^3 pour une naine blanche. Or, on sait que le pulsar du Crabe possède une période beaucoup plus courte (33 ms). il ne restait donc que la possibilité d'une étoile à neutrons en pulsation. A son tour cette hypothèse était rejetée car, au contraire des naines blanches, leurs périodes de pulsation sont beaucoup trop courtes, de l'ordre de la milliseconde.

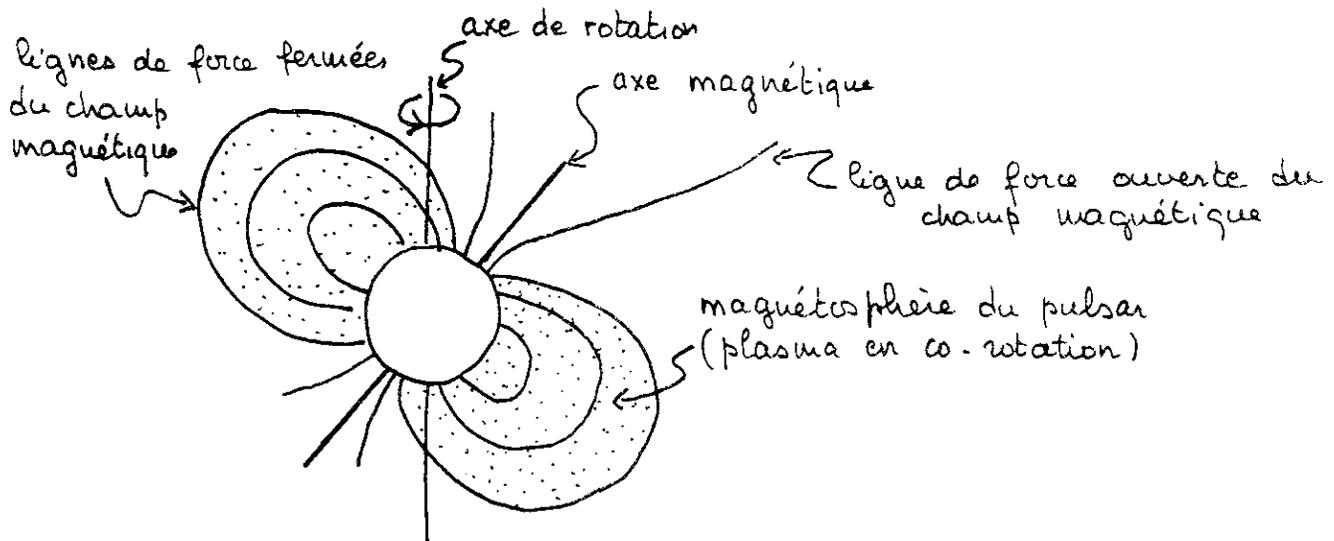
Restait alors le cas d'une naine blanche ou d'une étoile à neutrons en rotation rapide. Cependant une naine blanche ne peut tourner sur elle-même à plus d'un tour en quelques secondes sous peine d'exploser sous les effets centrifuges. Ce n'est pas le cas d'une étoile à neutrons en rotation, compte-tenu de la plus grande compacité d'un tel objet (10 km de rayon pour une masse du même ordre de grandeur que celle d'une naine blanche, c'est-à-dire la masse du Soleil). Toutefois, cette seule possibilité connue n'est pas nécessairement la bonne: aussi convenait-il d'élaborer des modèles que l'observation devra confirmer ou infirmer.

L'idée la plus naturelle est qu'il existe un "point chaud", c'est-à-dire une source de rayonnement électromagnétique, lié à l'étoile et qui tourne avec elle; les impulsions reçues par l'observateur sont analogues à celles d'un phare. C'est sur la base de cette idée simple que les modèles de pulsars sont élaborés et les données concernant la nébuleuse du Crabe vont les confirmer

Le modèle du dipole magnétique en rotation.

La question cruciale, encore non totalement résolue, est d'expliquer le mécanisme de ce rayonnement pulsé que l'on observe et ses principales propriétés. Comme pour les autres étoiles, ce rayonnement provient des couches les plus externes du pulsar et, plus précisément, du milieu ionisé qui l'entoure immédiatement. La polarisation du rayonnement est, comme je l'ai déjà signalé, une indication de l'existence d'un champ magnétique dans les pulsars, champ qui joue un rôle extrêmement important dans les processus de rayonnement. En fait, la plupart des objets de l'astrophysique possèdent des champs magnétiques: 0,2 gauss pour la Terre, 1 gauss pour le Soleil, 10^{-6} pour la Galaxie, 10^8 à 10^9 gauss pour certaines naines blanches. En ce qui concerne les étoiles à neutrons, divers arguments, pas toujours convaincants, conduisent à des intensités énormes de l'ordre de 10^{12} gauss (en laboratoire on atteint quelques millions de gauss pendant des temps très brefs). Un tel ordre de grandeur est corroboré par la valeur du champ magnétique de la nébuleuse du Crabe. En outre, cette valeur du champ magnétique des pulsars a été confirmée récemment en ce qui concerne le pulsar Herculis X-1 par l'observation dans le domaine des rayons X d'une raie interprétée comme étant la raie cyclotron d'électrons.

T. Gold était donc conduit naturellement en 1969 au modèle d'une étoile à neutrons en rotation rapide, dotée d'un champ magnétique dipolaire très intense. Comme l'axe du dipole magnétique n'a aucune raison de se trouver aligné avec l'axe de rotation de l'étoile, on est amené à considérer ce qu'on appelle un rotateur oblique.



Ce modèle est tout à fait confirmé par les données concernant la nébuleuse et le pulsar du Crabe: l'énergie émise par seconde par un dipole magnétique tournant à la vitesse d'un tour toutes les 33 millisecondes est du même ordre que la perte d'énergie de rotation due au ralentissement du pulsar. Enfin, le modèle du rotateur oblique conduit à une relation entre la période d'un pulsar, sa variation par unité de temps et sa décélération indépendante de toute autre grandeur; cette relation fait apparaître une constante, l'indice de freinage, qui vaut 3 dans le cas du rotateur oblique. La mesure de cet indice de freinage dans le cas du pulsar du Crabe donne 2,515, ce qui est très satisfaisant, compte-tenu du caractère primitif du modèle. Pour les autres pulsars, il est difficile de mesurer la décélération de la période. Il existe un certain nombre de modèles classiques, ayant chacun leurs vertus et leurs défauts, qui font l'objet de débats entre spécialistes. Aucun cependant ne fait l'unanimité, et comme ils sont assez complexes nous n'en parlerons pas ici. Tous ces modèles font appel aux propriétés physiques de plasmas qui, en l'occurrence, peuvent être relativistes et/ou quantiques et relèvent d'un traitement physique assez sophistiqué.

Peut-on avoir accès à l'intérieur d'une étoile à neutrons ?

Nous avons vu que si les caractéristiques principales (émissions pulsées) des pulsars peuvent être obtenues par leurs seules propriétés externes, la nature de l'intérieur n'affecte guère que les masses, rayons ou moments d'inertie, sur lesquels on possède très peu de mesures précises. Il existe cependant un phénomène, que nous avons mentionné précédemment, celui des "glitches" de quelques pulsars (rappelons qu'il s'agit d'une brusque accélération de la rotation suivie, quelques jours plus tard, d'un retour à la rotation antérieure) qui est très probablement lié à la structure interne des étoiles à neutrons. Seul un faible nombre de pulsars en présente. Or, s'il s'agissait, par exemple, d'une instabilité du champ magnétique, on ne voit pas pour quelle raison elle se manifesterait aussi rarement.

On a donc été amené à considérer, comme cause possible des "glitches", aussi bien des tremblements de la croûte (la rotation rendant l'étoile oblate, la croûte a tendance à se briser; l'étoile réaménage ainsi sa structure et modifie donc son moment d'inertie, ce qui produit une variation de sa vitesse de rotation) que des couplages complexes entre la croûte solide et l'intérieur superfluide (c'est-à-dire sans frottement) par l'intermédiaire des tourbillons engendrés par la rotation. De même, les propriétés physiques d'un coeur solide ou celles liées à la dynamique de transition de phases de la matière dense, pourraient expliquer ces "glitches". Dans tous les cas, même en adoptant un modèle bien défini de la matière ultra-dense, la complexité des phénomènes possibles rend généralement toute conclusion peu convaincante.

Conclusion.

Il peut être intéressant de noter que tôt ou tard les pulsars auraient été découverts. En effet, alors que les radiotélescopes usuels permettaient d'observer dans les domaines de longueur d'onde décimétrique, il était nécessaire - afin d'étudier les problèmes de scintillation du vent solaire - d'opérer avec des longueurs d'onde de l'ordre du mètre et surtout avec de faibles temps de résolution (c'est-à-dire avec la possibilité de mesurer des variations très rapides du signal). Or, précisément, c'étaient là les deux conditions essentielles à la découverte des pulsars. Ajoutons ainsi que, même si Landau (voire W. Baade et F. Zwicky) n'avaient pas "inventé" les étoiles à neutrons, la seule observation des pulsars, et en particulier celui du Crabe, jointe à ce que l'on sait des réactions nucléaires (capture bêta), aurait conduit à les imaginer.

Ce bref tour d'horizon correspond à peu près aux idées courantes et au consensus qui règnent actuellement dans la communauté astrophysique. En dépit de nombre d'incertitudes portant aussi bien sur la structure interne que sur les mécanismes d'émission des pulsars, on s'accorde à identifier ces derniers aux étoiles à neutrons selon un schéma tout à fait satisfaisant. Nous nous sommes bornés à ce qui est raisonnablement sûr actuellement. Mais bien d'autres aspects sont étudiés de manière intensive au niveau théorique et/ou observationnel: refroidissement et âge des pulsars; émission de bouffées de rayonnement gamma; disques de matière autour d'une étoile à neutrons; problèmes de stabilité; problèmes de la magnétosphère; etc... Il faut cependant préciser que dans tous les cas on a affaire à des problèmes d'une extraordinaire complexité, faisant appel à tous les domaines de pointe de la physique, et que les solutions apportées à un moment donné sont souvent provisoires et tributaires des progrès d'autres spécialités. Toutefois, nul doute que dans les années qui viennent, bon nombre de questions seront résolues.

Rémi Hakim

N'oubliez pas de vous réabonner aux cahiers Clairaut et de payer
votre cotisation 1985 au CLEA !!!

LES POTINS DE LA VOIE LACTEE : ça bouge dans les faubourgs de Neptune

Le 14 janvier 1985, l'Université d'Arizona annonçait que deux équipes d'astronomes observant la même occultation d'étoile par Neptune avaient décelé un arc d'anneau autour de la planète.

Jusqu'en 1977, les anneaux de Saturne avaient représenté une structure unique en son genre dans le système solaire. La découverte le 19770310 des anneaux d'Uranus lors de l'occultation d'une étoile brillante par la planète, celle des anneaux de Jupiter photographiés par Voyager en 1979 révélaient que cette structure n'est pas exceptionnelle. Serait-elle associée à chaque planète géante ? Pour le savoir, il fallait répéter pour Neptune l'observation d'une occultation d'étoile qui avait révélé les anneaux d'Uranus. Avec un lot de difficultés supplémentaires : diamètre apparent de Neptune presque moitié de celui d'Uranus, surtout rareté des occultations prévisibles d'étoiles assez brillantes pour que les mesures photométriques d'extinction due à d'éventuels anneaux soient possibles.

L'équipe européenne, une RCP (Recherche Coopérative sur Programme du CNRS), animée par André Brahic, vice-président du CLEA, comprend des astronomes de Paris Bruno Sicardy et Françoise Roques, Patrice Bouchet de l'Observatoire Européen Austral, J.Manfroid de Liège et R.Häfner de Munich. Deux perfectionnements ont été mis en oeuvre dans l'observation. On affaiblit l'éclat relatif de la planète par rapport à l'étoile en plaçant un filtre arrêtant les raies du méthane (l'atmosphère de la planète est riche en méthane); ce faisant, une occultation par une étoile moins brillante peut être observée ; la fréquence de telles occultations est plus grande que celle des seules étoiles très brillantes. Autre précaution essentielle, faire les mesures à partir de deux télescopes voisins mais indépendants en particulier du point de vue de l'alimentation électrique des appareils; l'enregistrement photométrique révèle alors un événement réel s'il y a coïncidence dans le temps des enregistrements hors de tout phénomène parasite.

Des tentatives étaient restées infructueuses en 1983 alors qu'en 1981, à Tucson (Arizona) l'équipe de William B.Hubbard avait soupçonné l'existence d'un objet de 80 km de diamètre à trois rayons de Neptune. Le 22 juillet 1984 l'occultation par la planète étant douteuse, plusieurs équipes renoncèrent à l'observation. Seules les équipes de Hubbard et de Brahic observèrent, depuis le Chili, à 100 km les uns des autres. Succès : le graphique de l'enregistrement révèle un événement réel. Mais l'occultation par la planète elle-même n'a pas eu lieu et il n'y a pas eu extinction symétrique. D'où la rédaction prudente de la note conjointe des deux équipes : détection probable d'un arc d'anneau situé à trois rayons neptuniens de la planète et qui aurait environ 10 km de large.

En dernière minute de composition de ce numéro des CC, la place manque pour relater mieux et analyser toutes les phases de la découverte. Tirons seulement deux conclusions :

- 1°) D'après ce qu'on sait de la masse de Neptune, cet anneau serait situé presque au delà de la limite de Roche au delà de laquelle l'accrétion de matière en satellite est possible ; ce qui pose problème. Faut-il réviser nos idées sur la formation des satellites ? Ou incriminer un rôle à l'étrange satellite Triton (dont le mouvement est rétrograde) ?

- 2°) Voyager 2 doit traverser le plan de l'équateur neptunien en 1989 à 3 rayons de la planète ; il faudra donc corriger sa trajectoire pour éviter un tragique impact. Ce qui met en évidence les rôles complémentaires de l'observation terrestre et de l'observation spatiale alors que certains prétendent qu'à l'époque des sondes spatiales, il n'y a plus rien à faire depuis les observatoires terrestres.

Merci à l'ami Brahic des informations qu'il nous a données sur le travail de son équipe. Il nous en a dit beaucoup plus long. Nous y reviendrons pour préciser détail techniques et épisodes instructifs de cette découverte.

G.W.

Chronique du C L E A

L'assemblée générale du 19850119

Ainsi qu'il est devenu traditionnel, l'assemblée générale du CLEA s'est tenue au Laboratoire d'Astronomie d'Orsay le troisième samedi de janvier. Malgré les intempéries, plus de 80 collègues ont participé à cette réunion aussi riche d'informations que celles des années précédentes.

En 1984, le CLEA a compté 786 adhérents (781) et le n°27 des Cahiers Clairaut a été servi à 1154 abonnés (1180) ; entre parenthèses, les données correspondantes de 1983. Depuis cet inventaire, des abonnés en retard ont réglé leur réabonnement, le nombre des abonnés reste donc voisin de 1200. Soit stabilité de nos effectifs, ce qui peut être considéré comme une constatation honorable quand on sait les difficultés de la plupart des associations en 1984; nous ne devons pourtant pas nous en satisfaire. Il est évident que le CLEA et les CC sont encore ignorés par maints enseignants qui s'intéressent à l'astronomie ; un effort de propagande reste à accomplir : des réunions d'information, la diffusion des CC, apposer l'affiche du CLEA dans toutes les salles de professeurs. Se fixer un objectif raisonnable : atteindre les 1500 abonnés.

Le secrétaire commence par présenter les excuses de collègues empêchés soit par le verglas soit par des obligations professionnelles : Agnès Acker(Strasbourg), Astruc (Brive), Berlioux (Clermont), M-F.Duval (Marseille), F.Dahringer (Bretagne), Hubert Gié (Paris), J-L.Heudier(Nice), Jean, D.Mauras (Paris,UDP), J-P.Rosenstiehl (Le Mans), Evry Schatzman (Nice), Victor Tryoen (Flayosc), Catherine Vignon (Paris). Gérald Bazin (Reims) a écrit pour regretter que l'assemblée ait toujours lieu un samedi ; que les lecteurs des Cahiers fassent connaître leur avis ; J.C.Pecker propose qu'à l'avenir la réunion ait lieu alternativement un samedi ou un dimanche.

Communications reçues par le secrétariat :

- J.Chapelle (Clermont) : six demi-journées de stages organisées dans le cadre de l'IRESPT qui a acquis un planétarium ; animation régulière de l'AAAA (Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne).
- H.Reboul (Montpellier) : malgré les lourdeurs du PAF, six séances pour les lycées, six séances pour les collèges, six séances à Béziers.
- F.Touret (Créteil) : participe avec ses collègues à une exposition "La tête en l'air" au CRDP (Cf le courrier des lecteurs CC 27).
- Vento, président de l'APISP a informé le CLEA de l'action de son association pour défendre l'enseignement de la physique au collège, action que le CLEA ne peut qu'approuver et soutenir.

Action du Bureau du CLEA : participation avec les collègues de Toulouse à l'organisation d'une journée sur l'enseignement de l'astronomie, le 19 septembre 1984, à l'occasion d'une réunion de l'UAI (158 collègues y ont participé) ; l'Université d'été de Formigères a connu un succès égal à celui des écoles d'été précédentes (le changement de dénomination d'école en université n'a en rien altéré le niveau non plus que le climat amical) ; une affiche du CLEA a été dessinée par notre ami Daniel Bardin, elle est à la disposition des participants (et vous qui n'assistiez pas à l'AG, écrivez-nous combien vous souhaitez en recevoir). J.P.Rosenstiehl demande que le CLEA ait un délégué par département ; ce serait souhaitable ; le Bureau souhaite avoir la liaison avec un délégué par académie, à charge pour celui-ci de trouver l'aide de délégués départementaux. Le Bureau peut favoriser cette décentralisation.

Rédaction des Cahiers Clairaut : que tous les adhérents du CLEA pensent aux CC comme moyen d'expression et d'échange ; y faire part de ses expériences ou des difficultés rencontrées. On s'efforce d'équilibrer les sommaires, ce qui conduit à découper certaines études en feuillets, qu'en pensent les lecteurs ? Certains lecteurs ont encore jugé que le niveau des CC restait trop élevé ; nous avons le souci permanent de vulgariser sans simplifier, en cherchant les moyens les plus économiques de faire comprendre, mais l'Univers reste une machine compliquée. La suite des débats montrera qu'une rubrique des planétariums devra être ouverte (voir CC29).

La parole est alors donnée aux participants :

- Eliane Legrand (Strasbourg) parle au nom de l'ERTEA, l'équipe animée par Agnès Acker et donne un aperçu du vaste et divers travail accompli : stages de 5 fois 3 heures pour les néo-certifiés, douze heures d'astronomie dans une maîtrise de géologie ; 2500 scolaires par mois visitent le planétarium qui a récompensé son cent millième visiteur (un collège de la région);préparation d'un catalogue des productions des observatoires français ; édition d'une collection de brochures "planétarium"; le compte rendu du colloque des planétariums va bientôt paraître;

l'ERTEA travaille à de nouvelles productions ; trois actions sont inscrites au PAF dont une université d'été du 7 au 14 juillet 85 dans les Vosges ; ce n'est pas une concurrence à l'UEA de Formiguères mais un essai de doublement de l'activité de formation du CLEA.

- Andrée Richelme (Grenoble) : stage très réussi en septembre 84 pour 34 enseignants effectivement déchargés de cours ; projet d'un stage plus long en 85-86 ; l'achat d'un starlab est en cours ainsi que la préparation d'une animation astronomique à la Foire de Grenoble.
- Daniel Bardin (Marseille) : en l'absence de Marie-France Duval, il fait état des activités réalisées ou en projet, stage de cinq jours étalé sur cinq semaines avec alternance du jour pour limiter les problèmes d'absence des enseignants ; visite de l'observatoire par 3 à 4 classes par semaine ; en mars prochain, conférence d'André Brahic pour 600 élèves et pour les enseignants. Un nouveau planétarium est en construction dans les environs de l'Observatoire.
- Liliane Sarrazin (Limoges) : stage de trois jours, dans les locaux de l'EN en octobre 84 avec la collaboration du CLEA ; sa réussite permet d'envisager favorablement un autre stage en 85 ; à l'EN, une semaine est prévue avec des maîtres du Cours Moyen.
- Jean Gagnier (Rochefort) : plus de 40 inscriptions confirmées pour le stage prévu pour les 30 et 31 janvier prochains, le premier stage d'astronomie dans l'académie de Poitiers (pas d'astronomes à l'Université) ; en 85-86, un stage aura lieu à Poitiers.
- Jean Ripert (La Garde) : un projet de stage à Nice est en préparation avec J.-L. Heudier ; il aura lieu à Nice dans le cadre du PAF. Jean Ripert présente aussi sa "boîte lumineuse", conçue pour faciliter l'apprentissage des constellations ; il promet un article sur cette invention pour les Cahiers Clairaut.
- Daniel Toussaint (Aix-en-Othe) : parle pour la région Champagne-Ardenne ; Gérald Bazin va pouvoir acheter un starlab qui circulera dans les classes et les clubs ; dans la Marne stage de trois jours inscrit au PAF ; à l'EN de Troyes, 40 candidats à l'option astronomie ; émission mensuelle sur FR3 ; des PAE astronomiques à Reims et Aix-en-Othe ;
- Jeanine Chappelet (Nice) : signale les stages organisés par les CEMEA (Voir Courrier des lecteurs de ce n°) et souligne l'importance des PAE à forte contribution astronomique.
- Michel Laisne (Douai) parle d'une unité optionnelle d'astronomie dans le nouveau DEUG ; il signale la création d'une station scientifique (météo-astro-écologie) dans un collège.
- Michèle Gerbaldi (Paris) présente des diapositives pour illustrer et répondre à la question fréquemment posée : "vraies ou fausses, les couleurs ?" Elle préparera un article sur la question pour un prochain numéro des Cahiers.
- Suzanne Débarbat (Observatoire de Paris) rend compte de l'opération Römer : depuis 1981, intéresser des amateurs à l'observation suivie des phénomènes des satellites de Jupiter, leurs instruments actuels permettant les mêmes performances que ceux dont disposaient Cassini et Römer ; que les amateurs intéressés par un tel travail prennent contact avec S. Débarbat en lui écrivant à l'Observatoire. Notre Collègue signale que l'exposition "Longueur et temps" (dont on rend compte dans le courrier des lecteurs de ce n°) a reçu 4400 visiteurs dont un tiers de scolaires ; la disponibilité des astronomes qui ont accueilli les visiteurs a été particulièrement appréciée.
- Jean-Claude Pecker (Paris) annonce l'ouverture prochaine de Janus 2, préfiguration à petite échelle des expositions permanentes du Musée de La Villette. Dans la section "La Terre et l'Univers", présentation de l'îlot "atmosphère". Il est très souhaitable que de nombreux enseignants visitent Janus 2 avec leurs élèves pour participer à une évaluation des réalisations et par suite contribuer à leur amélioration.
- Jean-Pierre Brunet (Toulouse) signale les journées des 5, 6 et 7 juillet 85 pour le 75^{ème} anniversaire de la Société d'Astronomie Populaire de Toulouse (voir le courrier des lecteurs).
- Marc David annonce les journées ANSTJ des 9 et 10 mars sur la comète de Halley et l'animation astronomique dans le métropolitain du 26 au 30 mars 85.
- Alain Dargencourt (Versailles) : l'académie de Versailles a accordé un crédit de 65 000 F au CLEA pour l'achat d'un starlab. Des pourparlers sont en cours pour la fabrication en France d'une coupole gonflable ; elle serait utilisée avec un projecteur GOTO EX 3 et le coût total serait ainsi réduit à la mesure des crédits disponibles.

Après un repas savoureux et sympathique dû au talent culinaire de Béatrice Sandré et au cours duquel les échanges entre convives purent se multiplier, reprise des débats à 14h45.

Gilbert Walusinski et Francette Delmas qui ont collaboré à la trésorerie et à la tenue des comptes présentent le bilan. Les recettes sont exclusivement celles des cotisations et des abonnements (dont 10% de soutien) soit 81 818,95 F. Seule subvention, celle de 65 000 F

qui doit être consacrée à l'achat d'un starlab (voir plus haut l'intervention de Dargencourt). L'opération Université d'été est comme chaque année et par principe financièrement équilibrée: la trésorerie du CLEA assure le versement des arrhes pour la réservation (exemple : 33 500F versés pour Formiguères 85) ensuite les versements des participants équilibrent l'ensemble des dépenses essentiellement constituées par les frais de séjour. Les dépenses du CLEA sont représentées par le coût des tirages des Cahiers Clairaut, les frais d'expédition et les frais de fonctionnement aussi réduits que possible (dont 2 668,50 F pour le tirage des affiches qui devrait nous rapporter un certain nombre d'abonnés supplémentaires). Soit un total de dépenses de 83 237,50. En réunissant l'excédent de l'exercice 83 soit 25 484,12 F et la subvention susdite, nous sommes à la tête d'un livret de Caisse d'Épargne de 70 000 F et d'un avoir au compte postal qui dans les derniers jours de décembre s'élevait à 30 003,51 F. Situation financière saine par conséquent, même si ce n'est pas l'opulence.

Pour pouvoir fixer les nouveaux tarifs en connaissance des frais qui nous attendent, Francette a fait une étude des frais en 84. Coût par exemplaire des CC : tirage de 4 à 5,33 F ; expédition de 5,46 à 7,03 F. Les réabonnements en retard provoquent des frais supplémentaires, l'expédition ne pouvant alors bénéficier des tarifs de routage ; or 33% des abonnés ne se sont pas réabonnés à temps pour le n°25, il y avait encore 22,5% de retardataires pour le n°26 et seulement 11% pour le n°27, quelques retardataires pensent enfin à se mettre en règle. En un sens, ces données sont réconfortantes, moins de 10% de désabonnements, ce qui est un taux satisfaisant par les temps qui courent dans les revues. Mais il faut aussi en tirer une leçon pour les temps prochains dès la réception du n°28, réabonnez-vous sans tarder, vous simplifierez la tâche du secrétariat et vous soulagerez la trésorerie du CLEA. Autre dépense importante, l'expédition d'une collection complète des CC revient actuellement à plus de 40 F.

Les évaluations précédentes ont permis d'évaluer ce que pourraient être les frais en 85 ; nous avons abouti aux résultats suivants : coût d'un exemplaire des Cahiers, tirage 6,05F expédition 2,04 (par routage) , frais divers 1,36 F soit au total 9,45 F ; le prix de revient d'un abonnement pour les 4 numéros d'une série s'établit à 38 F. Ce calcul ne prend pas en compte d'inévitables frais de fonctionnement du Bureau, essentiellement des frais postaux.

Nouveaux tarifs proposés et qui ont été adoptés par l'Assemblée générale :

- cotisation 1985 : 25 F
- abonnement seul n°29 à 32 : 50 F (soutien 75 F)
- abonnement n°29 à 32 groupé avec la cotisation : 70 F (soutien 100 F)
- prix d'un numéro des Cahiers Clairaut : 13 F
- collection des Cahiers Clairaut, n°1 à 28 : 250 F

L'assemblée ayant adopté ces tarifs et ce compte rendu financier, tient à applaudir notre Trésorière qui depuis la création du CLEA a assuré ces ingrates fonctions et qui a demandé à en être déchargée pour mieux se consacrer à ses tâches professionnelles.

° °

Les tâches administratives remplies, les participants à l'assemblée générale ont alors droit à une belle récompense avec la brillante conférence de Jean Schneider sur l'Univers. Pas question d'en présenter ici un résumé qui en ferait perdre toute sa valeur. La rédaction est en cours et paraîtra dans un prochain Cahier. Les applaudissements de l'assistance ont montré que le conférencier avait justement répondu à leur insatiable curiosité.

La projection du film "Puissances de dix" et une tasse de thé ou de café avec petits gâteaux et c'était la clôture de l'assemblée générale 85.

° °

À l'issue de l'assemblée générale, le scrutin pour le renouvellement du Conseil du CLEA a donné les résultats suivants :

73 votants ; ont été élus, chacun avec 73 voix :

Acker A (Strasbourg), Astruc (Brive), Bardin D (Aix-Marseille), Bottinelli L (Orléans), Brahic A (Paris), Brunet J-P (Toulouse), Chapelle J (Clermont), Chappellet J (CEMEA), Dahringer F (Rennes) Dargencourt A (Versailles), Delmas F (Paris), Dumoulin C (IREM), Duval M-F (Aix-Marseille), Fouquet J-L (île de Ré), Gié H (Paris), Gouguenheim L (Paris); Hernandez R (Dijon), Heudier J-L (Nice), Joly F (Bordeaux), Laisne M (Lille), Mauras (UdP), Minot (APMEP), Paturel G (Lyon), Pecker J-C (Paris), Reboul G (Montpellier), Richelme A (Grenoble), Ripert J (La Garde), Rivière A (Créteil), Rosenstiehl (Nantes), Sandré B (Versailles), Sarrazin L (Limoges), Simondin M (ENVersailles), Suagher F (Besançon), Toussaint D (Reims), Schatzman E (Nice), Tryoen V (Flayosc), Vento M (APISP), Vialle J (Poitiers), Vignon C (Paris), Walusinski G (St-Cloud).

COURRIER DES LECTEURS

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Longueur et temps

Sous ce titre et avec le sous-titre "De la vitesse de la lumière à la définition du mètre", l'Observatoire de Paris a présenté du premier au 16 décembre 1984 une exposition d'un très remarquable intérêt dans le cadre superbe de la grande salle méridienne du deuxième étage.

Cette salle, il y a quelques trente ans, abritait le laboratoire d'optique astronomique d'André Couder. C'est là que fut taillé et poli le grand miroir du télescope de 1,98 m de St-Michel. Glorieux souvenir. Grâce à la récente rénovation du bâtiment, cette salle retrouve l'aspect et la destination que lui avait assignés Cassini, marquer la trace du méridien de Paris qui, à l'époque, était le méridien de référence pour les longitudes terrestres. Salle impressionnante par ses dimensions, le méridien était vraiment logé de façon royale. Pour y accéder, on admire l'escalier de pierres taillées en demi-voûte, puis la hauteur de la voûte de la salle avec son ouverture zénithale qui, je crois, n'a jamais été utilisée.

L'exposition était organisée en trois parties. A) L'unité de longueur: les mesures méridiennes depuis celles de Picard jusqu'à celles de Delambre et Méchain qui servirent à la première définition du mètre, celle de la Convention. On admire ce document de plus de cinq mètres de long judicieusement étalé sur la trace du méridien de Paris et qui est la carte de la méridienne de France établie en 1718 (Picard qui en avait conçu le projet était mort en 1684).

B) L'unité de temps : elle est fondée sur l'observation astronomique et le perfectionnement des horloges. Sur ce dernier aspect, modèles variés de cadrans solaires, de clepsydres ou même de "chandelles horaires". Sur les mesures astronomiques, l'astrolabe de Danjon qui donne l'heure à la précision de 0,0043 s près en moyenne me rappelait la démonstration qu'en fit son inventeur lors d'une visite de l'Observatoire organisée pour des enseignants en 1957...

C) Dernière partie, la vitesse de la lumière : document très évocateur, la liste-programme des observations des satellites de Jupiter dressée par Cassini pour le voyage de Picard à Uraniborg. Voyage décisif puisque Picard devait revenir du Danemark accompagné du jeune Römer. Le fac-similé du Journal des Sçavans du lundi 7 décembre 1676 reproduit l'exposé de Römer sur sa mesure "du mouvement successif de la lumière". Ce qui conduit tout droit, moyennant l'accroissement de la précision des mesures, à la dernière définition internationale du mètre :

"LE METRE EST LA LONGUEUR DU TRAJET PARCOURU DANS LE VIDE PAR LA LUMIERE PENDANT UNE DUREE DE 1/299 792 458 DE SECONDE."
--

Exposition passionnante par conséquent qui ne nous laisse qu'un regret qu'elle ne soit restée ouverte que pendant une si courte période. Il est dommage que les Cahiers Clairaut n'aient pas été informés plus à l'avance, ils l'auraient annoncée dans leur numéro d'automne.

G.W.

Un embarras crépusculaire

"SOS lancé par un groupe de stagiaires en optique réuni à Limoges. Ces collègues ont relevé dans les Ephémérides 1984 (p.72) que la durée du crépuscule civil pour une latitude donnée passe par une valeur minimale aux équinoxes. Cela les a surpris, ils avaient cru que la durée du crépuscule croissait de l'hiver à l'été. Ils semendent s'il existe une explication simple à ces minima équinoxiaux." (SOS transmis par Liliane Sarrazin).

Après Formiguères

Anne-Marie Louis nous adresse des compte rendus d'ateliers pour le dossier Formiguères 84 à paraître : sur la photographie des constellations, sur la maquette des phases de la Lune. Elle y joint des photos qui rappellent quelques bons moments pyrénéens et, ajoute-t-elle, lui font déjà penser à Formiguères 85.

Mais, sans attendre, elle a organisé une série de séances d'initiation dans la région de Trappes, avec Alain Dargencourt pour l'inauguration. Intense utilisation du Starlab : en trois semaines, en novembre 84, environ deux mille personnes comprenant des élèves de la Sixième aux Terminales ainsi que des adultes ont pénétré dans la fameuse bulle. Exemple : les samedi 17 et dimanche 18 novembre, à la salle des fêtes de La Queue Lez Yvelines, il a fallu assurer sept séances pour accueillir plus de deux cents personnes de tous âges. Bravo Anne-Marie !

Stages et problèmes administratifs

Il y a parfois opposition entre l'enthousiasme ou le dynamisme des organisateurs de stages et certaines lourdeurs ou contraintes administratives. Nous ne devons pas pour autant nous décourager. Le refus de l'inscription d'un stage sur l'enseignement de l'astronomie par une mission académique ne signifie aucun jugement sur l'intérêt ou la valeur de tels stages mais seulement la priorité accordées à d'autres formations. Il y a aussi les lourdeurs de l'organisation, la publication d'un programme en juin avec un court délai pour les inscriptions alors que les collègues ignorent encore quel sera leur service d'enseignement en septembre. Il faut, comme on dit, faire avec ; il y a tout de même des stages qui ont sauté tous les obstacles et qui ont eu lieu.

Paris : le stage que le CLEA avait préparé sur la demande du CRDP n'a pu avoir lieu, le nombre des candidats étant insuffisant, ce qui illustre bien les difficultés susdites. Mais le CRDP souhaite renouveler l'essai. Six séances de trois heures, les mercredis après-midi du 6 novembre au 11 décembre 1985 sont donc projetées. Que les lecteurs le fassent savoir autour d'eux dans les lycées et collèges de la région parisienne et que les intéressés prennent contact directement avec le secrétariat du CLEA.

Nice : notre Collègue Paul Perbost a été sollicité par l'IPR de math pour assurer un stage qui a eu lieu en novembre et décembre 84 ; cinq séances de trois heures ont réuni des enseignants de Nice, Draguignan et St-Raphaël ; une vite de l'Observatoire de Nice a été très appréciée.

Clermont-Ferrand : situation plus favorable grâce à l'activité de notre collègue Jean Chapelle qui tire le profit maximum de tout ce que lui a apporté l'école d'été de Grasse 83 et aussi de l'existence à Clermont d'un IRESPT (Institut de Recherche sur l'Enseignement des Sciences Physiques et de la Technologie). Dans ce cadre, J.Chapelle assure une action de formation continue pour les enseignants des lycées et collèges. L'IRESPT a acquis un planétarium qui a fonctionné dans le cadre d'une exposition itinérante sur la lumière ou dans le cadre d'interventions plus spécialement astronomiques dans les lycées, collèges ou villages de vacances. Enfin, J.Chapelle anime l'AAAA (Association des Astronomes Amateurs d'Auvergne). Tout cela est un bel exemple de ce qui est possible dans une académie où pourtant il n'y a pas d'astronomes professionnels à l'université. Il est vrai qu'il y a un IRESPT et vous demanderez "pourquoi n'y a-t-il pas un IRESPT dans chaque académie ?" Réponse dans un prochain numéro.

Le point de Lagrange

Tel est le titre du bulletin de liaison de l'association AEAAC dont le siège est 27 rue de la Recouvrance à Orléans et dont nous avons connaissance par notre collègue Eric Varanne. Dans ce bulletin n°2, novembre 84, W.Appel explique le très beau titre choisi en précisant comme il se doit qu'en mécanique céleste, le pluriel s'impose. Mais nous souhaitons tous que Le Point de Lagrange ait beaucoup de numéros... Ce numéro 2 contient aussi le compte rendu d'un stage de Charbonnières qui a réuni du 25 aout

au 1 septembre 84 douze stagiaires de 14 à 18 ans. Tous les samedis, l'AEAAC organise des causeries-débats à son local. Lecteurs de la région d'Orléans, vous êtes informés, faites connaître l'AEAAC et que Varanne nous explique la signification du sigle, le bulletin ne l'explique point.

Les 75 ans d'une Toulousaine

Pour fêter son soixante quinzième anniversaire, la Société d'Astronomie Populaire de Toulouse, qui édite la revue Pulsar, nous invite tous à participer à une rencontre d'astronomie amateur et à visiter le "salon national de l'astronomie d'amateur" qui aura lieu les 5, 6 et 7 juillet 1985 dans l'ancien Observatoire de Toulouse, 1 avenue Camille Flammarion, 31500 Toulouse.

Douze thèmes, chacun étant placé sous la responsabilité d'un Toulousain, couvrent les sujets principaux des activités des astronomes amateurs : 1) le Soleil ; 2) informatique et astronomie ; 3) photométrie et étoiles variables ; 4) comètes ; 5) la photographie en astronomie ; 6) radioastronomie ; 7) astronomie spatiale d'amateur ; 8) instruments et taille des miroirs ; 9) imagerie CCD ; 10) association 760 ; 11) spectroscopie ; 12) dobsonniens.

Les collègues intéressés par cette rencontre sont priés de prendre contact avec la Société de Toulouse à l'adresse indiquée plus haut.

Les journées Halley de l'ANSTJ

Nous avons reçu trop tard pour l'insérer dans notre cahier 27 l'annonce des journées Halley organisées par l'ANSTJ (Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse). Le thème de ces journées, les 9 et 10 mars 85, est la comète de Halley : présentation de projets réalisés par des équipes d'astronomes professionnels, étude de projets réalisables par des amateurs, ponts possibles de collaboration entre les uns et les autres.

L'annonce de ces journées étant ici trop tardive, souhaitons que des participants en donnent des échos dans un prochain numéro des CC.

Les stages CEMEA

Les Centres d'Entraînement aux Méthodes d'Education Active organisent des stages de formation qui s'adressent à tous pour une initiation personnelle et à tout enseignant, animateur, éducateur spécialisé, parent désireux de faire partager ses connaissances à des enfants, des jeunes ou des adultes. Ces stages permettent l'expérimentation et l'analyse des démarches scientifiques et pédagogiques et ne nécessitent aucune connaissance préalable.

Découverte du ciel, du 17 au 25 août 1985 à Aniane (34) : se familiariser à l'observation du ciel, comprendre les phénomènes astronomiques et météorologiques simples.

Astronomie, maquettes et instruments de mesure, du 6 au 14 juillet 1985 à Aniane (34) : conception, fabrication, utilisation de maquettes et d'instruments de mesure permettant de mieux comprendre les phénomènes astronomiques et de s'intéresser aux démarches historiques.

Météorologie, du 1^{er} au 6 avril 1985 à Anglet (64) : observer les phénomènes liés à l'évolution du temps qu'il fait, comprendre les phénomènes, se situer par rapport au déplacement et à l'évolution d'une perturbation.

Pour tous renseignements et inscriptions, adressez-vous à la délégation régionale CEMEA de votre domicile ou à CEMEA, Bureau des stages, 76 bd de la Villette, 75940 PARIS CEDEX 19 (tél 1/206 38 10).

GOTO EX 3 à la Villette

Alain Dargencourt avait eu la bonne idée d'inviter un certain nombre de collègues du CLEA à une présentation du planétarium GOTO EX 3 au Parc de la Villette. Instrument très intéressant, d'une manipulation facile pour un auditoire d'une quinzaine de personnes. Le nombre des

étoiles représentées est limité, ce qui suffit pour une initiation : si vous voulez voir beaucoup d'étoiles ne manquez pas le spectacle du vrai ciel par beau temps de nouvelle lune. Les projecteurs du Soleil, de la Lune et des cinq planètes visibles à l'oeil sont satisfaisants ; ils peuvent être placés dans toutes les positions possibles en continuité. Seules lignes coordonnées projetables, le méridien, l'équateur céleste et l'écliptique. Seule faiblesse de l'appareil, la coupole parapluie dont le montage et l'accrochage dans une salle obscure peuvent poser des problèmes.

L'utilisation du projecteur GOTO EX 3 à l'intérieur d'une coupole gonflable du genre de la coupole Satrlab serait une solution sans doute moins onéreuse que le Starlab complet avec des performances supérieures à celles du Starlab pour Soleil, Lune et planètes.

Le club de l'Université du Maine Dans le n°27 des CC, nous invitons les lecteurs de la région du Mans à suivre les émissions "Champs d'étoiles" sur Radio-Maine. Hélas, les radios libres sont trop dépendantes du taux d'écoute et de la publicité pour accueillir longtemps des émissions culturelles. Vous avez compris que "Champs d'étoiles" était "avantageusement" du point de vue du taux d'écoute remplacée par...on vous laisse deviner.

Ce qui n'ébranle pas la détermination du club d'astronomie de l'Université du Maine de poursuivre son activité qui a été présentée sur FR3 régionale le 24 Décembre 84. Les réunions hebdomadaires permettent actuellement la réalisation d'un petit observatoire avec coupole pour un télescope de 300mm.

Réabonnements A une lettre de rappel envoyée aux abonnés des CC de la série du n°21 au 24 qui n'avaient pas renouvelé à temps leur réabonnement, certains ont répondu qu'ils ne pouvaient pas se réabonner. Lettres toujours aimables qui font état de deux raisons principales : 1) l'occasion manque dans l'enseignement dont ces collègues sont chargés d'utiliser les bonnes idées présentées dans les Cahiers, les activités de club scolaire sont trop absorbantes en plus du service normal, le temps manque pour tout lire ; 2) le niveau des articles des Cahiers est trop élevé, en particulier pour les enseignants du primaire qui peuvent difficilement tirer un profit immédiat surtout s'ils sont chargés des enfants les plus jeunes.

Autrement dit, des raisons qui tiennent ou bien aux lecteurs ou bien à la rédaction. Celle-ci est très attentive à ces réactions et s'efforce d'équilibrer les sommaires de chaque numéro. C'est une des raisons qui amène à publier en feuilleton des études trop longues qui ne peuvent pas être plus courtes en raison des sujets traités. Dans l'esprit des rédacteurs, chaque lecteur doit trouver dans un numéro des CC matière à dépasser le niveau actuel de ses connaissances et doit aussi trouver des idées qui fertiliseront, astronomiquement parlant, son enseignement, peut-être pas dans la classe de demain matin mais dans celle d'après-demain ou d'un jour prochain.

En tout cas que ces remarques incitent de nombreux lecteurs à nous adresser leurs critiques, leurs demandes de voir traiter tel ou tel sujet qui les préoccupe.

Inclinaison, que ne te fait-on pas dire !

Dans un joli petit livre, "Le livre de l'hiver" (éd Gallimard) destiné à la jeunesse et riche par ailleurs d'informations intéressantes, l'auteur, que l'éditeur nous présente comme ayant enseigné l'histoire et la géographie, explique ainsi le phénomène des saisons : "En 365 jours, la terre tourne autour du soleil en décrivant presque un cercle, une ellipse. Elle tourne en se déplaçant sur un axe qui va du pôle Nord au pôle Sud. Cet axe étant incliné, la terre ne se présente pas toujours de la même façon face au soleil. C'est pourquoi dans l'année, la durée de la zone éclairée (le jour) et la durée de la zone d'ombre (la nuit) change chaque 24 heures." Sacrée inclinaison !

Comment utiliser le cadran solaire sphérique
du collège d'Aix en Othe?

Principe: (voir photo).

Le globe terrestre qui tient lieu de cadran solaire est fixe par rapport à la Terre, mais tourne et se translate avec elle par rapport au Soleil. La mise en station permet aux deux sphères voisines que sont la planète Terre et le cadran, d'avoir les mêmes continents éclairés par le Soleil (aux heures où ce cadran est utilisable).

L'utilisateur détermine lui-même la position correcte des parties articulées pour lire directement sur la boule les coordonnées du centre de l'hémisphère éclairé, ce qui indique quel est le point du globe qui a le Soleil au zénith et permet de lire l'heure et la date.

Détermination de l'heure:

Le serpent découpé dans une tôle de laiton étant mobile autour de l'axe polaire, l'ombre qu'il porte sur la sphère peut changer de forme et de taille. Quand elle est la plus fine possible, cette ombre est la trace du plan méridien qui contient le Soleil à cet instant: elle dessine alors sur le globe l'ensemble des points pour lesquels il est midi au Soleil.

L'écart angulaire entre ce plan méridien contenant le Soleil et le plan méridien du lieu indique l'heure solaire locale, si on le mesure avec les unités ad hoc. Ainsi pour lire cette heure, on a porté sur l'équateur les valeurs entières de l'expression $(12 + H)$ heures.

H représente l'angle horaire du soleil vrai d'Aix en Othe et varie de - 8 heures à + 8 heures.

L'origine 12 heures correspond à l'instant où le Soleil franchit le méridien local.

Détermination de la date:

Le curseur mobile le long du serpent (visible en blanc sur la photo) est percé d'un trou cylindrique radial dans lequel s'ajuste le barillet d'une lentille convergente.

Quand le Soleil est à l'aplomb du trou, une tache lumineuse indique sur le globe le centre de l'hémisphère éclairé. Evidemment la latitude de cette tache sur la sphère devrait être égale à la déclinaison du Soleil! La lecture de sa position ne donne pas la date avec une très grande précision, mais elle visualise la notion de saison. Afin de ne pas surcharger le dessin, nous avons seulement tracé les lignes suivies par cette tache aux équinoxes (équateur) et aux solstices (tropiques).

Rq 1: Quand le réglage est très précis, les réflexions sur les parois du serpent en laiton créent deux taches secondaires symétriques par rapport à la tache principale. Leur présence permet d'affiner la lecture de l'heure.

Rq 2: Comme ce cadran solaire présente quelque similitude avec une sphère armillaire, on peut l'utiliser pour déterminer approximativement l'heure et la direction des levers et couchers de Soleil pour une date quelconque. Il suffit de repérer sur la sphère la position occupée par le trou cylindrique du curseur quand l'axe de ce trou est horizontal (puisque les rayons solaires arrivent horizontalement au lever et au coucher du Soleil).

Mise en station du cadran:

Deux opérations successives sont nécessaires:

- mise en coïncidence des plans méridiens locaux de la planète Terre et de la sphère (une vis de pression visible sur la photo devant la tête du serpent immobilise la boule sur son support dans la position correcte.)
- inclinaison de l'axe par rapport à l'horizontale d'un angle égal à la latitude d'Aix en Othe (les vis de fixation du support au sol permettent d'affiner la mise en station.)

Avantages et inconvénients d'un tel cadran par rapport à un cadran classique:

La précision croît avec les dimensions, mais les difficultés de réalisation aussi (pour une sphère de 50 cm de diamètre, nous avons eu besoin de DEUX ans pour résoudre tous les problèmes techniques), et il est certainement plus aisé de réaliser un cadran plan aussi précis.

Mais l'intérêt principal de ce cadran analogique est d'ordre pédagogique: les renseignements qu'il donne sont beaucoup plus concrets que les mêmes renseignements lus sur un cadran plan, ce qui permettra de les utiliser pour les cours de géographie physique au niveau 6^{ème}.



Légende de la photo:

Le serpent en laiton, mobile donne l'angle horaire du Soleil, tandis que le curseur en plastique blanc donne sa déclinaison.

Quelques finitions (rivets, rondelles...) sont encore nécessaires avant la mise en station définitive sur une plateforme cimentée proche de l'entrée du collège.

Daniel Toussaint.

~~~~~

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLEA

Directeur de la publication: L. Gouguenheim Université Paris Sud

Laboratoire d'Astronomie Bât. 426 91405 ORSAY CEDEX

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

Edité à l'Université Paris Sud, Laboratoire d'Astronomie, Bât.426 91405 ORSAY CEDEX

Prix du numéro: 10f; abonnement annuel (4 numéros): 35 f.

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