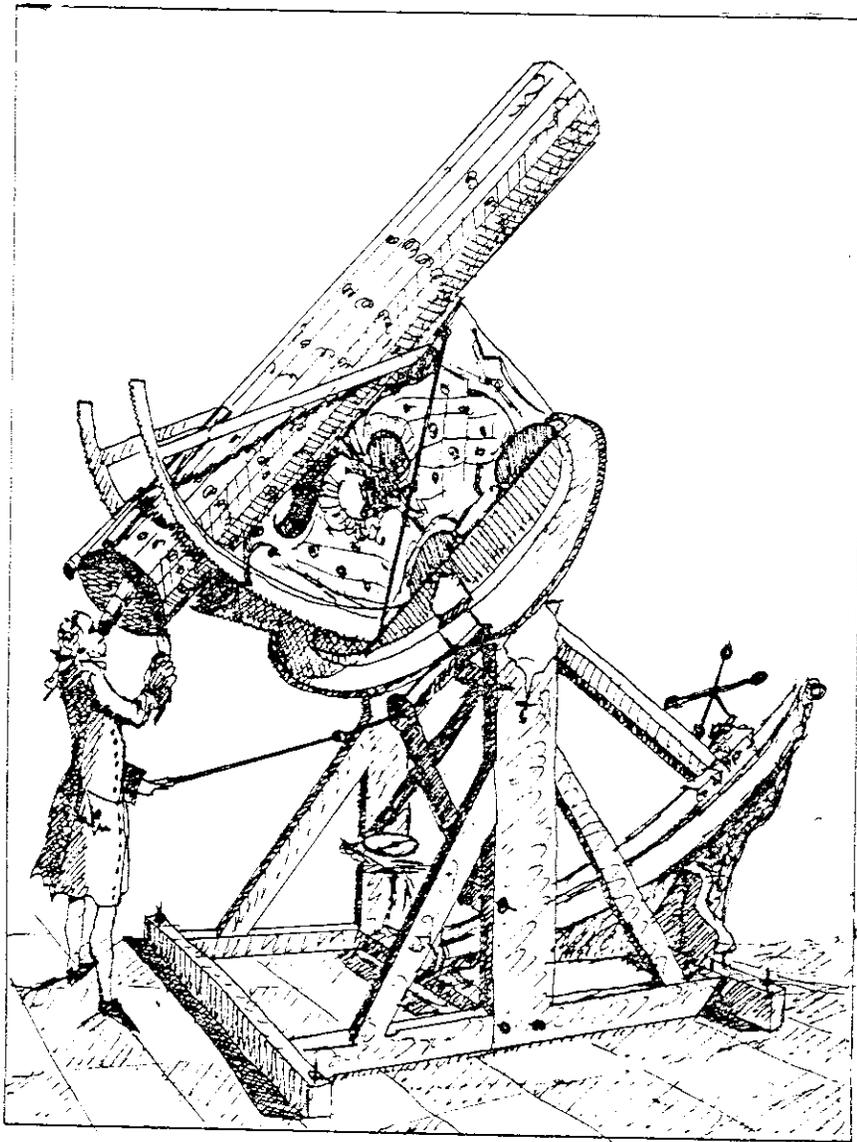


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



n°21 - été 1983

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 21 Eté 1983

Les neutrinos solaires.....	p 3
Toise à soleil enregistreuse.....	p 8
Lectures pour la Marquise.....	p11
Evaluation du nombre d'étoiles plus brillantes qu'une magnitude donnée.....	p16
Mouvement diurne - Repérage de l'étoile polaire.....	p17
Errants et errances (fin).....	p19
De Newton à Kepler avec une calculette.....	p23
Chronique du CLEA.....	p27
Notions élémentaires sur l'espace en CM1.....	p29
Courrier des lecteurs.....	p34
Astronomie et philosophie.....	p36

EDITORIAL

Le CLEA a décidé de faire porter ses efforts sur les Cahiers. Premier objectif: diversifier les articles. Nous proposons depuis le numéro 20 une nouvelle rubrique "informatique" et des articles "simples". A vous de nous dire ce que vous en pensez et de nous proposer des articles. Nous sommes heureux de pouvoir reproduire la très belle conférence sur les neutrinos solaires faite lors de l'Assemblée Générale du CLEA et nous démarrons un "feuilleton" sur la cosmologie.

Second objectif: augmenter la diffusion des Cahiers. Ce numéro est tiré à 2000 exemplaires et distribué à des lecteurs potentiels: donnez-nous des noms et des adresses de collègues qui pourraient être intéressés.

Dernière initiative: avant d'avoir les moyens d'imprimer les Cahiers sur papier glacé (!) nous proposons une (petite) amélioration en imprimant la couverture sur un papier couleur!

La Rédaction

FICHE D'ADHESION AU CLEA (pour 1983) et D'ABONNEMENT AUX CAHIERS CLAIRAUT

Nom.....

Adresse.....

Si possible donnez l'adresse de votre établissement scolaire, afin de pouvoir bénéficier de la franchise postale, mais n'oubliez pas de nous signaler vos changements d'affectation.

- désire adhérer au CLEA
- désire s'abonner ou se réabonner aux Cahiers Clairaut (n°21 à 24)
- désire recevoir la collection complète (n°1 à 20)

tarifs: { cotisation seule : 20 f ; abonnement seul (n°21 à 24): 35f (soutien: 70f)  
          { abonnement et cotisation: 50 f (soutien: 80 f)  
          { prix de la collection complète des Cahiers Clairaut (n°1 à 20): 120 f

A RENVoyer AVEC LE REGLEMENT A L'ORDRE DU CLEA A LA TRESORIERE DU CLEA:

Mme F. DELMAS I.A.P. 98 bis Brd ARAGO 75014 PARIS

LES NEUTRINOS SOLAIRES

L'assemblée générale du CLEA, le 22 janvier 1983, a bénéficié, après ses débats animés sur les problèmes de l'enseignement de l'astronomie, d'une belle conférence de Evry Schatzman. Les Cahiers Clairaut sont heureux d'en publier le texte intégral, transcrit par G. Walusinski de l'enregistrement pris en séance et revu par l'Auteur. Ce texte sera publié en deux parties, dans ce numéro et dans le numéro suivant.

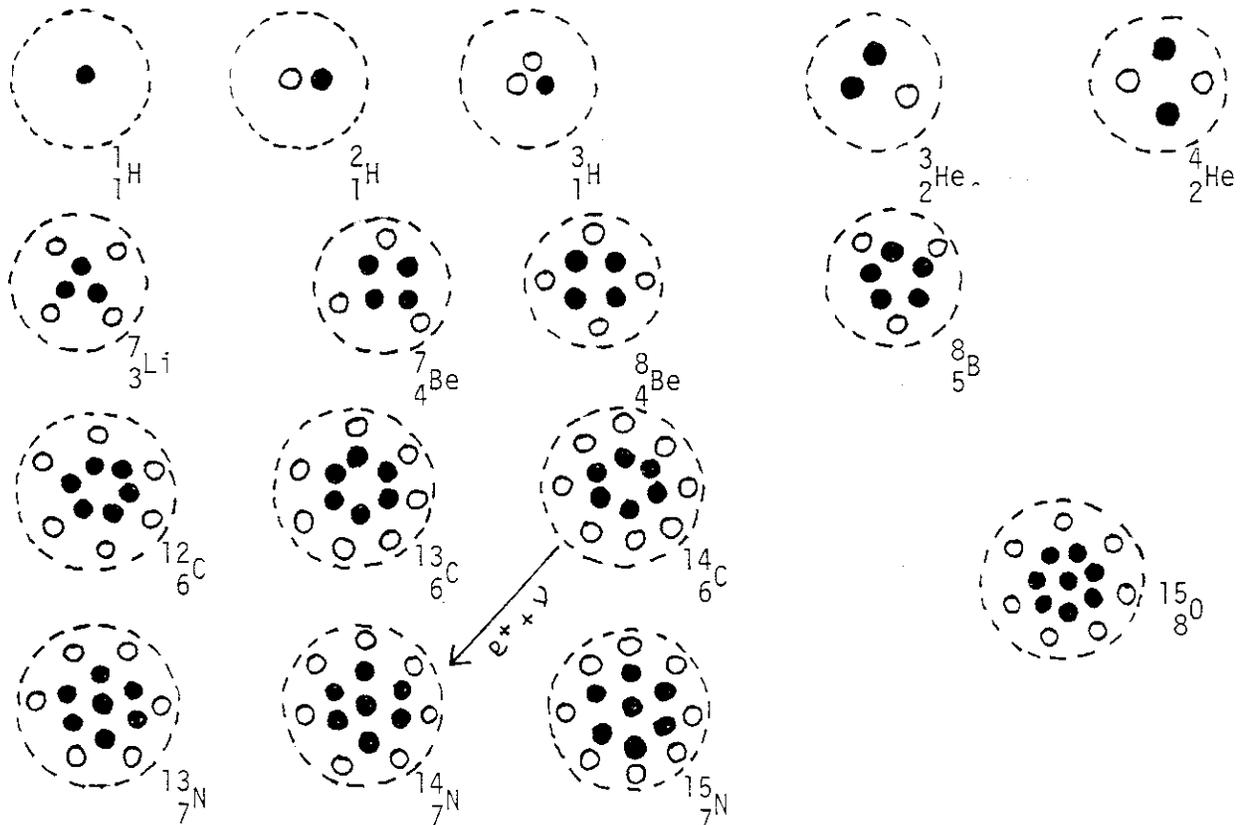
Pourquoi avoir choisi ce sujet? D'abord parce que je m'y intéresse et, plus encore, parce que, comme vous allez le voir il réunit des aspects variés de la physique: problèmes de physique des particules, celui des neutrinos en particulier, problème du Soleil dans son ensemble et enfin des expériences qui ont été réalisées au cours des vingt ou trente dernières années et qui sont remarquables à la fois par l'importance des dispositifs adoptés et par la finesse des résultats obtenus.

L'INVENTION DES NEUTRINOS.

Pour commencer, dressons la scène. Voici un schéma qui montre la constitution d'un certain nombre de noyaux atomiques. Les neutrons sont représentés par des ronds clairs, les protons par des ronds noirs:

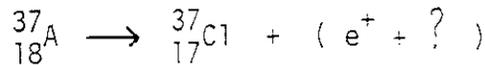
- trois variétés d'hydrogène, le proton  ${}^1_1\text{H}$ , le deutéron  ${}^2_1\text{H}$  et le noyau de tritium  ${}^3_1\text{H}$
- deux variétés d'hélium, l'hélium 4 avec deux protons et deux neutrons  ${}^4_2\text{He}$ , et l'hélium 3 à deux protons et un neutron  ${}^3_2\text{He}$

Et ainsi de suite; j'ai représenté en plus le noyau d'un atome radioactif, le carbone 14, à 8 neutrons et 6 protons  ${}^{14}_6\text{C}$ , qui se désintègre spontanément en azote 14,  ${}^{14}_7\text{N}$ , à 7 protons et 7 neutrons.



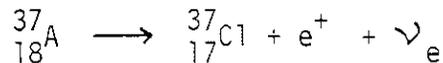
La découverte de la radioactivité, due aux travaux des Curie sur le radium, il y a à peu près trois quarts de siècle, a été appelée *radioactivité naturelle*. Terme impropre, car la radioactivité du carbone 14 est tout aussi "naturelle" que celle du radium, mais la durée de vie du carbone 14 étant assez courte, on ne le trouve pas à la pelle dans la nature et si on veut en avoir il faut le fabriquer. C'est en ce sens que l'on dit du carbone 14 qu'il présente une *radioactivité artificielle*. (En réalité, ce n'est pas sa radioactivité qui est artificielle mais le fait que l'existence de celle-ci est un artefact, le résultat d'une activité humaine; assertion qu'il faut aussitôt corriger puisqu'on trouve du carbone 14 dans le bois, ce qui sert à dater des spécimens archéologiques; il y a du carbone 14 qui est produit dans l'atmosphère terrestre et qui, par conséquent, joue un rôle dans le cycle des végétaux.)

D'où vient le problème de l'arrivée du neutrino sur la scène? L'existence de cette particule s'est révélée dans le bilan énergétique de certaines désintégrations. Ainsi l'argon 37 se désintègre en donnant du chlore et un électron positif:



Dans les expériences, réalisées autour des années 20, les mesures énergétiques faites par des méthodes purement calorimétriques ont révélé que l'énergie emportée par les électrons était généralement inférieure à celle que comportait la transition argon - chlore: l'énergie emportée par les électrons était moindre que l'énergie disponible. En mesurant l'énergie transportée par les électrons avec des systèmes apparentés à des spectrographes, on s'est aperçu que les électrons qui apparaissaient dans les transitions avaient toutes les énergies possibles entre zéro et l'énergie disponible soit 0,816 MeV.

Pour les physiciens, le principe de conservation de l'énergie est intangible. Pauli proposa pour cela d'introduire une nouvelle particule, *le neutrino* - dont le nom est dû à Fermi - , de telle façon que c'est l'ensemble énergie de l'électron positif augmentée de l'énergie du neutrino qui est égal à 0,816 MeV. La transition s'écrit alors:

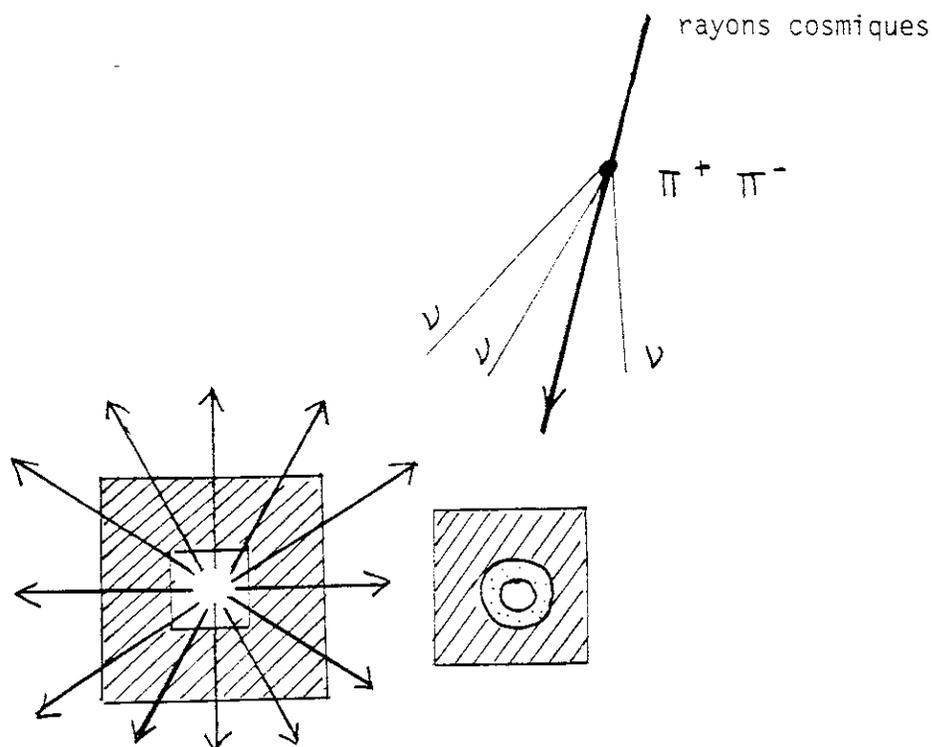


Le principe de conservation de l'énergie étant sauf, il fallait se demander quelle était cette particule nouvelle, quelles étaient ses propriétés. On reconnut rapidement que c'était une particule très difficile à attraper "au vol" pour l'étudier. En vous projetant un transparent vierge je peux vous dire "voici une image du neutrino". Pour être plus précis, disons que la section efficace du neutrino est de l'ordre de  $10^{-44}$  cm<sup>2</sup>, quantité trop petite pour qu'on se rende bien compte à quoi elle correspond. Ce qu'on peut traduire en donnant la probabilité pour qu'un neutrino interagisse avec la Terre soit  $1/100 \times 10^6$  (pour cent milliards de neutrinos qui traverseraient la Terre, un seul serait arrêté) ou la probabilité pour qu'un neutrino interagisse avec le Soleil soit  $1/10 \times 10^6$  (le Soleil est beaucoup plus gros que la Terre, mais il est moins dense).

### COMMENT DETECTER LES NEUTRINOS ?

Voici une représentation très schématique de l'expérience de Cowan et Reines (1956).

On se place au voisinage d'un réacteur à haut flux, un réacteur nucléaire dans lequel l'uranium est transformé en plutonium. Un grand flux de neutrinos est émis. On place un détecteur aussi près que possible pour se protéger de tous les parasites en particulier les rayons cosmiques, représentés sur le schéma par une gerbe dont la signification n'a pas actuellement d'importance. Ces rayons produiraient sur le détecteur les mêmes effets que les neutrinos que l'on veut étudier. Il y a bien dans ces rayons cosmiques quelques neutrinos mais très peu



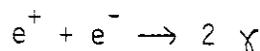
par rapport à ceux en provenance du réacteur.

Le blindage du récepteur est épais. Selon la petite histoire Cowan et Reines se seraient procuré un torpilleur à la casse et auraient ainsi utilisé pour faire écran de mille à mille deux cents tonnes de fer. Les neutrinos traversent le béton du réacteur puis le blindage du détecteur et atteignent enfin celui-ci, un scintillateur constitué de toluène.

Les neutrinos agissent sur les protons pour donner des neutrons et des électrons positifs:



Les électrons positifs avec les électrons négatifs du milieu s'annihilent pour donner deux photons de 0,511 MeV:



Quant aux neutrons, ils réagissent sur le cadmium qui est un système de dopage du scintillateur pour donner "autre chose" qui ne nous intéresse pas ici et un autre photon.

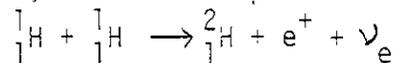
La mesure consiste donc à détecter d'une part les photons produits par la capture des neutrons et d'autre part ceux produits par l'annihilation des électrons positifs, eux-mêmes engendrés par la réaction du neutrino.

Dans l'expérience de Cowan et Reines, en 1956, on utilisait un scintillateur de 30 litres, - une prouesse pour l'époque alors qu'on utilise aujourd'hui des chambres de plusieurs mètres cubes -, et on détectait une dizaine de neutrinos par jour. Cela suffisait pour déterminer la section efficace du neutrino et prouver la réalité de son existence.

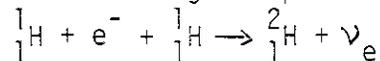
## LES NEUTRINOS SOLAIRES

L'idée de détecter les neutrinos dans le rayonnement solaire est due à Fowler en 1957. Elle repose sur la mise en évidence des processus principaux de production d'énergie à l'intérieur du Soleil. Rappelons-les. La première partie en a été établie par Bethe en 1939, le reste par une série d'auteurs dont je ne donnerai pas la liste.

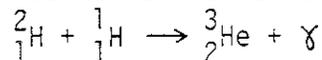
Au départ, la réaction proton-proton: deux protons réagissent en donnant un deutérium, un électron positif et un neutrino:



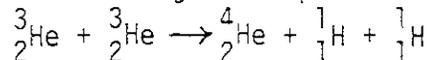
en même temps, mais dans une bien moindre proportion, 1/400 environ, deux protons réagissent avec un électron négatif pour donner un deutérium et un neutrino:



Le deutérium produit dans l'une ou l'autre de ces deux réactions réagit très vite avec un proton pour donner un hélium 3 et un photon:

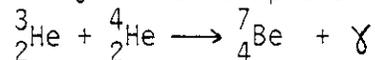


Alors plusieurs modes d'évolution s'ensuivent; dans le plus fréquent, 91% des cas, deux noyaux d'hélium 3 interagissent pour donner un hélium 4 et deux protons:

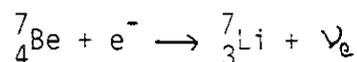


Si on comptabilise les protons qui interviennent, quatre pour former les deux deutérium (soit dans la réaction proton-proton (pp), soit dans la réaction proton-électron-proton (pep)), deux pour réagir sur les deux deutériums produits, en tout six protons; on en retrouve deux en fin de circuit; globalement, quatre protons ont produit un hélium 4.

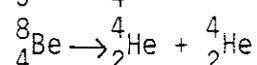
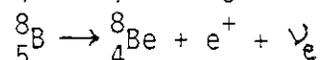
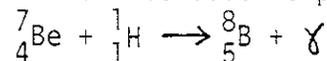
Il peut aussi arriver que les hélium 3 et 4 produits interagissent pour donner du béryllium et un photon:



Le béryllium obtenu réagit très vite. Ou bien avec un électron négatif il donne du lithium et un neutrino, le lithium produit réagissant sur un proton pour donner deux hélium 4:

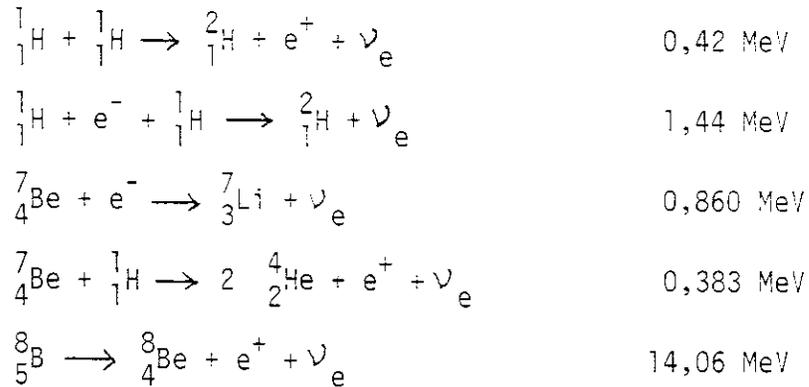


Ou bien (mais beaucoup plus rarement) le béryllium capte un proton pour donner du bore et un photon, le bore redonnant spontanément un béryllium, un électron positif et un neutrino, ce qui nous intéresse le plus pour la suite:



En résumé, à partir d'une réaction pp et grâce à la production successive d'hélium 3, puis d'hélium 4, puis de béryllium 7, puis de bore, puis de béryllium 8, on obtient enfin de l'hélium 4. Détecter les neutrinos produits au cours des diverses étapes a paru possible, en s'inspirant de l'expérience de Cowan et Reines, à condition de disposer d'un récepteur convenablement adapté puisqu'on connaissait l'énergie des neutrinos à chaque étape où il s'en produit.

Le tableau suivant indique l'énergie maximum des neutrinos dans chacune des réactions où il s'en produit.



On montre que la plupart des neutrinos produits sont de basse énergie (inférieure à 0,42 MeV) et proviennent de la réaction pp. Comme la luminosité solaire vient de la réaction pp, et que environ 60% des neutrinos produits viennent de cette réaction, peu importe en définitive où et comment elle se produit: la détection de ces neutrinos devrait donner un flux directement lié à la luminosité solaire.

Le problème était de trouver un détecteur aussi peu coûteux que possible car pour faire l'expérience il fallait voir grand. Il s'agissait de trouver un atome susceptible d'absorber les neutrinos, ou au moins certaines catégories d'entre eux, c'est-à-dire dont le seuil de capture soit aussi bas que possible.

Ainsi, avec le chlore 37 on ne peut recevoir que les neutrinos provenant de la capture des électrons sur le béryllium et seulement la plus grande partie des neutrinos qui proviennent de la désintégration du bore. Le récepteur chlore est imparfait mais le chlore n'est pas très coûteux; on l'a utilisé sous la forme plus maniable du tétrachlore éthylène qui est un solvant industriel assez courant.

La première expérience avec un réservoir d'un mètre cube de tétrachlore éthylène a été négative: on avait grandement surestimé le flux de neutrinos escompté. On opère suivant le schéma suivant; le détecteur est placé au fond d'une mine à environ 1 500 mètres de profondeur pour le mettre à l'abri des rayonnements parasites. Le détecteur qui fonctionne depuis plus de vingt ans comporte un réservoir de 600 mètres cubes de tétrachlore éthylène (une vraie piscine !) entouré par un ralentisseur de neutrons d'à peu près le même volume et qui contient simplement de l'eau.

Le principe de l'expérience tient en la capture d'un neutrino par un atome de chlore 37 qui est alors transformé en argon 37. Il ne s'en fabrique pas beaucoup. Pour l'extraire, on fait barboter de l'hélium qui passe dans des vases Dewar qu'on refroidit à la température de liquéfaction de l'argon. En réalisant ce barbotage en circuit fermé, l'hélium 4 entraînant l'argon 37, on finit par accumuler l'argon 37 dans un vase Dewar qu'on transporte avec précaution au laboratoire pour mesurer sa radioactivité. La période de radioactivité de l'argon 37 étant d'environ un mois, il n'y a pas intérêt à faire durer l'expérience sur une durée plus longue. L'extraction par barbotage dure 24 ou 48 heures. Après quoi on recommence l'expérience, de mois en mois, ceci depuis plus de vingt ans.

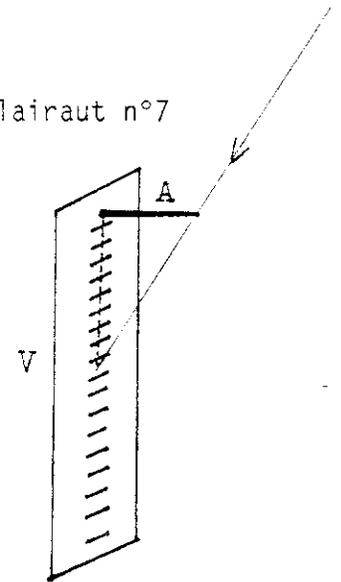
L'expérience n'est pas facile: quand on rapporte ce vase au laboratoire, on compte environ dix "coups" par jour, il faut donc prendre beaucoup de précautions pour se préserver de tous les parasites. On a une idée de l'écart entre la prévision théorique et la mesure. Ainsi Fowler, en 1950, prévoyait mille unités de flux et c'est pourquoi Davies avait commencé l'expérience avec un réservoir de tétrachlore éthylène d'un mètre cube. Aujourd'hui les prévisions théoriques convergent autour de 7 unités de flux (l'unité, SNU, "solar neutrino unit" correspond à une capture par  $10^{36}$  atomes par seconde). La mesure se stabilise autour de 2 unités de flux (2,2±0,4). Observateurs et théoriciens conviennent que les modèles standards du Soleil sont en désaccord avec ce qu'on mesure d'un facteur compris entre 3 et 4.

TOISE A SOLEIL ... ENREGISTREUSE

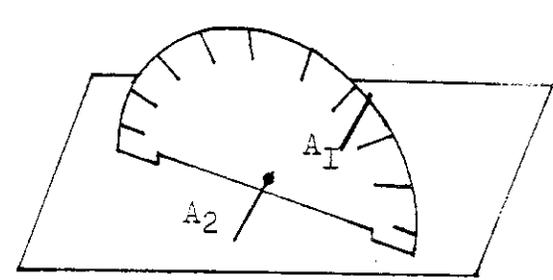
INTRODUCTION

Une toise à soleil a été décrite dans les Cahiers Clairaut n°7 par le groupe "Ciel" CEMEA.

Il suffit de repérer l'extrémité de l'ombre d'une aiguille A horizontale sur une planche V verticale (ou A verticale et planche horizontale). Une graduation permet de lire directement la hauteur h du soleil (cette graduation peut être tracée au rapporteur dès la 6ème et en utilisant la trigonométrie dès la 3ème). La précision est d'autant plus grande que l'aiguille est longue (problème: A et V grands, encombrement et difficulté d'avoir A horizontale).



Une autre méthode permet l'utilisation d'un rapporteur et de deux aiguilles A1 et A2. Il suffit de placer le soleil dans le plan du rapporteur et de superposer l'ombre de l'aiguille A1 à l'aiguille A2. Le rapporteur doit être placé sur un plan horizontal.



UTILISATION

- mesure de la hauteur h du soleil
- détermination de la déclinaison δ du soleil ou de la latitude λ du lieu. On retrouve facilement:

$h + \lambda - \delta = 90^\circ$

$$h \text{ à midi vrai} + \begin{cases} \delta \text{ (éphémérides)} \rightarrow \text{latitude } \lambda \\ \lambda \text{ (carte)} \rightarrow \text{déclinaison } \delta \end{cases}$$

- courbe de hauteur du soleil en fonction de l'heure.

C'est la contrainte d'une telle manipulation qui a permis la naissance de la toise enregistreuse (toujours le moindre effort !!!).

TOISE ENREGISTREUSE

Une boîte à gateaux fait l'affaire (Fig.1). Il suffit de percer un trou 0 (0,5 mm maximum) sur le couvercle près d'un bord et de placer une feuille de papier sensible sur le fond de la boîte (papier ozalid ou photogay développé à l'ammoniac).

- on obtient l'enregistrement de la courbe donnant h en fonction de l'heure (variation de la forme de la courbe au cours de l'année, solstices, équinoxes).
- mesure de la hauteur h du soleil à midi vrai, déduction de la latitude du lieu.

Grâce à la relation :  $d = 1 / \text{tg } h$  (Fig.2), il est possible de préparer sur un transparent une graduation donnant directement h (Fig.3).

Si le côté AB de la boîte est parallèle au méridien, à midi vrai l'image du soleil sera approximativement sur MM'. Il suffit alors de réaliser une graduation du type de celle de la figure 4. Le cercle tangent à la courbe donnera la valeur de h à midi vrai.

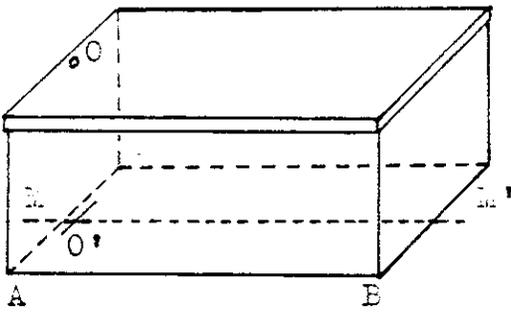


fig 1

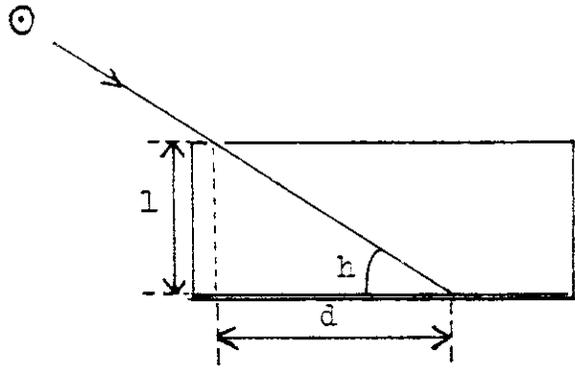


fig 2

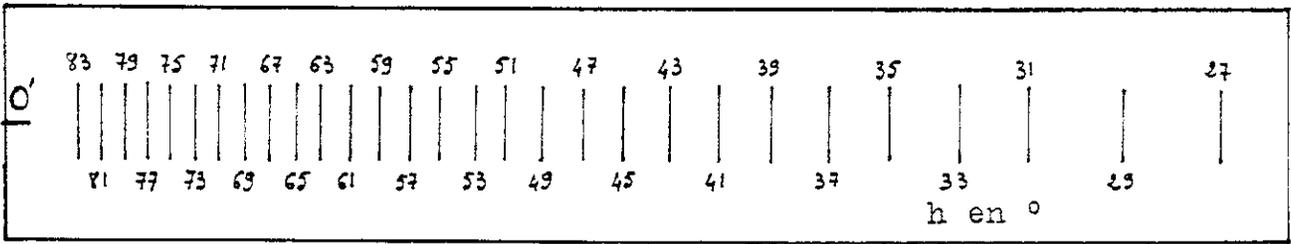


fig 3

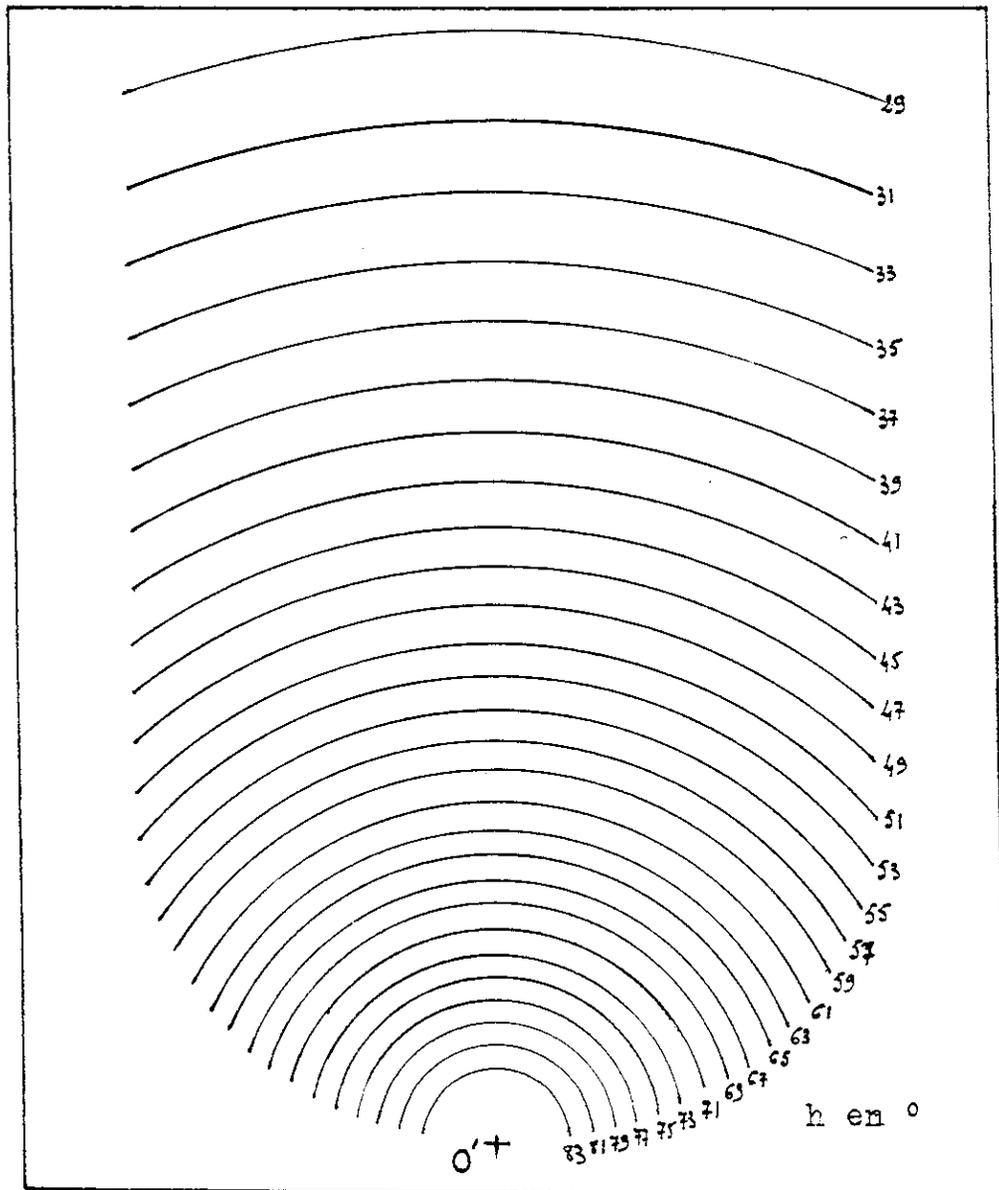


fig 4

MESURE DU RAYON DE LA TERRE

Cette mesure a été faite par la méthode classique. A partir de deux points  $P_1$  et  $P_2$  situés sur le même méridien:

$$\widehat{P_1 P_2} = R \alpha \quad \text{avec} \quad \alpha = h_1 - h_2 \quad (\text{différence de hauteurs du soleil vu de } P_1 \text{ et de } P_2)$$

- § Avantages:
- il n'est pas nécessaire d'avoir  $P_1$  et  $P_2$  sur le même méridien. En effet, la déclinaison du soleil ne varie pratiquement pas en une heure (temps que met le soleil pour passer dans les plans méridiens de tous les points situés en France: longitude de Nice - 28min 12s, de Brest +17min 57s).  $\widehat{P_1 P_2}$  représente alors la distance séparant les parallèles passant par les deux villes.
  - il n'est pas nécessaire d'être présent au moment du passage du soleil dans le plan méridien.
  - on peut même ignorer à quelle heure il est midi vrai;

§ Inconvénients:

- la précision des mesures
- difficulté pour avoir une boîte parfaitement horizontale.

§ Mesures:

- elles ont été réalisées par (du nord au sud) Jean-Luc Fouquet (54 Longwy), Maryse Jonas (92 Châtillon), Annette Bon (92 Antony), Frédéric Dahringer (56 Bubry), Marie (surtout) et Christian Astruc (19 Brive) et moi-même (83 La Garde)
- trois séries de mesures autour des 23-9, 20-10 et 24-11- 1982. Pour la dernière série, les boîtes ont servi de pluviomètres.
- le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus:

	moyennes des différences de hauteurs du soleil (°)	distances entre villes (km)	rayon de la terre (km)
La Garde-Longwy	6,8 (4)	706	6191
La Garde-Chatillon	5,95 (4)	590	5782
La Garde-Antony	5,1 (1)	586	6622
La Garde-Brive	2,5 (4)	244	5612
Brive-Longwy	4 (3)	462	6657
Brive-Chatillon	3,5 (3)	346	5705
Bubry - La Garde	4,65 (3)	538	6635

Remarques: les nombres entre ( ) dans la deuxième colonne indique le nombre de mesures les nombres de la troisième colonne indiquent en fait la distance entre les parallèles passant par les villes.

+++++  
+ Lectures pour la Marquise et pour ses amis +  
+++++

L'Univers par Paul Couderc, 5<sup>ème</sup> édition revue et mise à jour par  
Jean-Claude Pecker ; collection "Que sais-je?" n°687, éd PUF. niveau I

La première édition de ce petit chef d'oeuvre de vulgarisation scientifique date de 1955. Faire tenir un tableau complet de l'Univers, tel qu'on en concevait les problèmes à cette date, dans les 128 pages qui sont le volume obligatoire des livres de cette collection, Paul Couderc y avait remarquablement réussi. Tant et si bien que, trente ans plus tard, alors que l'astrophysique a progressé à pas de géants, l'ouvrage n'a guère de rides -écrit J-C.Pecker - Presque tout ce qu'il dit est exact et admirablement dit."

La tâche de révision dont s'est chargé J-C.Pecker à la mort de Paul Couderc consistait donc à rectifier certaines affirmations qui paraissaient vraies en 1955 et que les travaux réalisés depuis permetten de corriger. Ainsi ne paraît-il plus douteux que le diamètre de la grande galaxie d'Andromède, M.31, est doublé du diamètre de notre Galaxie. Ainsi faut-il compléter le tableau des divers cycles de réactions nucléaires au sein des étoiles.

Mais Pecker a voulu respecter l'organisation de l'ouvrage telle qu'elle avait été conçue par Couderc. Alors que, de son point de vue personnel, des "faits cosmologiques", du paradoxe d'Olbers au rayonnement du fond du ciel à 3 K, permettraient aujourd'hui, en 1983, de présenter autrement nos connaissances sur l'Univers. Tant il est vrai que l'acquis à une époque donnée, c'est à dire un ensemble de découvertes dont chacune peut paraître porter sur un détail, entraîne une conception d'ensemble qui traduit la somme, la synthèse de tous ces "détails". Mais, telle qu'elle est, cette réédition fidèle continuera à servir d'introduction aux ouvrages plus savants.

Pour J-C.Pecker et pour tous les amis ou admirateurs de Paul Couderc, il y a aussi, dans ce travail de mise à jour, l'hommage à un astronome qui avait un talent exceptionnel de vulgarisateur et qui s'est toujours préoccupé efficacement des problèmes de l'enseignement de l'astronomie. Comment les lecteurs des Chaiers ne seraient-ils pas spécialement sensibles à cet aspect du livre !

Je viens de relire l'édition de 1955 ; mon exemplaire m'est précieux car il est aimablement dédié de la main de Paul Couderc. Et puis il est rempli de notes au crayon accumulées depuis 1955 car il ne s'est pas passé d'années sans que je m'y reporte. J'ai lu ensuite cette nouvelle édition ; Pecker a su y limiter les retouches de façon si habile que même dans les additions indispensables il n'y a pas rupture de style. Bel exemple, à mes yeux, de la continuité de l'oeuvre scientifique, du relai des générations ; Paul Couderc et Jean-Claude Pecker se donnent la main et Pecker aujourd'hui, par son enseignement, ses livres -et peut-être aussi par le CLEA - poursuit l'exemple que nous a donné Paul Couderc.

Sommaire du livre : 1) Généralités sur les méthodes et vue cavalière de l'Univers. 2) Notre Galaxie. 3) Populations stellaires. Evolution des étoiles. Evolution des amas. Age des étoiles de la Galaxie. 4) Galaxies. 5) Le décalage des spectres des galaxies. 6) Cosmologie. Postface.

Le grand atlas de l'astronomie réalisé par Encyclopaedia Universalis sous la responsabilité scientifique de Jean Audouze et de Guy Israël avec la collaboration d'une vingtaine de spécialistes. Un volume relié, format 26/36 cm, 432 p, abondamment illustré de photographies et schémas en couleurs [le prix de souscription était de 318 F pour les souscripteurs à E.J.] niveau II-III

Voici un ouvrage très remarquable et dont la haute qualité typographique, texte et illustrations, saute aux yeux. Le sommaire, avec le nombre de pages par sujet, indique l'équilibre de l'ensemble dans un domaine où il y a maintes façons de traiter tous les aspects : Le Soleil par Monique Arduini Malinovsky avec J-P.Poyet, P.Mein et J-C.Vial (30 pages) ; le système solaire par Guy Israël avec A.Cazenave, A.Brahic, J-L.Bertaux, P.Thomas, A.Boischot, J-P.Bibring, Y.Langevin, P.Masson, D. Gautier (180 p) ; les étoiles et la Galaxie par Jean Audouze avec M.Gerbaldi, J-P.Chièze, J-P.Luminet, J.Lequieux, L.Vigroux (90 p) ; le domaine extragalactique par J.Audouze avec L.Vigroux, J.Rolland, F.Durret, J-P.Luminet (70 p) ; une science et son objet (38 p) où sont traités la cosmologie, la vie dans l'Univers, l'observation, l'histoire de l'astronomie, la carte du ciel, l'index, le glossaire et la bibliographie.

Si la diversité des auteurs entraîne une certaine inégalité de niveaux entre certains articles, le texte est toujours de qualité et donne sur la plupart des sujets une information de première main d'une grande actualité. Par exemple, sur l'exploration du système solaire, sur l'existence d'étoiles de très grandes masses (plus de cent masses solaires !), sur les nuages moléculaires, etc. Ce ne sont que quelques exemples qui m'ont frappé parmi beaucoup d'autres. Le tout illustré par de très beaux documents, par exemple cette éruption solaire photographiée à Meudon le 7 septembre 1973, ou encore la photo des amas globulaires entourant la galaxie M 87. La mise en page est en général très heureuse comme cette confrontation fort évocatrice entre l'observatoire de Stonehenge (rappelez-vous la scène finale du film Tess) et l'interféromètre de Labeyrie au CERGA.

Bref, on voudrait n'avoir à faire aucun reproche à un si beau livre. Mais il donne tant de satisfactions que certains accroc, certains défauts, sur des détails il est vrai, font tache. Par exemple, à propos de la formation du système solaire à partir d'une nébuleuse primitive, théorie que présente fort bien André Brahic, l'éditeur a voulu mettre une illustration et, au lieu d'un schéma, il a "arrangé" la photo d'une galaxie en y ajoutant des flèches noires pour figurer la rotation et des flèches blanches pour figurer l'effondrement ; schéma ou photo, dans un ouvrage de cette sorte, il faut choisir ou prévenir car on pourrait être amené à penser que des galaxies peuvent s'effondrer.

Je trouve aussi quelques négligences de rédaction dans le glossaire. L'énoncé de la deuxième loi de Kepler, par exemple: "chaque planète balaye des aires égales en des temps égaux" ; alors, Vénus, tu balayes, quel destin... Ou encore cette perle à propos de la précession: "la verticale de l'écliptique". Dans la bibliographie, je m'étonne de trouver le livre "Méthodes de l'astrophysique" par L. Gouguenheim, non dans les ouvrages généraux mais parmi ceux qui traitent particulièrement de la nucléosynthèse des éléments ; à propos de l'histoire de l'astronomie je regrette de ne voir citer aucun livre de Koyré non plus que celui de G. Simon sur Kepler qui a renouvelé le sujet.

Enfin, pour clore ce chapitre des regrets, il faut dire que la dernière partie de l'atlas laisse à désirer : huit pages pour la cosmologie, est-ce tellement plus, toutes proportions gardées que dans la Bible ? Huit pages également pour l'histoire de l'astronomie, c'est un peu la visite du Musée du Louvre en mobilette.

Mais ceci dit qui témoigne à la fois de mon mauvais esprit et des légitimes exigences qu'on peut avoir à l'égard d'un ouvrage de cette importance, je ne boudrai pas mon plaisir, je garderai l'Atlas à portée de la main dans ma bibliothèque, je m'y reporterai souvent ou pour relire ou pour admirer. Comme tous ceux qui sont passionnés par les développements de l'astronomie ou par un sujet particulier, l'anneau F de Saturne, les étoiles de Wolf-Rayet, les galaxies à noyau actif, etc.

Mon premier livre d'astronomie par Michel Toulmonde ; 48 pages, cartonné, illustrations en noir et en couleurs par Andrée Bienfait ; éd Etudes Vivantes 42 F [niveau I].

L'auteur, qui est professeur à l'Ecole Normale d'Etioilles présente les objets et les phénomènes familiers en termes simples et en privilégiant, ce qui est très heureux, l'observation à l'œil nu. Un glossaire donne les explications sur le vocabulaire utilisé, en distinguant bien par exemple, la révolution d'une planète autour du Soleil de sa rotation sur elle-même. C'est dire que cet ouvrage destinés aux jeunes enfants dès qu'ils savent lire peut être recommandé sans hésiter.

Le trou noir par Jean-Pierre Petit ; collection "Les aventures d'Anselme Lanturlu" , 64 p, format 22/30, cartonné, éd Belin. [niveau II].

De Jean-Pierre Petit, astrophysicien au CNRS, nous avons déjà goûté les livres qu'il écrit et dessine pour raconter les aventures d'Anselme Lanturlu dans ses rencontres avec des sujets passionnants tels que "le géométricon", "si on volait ?", "l'informatique", "tout est relatif". Dans la continuité avec ce dernier où un malicieux Albert intervenait, voici une présentation du trou noir fort astucieuse. Faire comprendre avec du ruban adhésif ce que sont les géodésiques d'un espace à courbure positive relève de la plus saine pédagogie. D'ailleurs, l'humour de l'auteur est bien sympathique qui fait dire au jeune Anselme "Si cet univers est le meilleur des univers possibles, que sont donc les autres ?" Ce "trou noir" est donc recommandé à ceux qui, comme on dit, en broient.

L'espace et le temps aujourd'hui Texte d'entretiens radiodiffusés  
par Emile Noël ; 312 p ; collection "Points-Sciences", éd Seuil.  
[niveau II]

Type de l'ouvrage collectif où il y a de bonnes prestations à côté d'autres. Avec la contrainte supplémentaire que chaque chapitre est d'un volume de douze pages. Dans la première partie, les entretiens avec J.-M. Lévy-Leblond et R. Omnès sur la relativité et les quanta m'ont paru particulièrement clairs. Dans la seconde partie, sur "perception et pratique", il y a beaucoup de paroles qui auraient pu rester dans leur état initial d'ondes sonores.

Les diapositives de la S.A.F. Depuis longtemps nous aurions du signaler l'intérêt des diapositives éditées par la Société Astronomique de France. Elles se présentent en étuis de six diapositives en couleurs, l'enveloppe de l'étui portant d'abondantes notices rédigées par les spécialistes qui ont choisi les documents présentés. Matériel qui est donc d'utilisation facile en classe ou en club. Voici la liste des étuis actuellement disponibles : Soleil (1. Couronne et protubérances), Soleil (2. Photosphère et chromosphère), Lune, Planètes (1 et 2), 3. Mars vu par Viking 1 et 2, 4. Jupiter vu par Voyager 1 et 2, 5. Satellites de Jupiter vus par Voyager 1 et 2, 6. Saturne vu par Voyager 1, 7 Satellites de Saturne vus par Voyager 1, 8. Saturne et ses anneaux vus par Voyager 2, 9. Atmosphère de Saturne vue par Voyager 2, 10. Satellites de Saturne vus par Voyager 2 ; Instruments, grands télescopes des années 1970 ; Notre galaxie ; Nébuleuses et galaxies ; L'univers extragalactique.

Chaque étui de six vues avec les notices, 20 F, port en sus. S'adresser à la SAF, 5 rue Beethoven, 75016 Paris.

#### Pour la formation des enseignants

- Le Laboratoire d'astronomie de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc et l'IREM de Montpellier ont édité ensemble un fascicule de 76 pages qui illustre bien la diversité des méthodes envisagées pour l'information des enseignants. Ce document de qualité est distribué à l'avance aux enseignants réunis en stage. Après l'avoir consulté, ceux-ci posent des questions aux animateurs des stages qui prennent ainsi une forme très active.

Au sommaire : Astronomie et physique (H. Reboul) ; Distances et temps dans l'Univers (H.R.) ; Mouvement des astres, mouvement diurne (F. Gleizes) ; Gravitation universelle (F.G.) ; Planètes (F.G.) ; Physique et évolution des étoiles (J.-P. Cordoni) ; Observations et mesures (H.R.) ; L'Univers et les modèles cosmologiques (H. Andrillat) ; Univers et vie (H.R.).

Parmi les bonnes idées qu'on peut relever dans ce fascicule je signale une double page sur les échelles de distances depuis  $2 \cdot 10^{-17}$  jusqu'à  $2 \cdot 10^{29}$  m. Et cette judicieuse remarque finale sur le dernier thème traité "A ce jour, aucun astronome n'a observé d'OVNI."

- Le groupe de Recherches et d'Animation Astronomique du Limousin (GRAAL) qui n'est pas sans lien avec l'IREM de Limoges, va éditer un ouvrage de 400 pages environ intitulé "Astronomie sphérique et astronomie pratique" par Christian Dumoulin. Prix prévu entre 80 et 85 F. Prendre une option n'engage à rien mais permet au GRAAL de prévoir le tirage.

- L'édition du compte rendu de l'école d'été 1982 à Sophia Antipolis est sous presse. J'ai vu la couverture fort prometteuse et symbolique.

G.W.

Dans les revues

=====

Pour la science. Février 83 : Les images Radar de la Terre prises de l'espace par C.Elachi ; Les échantillons de la Voie Lactée par R.Mewaldt, E.Stone et M.Wiedenbeck. Avril 83 : La couronne solaire par R.Wolfson.

La Recherche. Février 83 : L'origine de l'atmosphère par M. Ozima et B.Marty ; Rendez-vous avec Halley par A.Repairoux. Mars 83 : Des étoiles qui s'évaporent, les étoiles de Wolf-Rayet par A.Maeder ; Le déroutage d'un satellite par J-L.Steinberg. Avril 83 : Galilée et l'expérimentation par P.Thuillier ; Les crêpes stellaires par J-P.Luminet. Mai 83 : numéro spécial sur la photographie, Les images en astronomie par L.Vigroux.

---

#### GLANES

/////

Nous recueillons avec plaisir quelques "belles" citations prises dans la grande presse ou dans les livres. Merci aux correspondants qui nous signalent ces perles.

- Le Soleil de Douai. Après le célèbre clair de Lune à Maubeuge, notre Ami Victor Tryoen a eu la joie de trouver dans un journal de Douai, "To Regards" cette information astrophysique :

"Le Soleil, cette masse incandescente dont le rayon vaut environ 109 fois celui de la Terre perd chaque jour plusieurs millions de tonnes de sa matière en gaz et en fumée."

- Les mensonges de Copernic. Sous le titre "Astronomie : la Terre, Aristote... et le Coran", Nice-Matin du 23 mars 1983 publiait l'information suivante :

"Un astronome pakistanais a affirmé que la théorie moderne selon laquelle la Terre tournait autour du Soleil était fautive et contraire aux révélations du Coran, a rapporté hier l'agence officielle Associated Press of Pakistan.

Le scientifique, M.Ali Asghar Khan a déclaré lundi à Lahore au cours d'une conférence de presse que la conception du penseur grec Aristote affirmant que la Terre était stationnaire et située au centre de l'Univers "était proche de la réalité".

Il a ajouté que cette théorie avait été rejetée par les savants occidentaux de la Renaissance dans le but de "discrediter la religion". Les savants du seizième siècle, a-t-il dit, n'avaient fondé cette nouvelle idée sur aucune étude scientifique..."

Information reprise par Ouest-France le 24 mars 1983.

## EVALUATION DU NOMBRE D'ETOILES PLUS BRILLANTES QU'UNE MAGNITUDE DONNEE

*Cet article nous a été communiqué par le club d'Astronomie du lycée Jules Haag à Besançon. Le club est animé par Françoise Suagher, qui est déjà connue des lecteurs des Cahiers Clairaut.*

*Le club est très actif; il se réunit régulièrement et réalise toutes sortes de projets expérimentaux, bibliographiques ou liés à l'observation quand le temps le permet. Le projet décrit ci-dessous a rencontré beaucoup d'enthousiasme de la part du groupe qui l'a mené: les résultats obtenus sont très satisfaisants.*

PRINCIPE: On réalise deux ou trois photos de régions du ciel différentes et on examine les clichés en comptant le nombre d'étoiles sur le cliché correspondant à une magnitude plus faible (étoile plus brillante) qu'une valeur donnée.

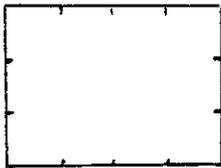
PREMIERE ETAPE. Détermination du champ de l'appareil photo.

Nous évaluons approximativement à l'oeil la surface en degrés carrés de la zone visible dans le champ de l'appareil photo. L'unité prise comme référence est la distance entre Bételgeuse et Bellatrix. Ces étoiles étant situées sur le même parallèle céleste, la différence de leurs ascensions droites donne leur distance angulaire.

Bételgeuse :  $\alpha = 5\text{h } 54\text{min } 12\text{s}$

Bellatrix :  $\alpha = 5\text{h } 24\text{min } 10\text{s}$

soit un écart angulaire de 30 min ou  $7;5$



Ainsi on évalue que la longueur de l'image vaut 4 unités pendant que la largeur en vaut 3.

Le champ de l'appareil est donc évalué à:

$22,5 \times 30 = 675^\circ\text{carrés}$

DEUXIEME ETAPE: Réalisation des clichés.

En partant de la Voie Lactée qui passe d'ailleurs près du zénith en automne, on choisit 3 zones qui s'en éloignent progressivement: zone 1 très peuplée en étoiles, zone 2 assez peuplée, zone 3 peu peuplée.

Les photos sont réalisées avec l'appareil Olympus OM1, muni d'un objectif de 50 mm de focale posé sur une table équatoriale entraînée manuellement. Essais de pose à 3 min, 21,5 min et 45s.

TROISIEME ETAPE. Développement des négatifs en laboratoire.

Révéléateur, rinçage, fixateur, rinçage, séchage. C'est le lendemain matin que nous pourrons travailler sur les négatifs. Ils sont montés sous cache diapositives et exploités en projection sur un écran.

DECOUVERTE DES CLICHES.

Le brouillard qui se levait pendant la séance de prises de vue a compromis les résultats: les poses de 45s sont ratées. Les clichés de Cassiopée et Pégase à 1,5 et 3 min sont honnêtes. Les troisièmes zones sont inutilisables: trop proches du brouillard, elles ne sont pas significatives. Les clichés utilisés sont peuplés et assez peuplés. Les clichés choisis pour l'exploitation sont Cassiopée et Pégase avec une pose de 3 min.

COMPTAGE DES ETOILES.

On estime la taille sur la projection d'une étoile de magnitude 9, la taille d'une étoile de magnitude 6.

Comptage des étoiles plus brillantes que la magnitude 9:

dans Cassiopée: 1365 étoiles ; dans Pégase: 896 étoiles

soit une moyenne de 1130 étoiles pour  $675^\circ\text{carrés}$ .

Comptage des étoiles visibles à l'oeil nu (plus brillantes que la magnitude 6):

Dans Cassiopée: 150 étoiles ; dans Pégase: 50 étoiles

soit une moyenne de 100 étoiles pour  $675^\circ\text{carrés}$ .

CONCLUSION.

La surface du ciel ( sphère) est:  $4\pi$  radians au carré soit  $4\pi \times 57^2$  en °carrés = 40 000 °carrés.

Le nombre d'étoiles plus brillantes que la magnitude 9 est donc égal à:

$$1130 \times 40\ 000 / 675 = 67\ 000 \text{ étoiles}$$

Le nombre d'étoiles plus brillantes que la magnitude 6 (visibles à l'œil nu) est:

$$100 \times 40\ 000 / 675 = 6\ 000 \text{ étoiles}$$

VERIFICATION.

On peut lire dans "Clés pour l'Astronomie" de Jean-Claude Pecker: 5 000 étoiles de magnitude 6 et  $5 \times 10^4$  étoiles de magnitude 9. Nos résultats ont un ordre de grandeur correct mais sont un peu gonflés. Ceci est dû probablement au fait que les deux clichés exploitables sont pris dans des zones riches.

Compte rendu rédigé par le groupe B du Club Astro

\* \* \* \* \*

MOUVEMENT DIURNE - REPERAGE DE L'ETOILE POLAIRE

*Vous avez été plusieurs à réclamer des articles simples: J.P Rosenstiehl vous propose cette manipulation très facile qu'il a réalisée avec les jeunes de son club.*

MATERIEL carton - ciseaux - colle - bouton pression

REALISATION Découper la feuille suivante suivant les pointillés. Coller soigneusement A sur une feuille de carton, puis découper suivant le contour du cercle extérieur. Coller la deuxième partie (B) sur la partie inférieure d'une deuxième feuille de carton. Percer les centres des cercles (marqués d'une croix). Placer A sur B et assembler avec un bouton-pression (ou une attache parisienne). La plaque circulaire doit pouvoir tourner librement.

UTILISATION Faire coïncider la graduation horaire avec la date du jour de l'observation. On obtient la position de la Grande Ourse dans le ciel au dessus de l'horizon NORD.

Attention! : la graduation horaire est en temps universel (TU). Se souvenir que  
temps légal = TU + 1 heure (en hiver)  
temps légal = TU + 2 heures (en été)

Le temps légal est l'heure donnée par la montre.

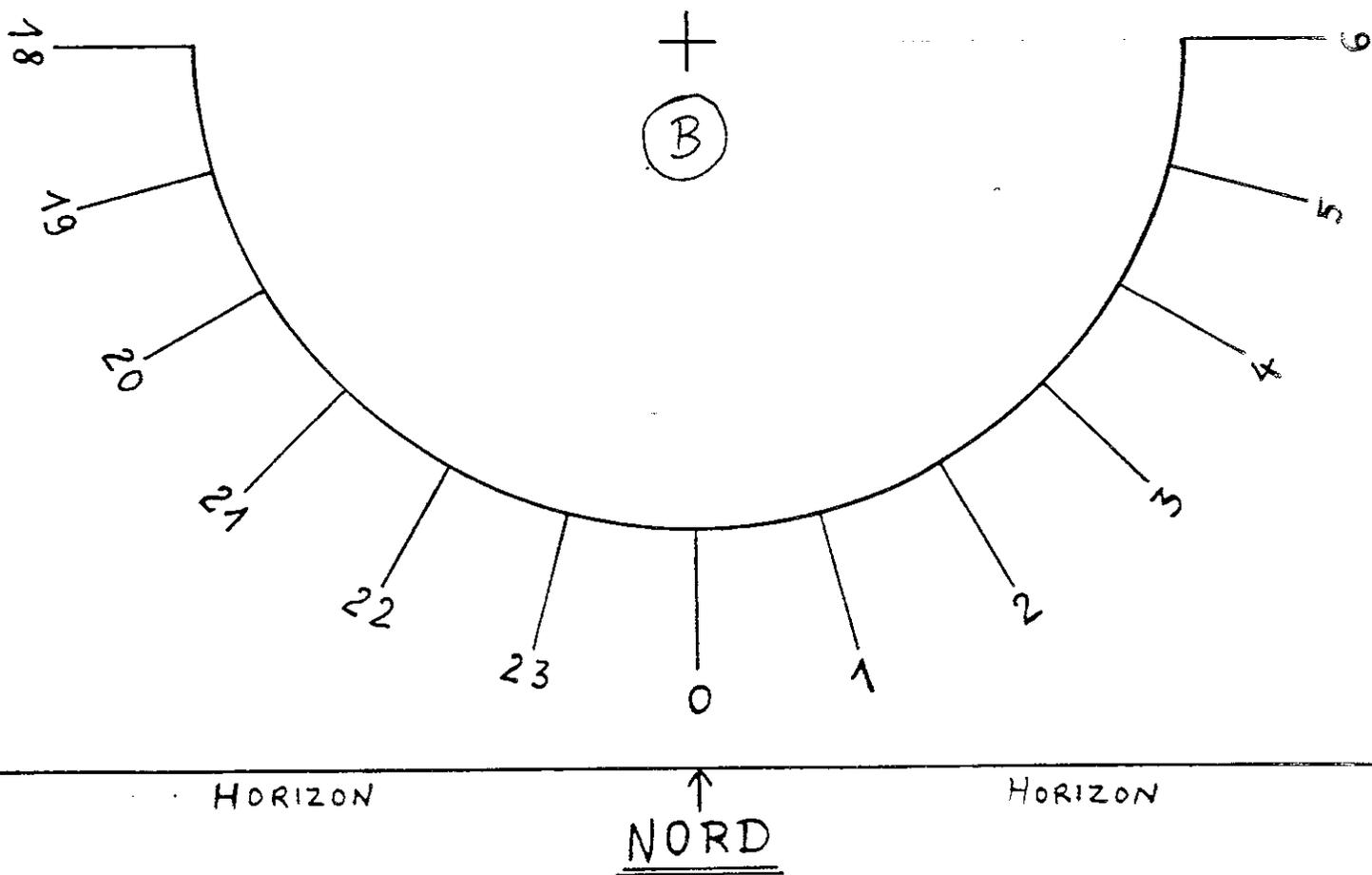
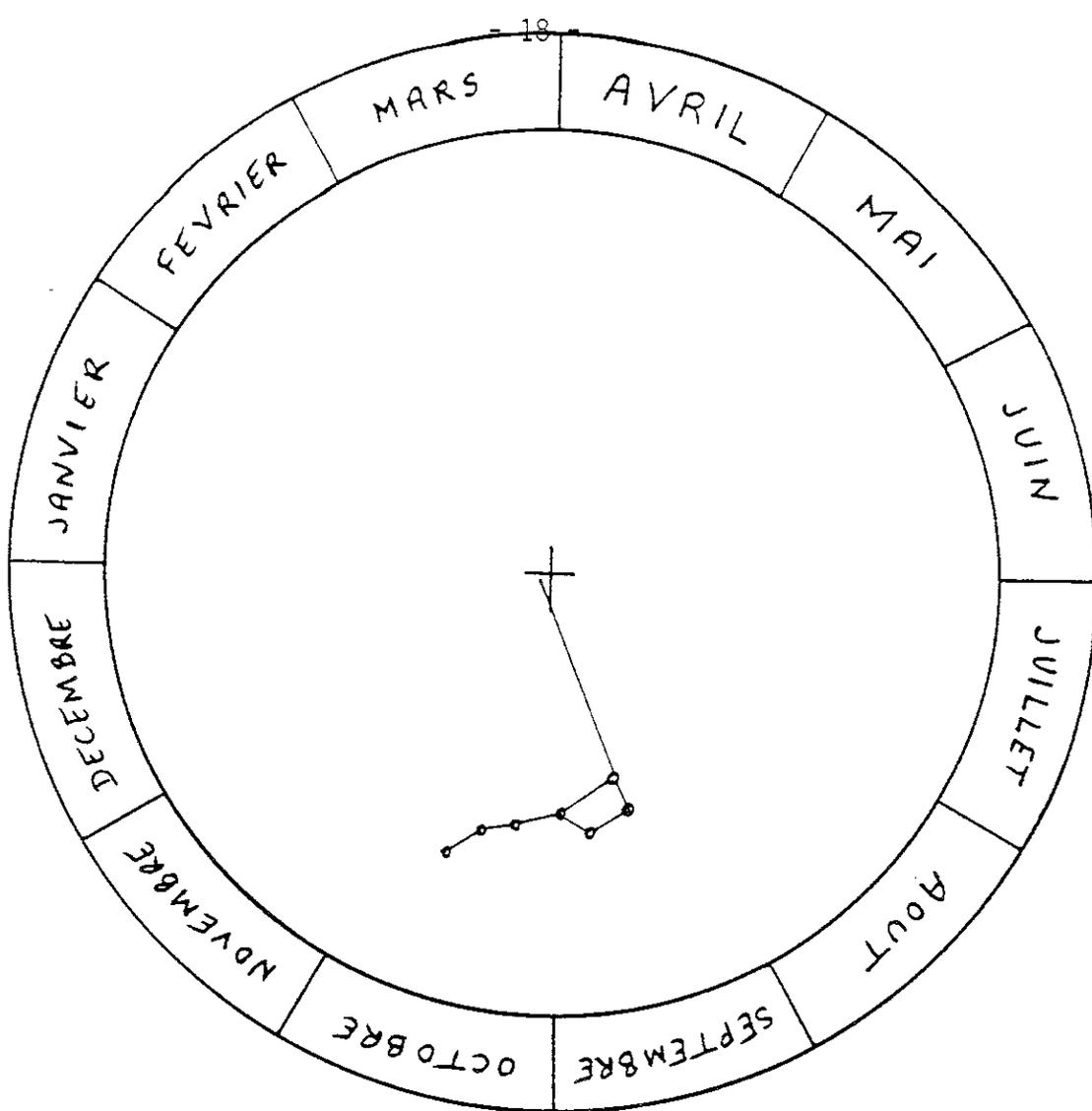
EXEMPLE A 0h TU début septembre la Grande Ourse est basse sur l'horizon. Toute l'année, l'étoile polaire se trouve sensiblement sur le prolongement de la ligne qui joint deux étoiles de la Grande Ourse (appelées "les Gardes"); 5 fois l'écart angulaire...

A essayer ce soir même!... Bonne observation...

REMARQUE Construction valable pour le méridien de Greenwich. Le Mans s'y trouve presque! Comment faire ailleurs ?

J.P. Rosenstiehl (Le Mans)

(D)



Errants et errances

(III)

Notes pour tenter de comprendre l'histoire  
de la découverte de l'attraction universelle

Voici donc venue la seconde moitié du XVII<sup>ème</sup> siècle. Galilée et Descartes, pour ne rien dire de tous les autres, ont dégagé les principes de la mécanique. Une grande synthèse va couronner l'oeuvre scientifique de ce grand siècle. Synthèse marquée par le génie de Newton qui va orienter toute la science moderne et marquer à ce point les esprits qu'aujourd'hui encore on peut dire qu'une majorité de personnes honnêtement cultivées vivent avec une conception du monde newtonienne et éprouvent par conséquent le plus grand mal à s'en départir pour concevoir ce que Relativité et Quanta ont apporté depuis comme corrections ou compléments.

Prenons donc bien conscience de qui était Newton et de ce qu'il a apporté.

Isaac Newton

===== I.N. est né le 25 décembre 1642 à Colsterworth, petit village du Lincolnshire, cette région agricole du Nord-Est de l'Angleterre où ses ancêtres étaient des fermiers aisés. La maison natale de I.N. est le manoir de Woolstrope encore visible aujourd'hui.

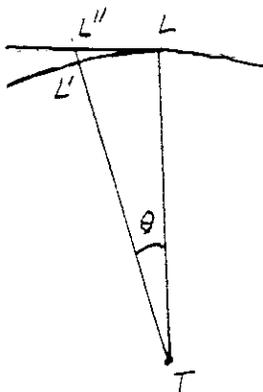
A sa naissance, le jeune Isaac ne semble en rien promis à une grande destinée. Son père est mort quelques semaines avant sa naissance. Le bébé est faible, très menu ; sa mère prétendait qu'il aurait tenu dans une chope de bière, il est vrai qu'il y a de grands buveurs dans la région. A douze ans, Isaac fréquente une Ecole Royale à Grantham. A cette époque, notre écolier reconstitue un modèle de moulin à vent qui vient d'être construit dans la région. En 1661, I.N. est admis au Trinity College de Cambridge où il prendra contact avec Isaac Barrow qui sut l'encourager dans ses études mathématiques. En 1665, Newton obtient le degré de Bachelor of Arts sans distinction particulière.

C'est alors que la "grande peste" entraîne la fermeture de l'Université et le retour d'Isaac au manoir de Woolstrope. Il y restera, solitaire et méditatif, jusqu'à la réouverture des cours en 1667. Période fructueuse pour ce jeune homme qui aimait la solitude et qui était capable d'une extraordinaire concentration d'esprit.

La grande découverte

===== C'est à dire celle de l'attraction en  $1/r^2$  ; elle se situe à cette époque de méditation champêtre, bien qu'elle n'ait été formulée et démontrée correctement que plus tard. Le jeune savant fut-il inspiré, comme Voltaire le prétend dans ses "Lettres philosophiques" par la chute des pommes ? Ou bien l'anecdote est-elle un procédé littéraire pour le vulgarisateur de l'attraction universelle que Voltaire essayait d'être ? Quoi qu'il en soit, Paul Valéry a eu raison d'écrire : "Il fallait être Newton pour apercevoir que la Lune tombe quand tout le monde voit bien qu'elle ne tombe pas." (Carnets, Pléiade

II, p878) ou, encore mieux : "Relativité - selon Newton -. Avant on disait : tous les corps tombent. Mais on exceptait la Terre et on ne pensait aux corps célestes. On disait tous les corps tombent et sont donc non en relation symétrique avec la Terre. Newton dit - la Terre tombe vers la feuille qui tombe vers elle. Les chutes sont réciproques des masses." (idem, p.846). Mais d'abord, la Lune plutôt que la feuille.



En une seconde, la pomme tombe et parcourt 4,9 m ; pendant le même temps, la Lune a parcouru l'arc LL' de son orbite :

$$\theta = \frac{27}{27,322 \cdot 86400}$$

Elle est donc tombée vers la Terre de L''L'  $L''L' = TL \frac{\sin^2 \theta/2}{\cos \theta} \approx TL \cdot \theta/2$  soit 1,36mm

Or  $4,9/0,00136 = 3603 \approx 60^2$

Conclusion : l'attraction est la même sur la pomme et sur la Lune, à la distance près qui intervient par l'inverse de son carré.

Calcul élémentaire mais lourd de signification :

- En premier lieu, l'affirmation implicite qu'une même loi régit un phénomène terrestre, la chute de la pomme, et un phénomène céleste, le mouvement de la Lune autour de la Terre. A partir de 1665, il n'y a plus qu'une physique. C'est toujours sur cet axiome que se développe la science contemporaine, que la cosmologie construit ses modèles les plus performants.
- En second lieu, il y a l'affirmation de l'attraction inversement proportionnelle au carré de la distance. La démonstration rigoureuse demandera du temps à Newton pour deux raisons : il doit disposer d'une bonne évaluation du rayon de la Terre pour comparer la distance du centre de la Terre à la pomme et à la Lune ; il doit aussi pouvoir calculer l'attraction d'une sphère (provisoirement supposée homogène) sur un objet qui lui est extérieur.

Or, en 1665, Newton n'a pas à sa disposition une valeur assez précise du rayon de la Terre. Il devra attendre 1670 pour connaître le résultat de la triangulation Amiens-Corbeil par Picard (Cf Cahiers Clairaut 17, p.13) soit 57000 toises par degré de méridien et un rayon de 6 371 860 m.

Une bonne valeur du rayon de la Terre ne suffit pas. Il faut savoir calculer l'attraction par une sphère homogène. Calcul à la portée d'un taupin 1950, justement parce qu'un jeune Newton a su reprendre les idées d'Archimède sur le découpage d'un volume en tranches, idées déjà reprises par Cavalieri. Mais notre jeune mathématicien, s'il est riche d'idées, n'est pas pressé de publier ses travaux. Son premier ouvrage purement mathématique "De analysi per aequationes numero terminorum infinitas", qui contient le fameux développement du binôme, est rédigé en 1669 mais ne sera publié qu'en 1711. L'ouvrage mathématique fondamental, "Methodus fluxionem et serierum infinitarum", qui fonde l'analyse infinitésimale et qui permet justement de démontrer que l'attraction par une sphère homogène est égale à celle de toute sa masse réunie au centre, date

également de ces années de jeunesse du savant mais ne sera publié qu'en 1742, après sa mort.

Heureusement, Edmund Halley qui était lié d'amitié avec Newton et qui disposait d'une certaine fortune obtint de publier à ses frais la grande synthèse "Philosophiae naturalis principia mathematica" dont la première édition parut à Londres en 1685.

#### La grande synthèse

==== Il fallut attendre 1750 pour que paraisse la traduction française par la Marquise du Châtelet sous le titre "Principes mathématiques de la philosophie naturelle". L'ouvrage commence par la "Préface historique" écrite par Newton pour la traduction anglaise (puisque l'original était en latin) en 1686, les préfaces de la deuxième édition (1713), de la troisième édition (1725) ainsi que la préface de M. Cotes, professeur d'astronomie et de physique expérimentale à Trinity College (1713). Enfin, cette traduction française, - reproduite par les éditions Blanchard en 1966 -, reprend le poème de Voltaire sur "la physique de Newton" qui est dédié à la Marquise, ainsi que les commentaires au texte de Newton par Alexis Clairaut. Elle nous permet d'admirer ce monument.

Newton a appris la géométrie dans Euclide. Pour la géométrisation de la physique qu'il propose, il adopte le modèle euclidien. En tête trente cinq pages de définitions et axiomes puis un livre I (120 pages) qui étudie les mouvements des corps, démontre les lois de Kepler, étudie les forces attractives des corps sphériques ou non sphériques, le mouvement des corpuscules attirés par toutes les parties d'un corps quelconque (on devine que cela servira pour le calcul des marées). Le livre II (180 p) étudie les mouvements avec résistance du milieu et les mouvements des corps oscillants.

Le livre III (180 p) nous intéresse particulièrement puisqu'il applique aux problèmes astronomiques les principes développés dans les deux premiers livres. En tête, "les règles qu'il faut suivre dans l'étude de la physique" :

- 1 - "Il ne faut admettre de causes que celles qui sont nécessaires pour expliquer les phénomènes."
- 2 - "Les effets de même genre doivent toujours être attribués, autant qu'il est possible, à la même cause."
- 3 - "Les qualités des corps qui ne sont susceptibles ni d'augmentation ni de diminution, et qui appartiennent à tous les corps sur lesquels on peut faire des expériences, doivent être regardées comme appartenant à tous les corps en général."
- 4 - "Dans la philosophie expérimentale, les propositions tirées par induction des phénomènes doivent être regardées malgré les hypothèses contraires, comme exactement ou à peu près vraies, jusqu'à ce que quelques autres phénomènes les confirment entièrement ou fassent voir qu'elles sont sujettes à exceptions."

Après quoi Newton reprend la description et la justification mécanique des phénomènes du système solaire. En tenant compte,

évidemment, des connaissances de son temps ce qui limite la physique au système solaire, l'univers des fixes restant un simple décor, une toile de fond. D'où "l'hypothèse première : le centre du système du monde est en repos", ce qui entraîne la "Proposition XI : le centre commun de gravité du Soleil, de la Terre et de toutes les planètes est en repos."

Sont ensuite étudiés les mouvements des satellites de Jupiter, ceux de la Lune et des planètes, le mouvement des noeuds de l'orbite lunaire, la précession des équinoxes (avec l'hypothèse causale du renflement équatorial de la Terre), enfin le mouvement des comètes et le phénomène des marées.

L'ouvrage se termine par une scolie générale (la Marquise écrivait "scolie général") dans laquelle Newton critique pertinemment la théorie des tourbillons que préconisaient les cartésiens et précise ainsi sa position :

"J'ai expliqué jusqu'ici les phénomènes célestes et ceux de la mer par la force de la gravitation mais je n'ai assigné nulle part la cause de cette gravitation. Cette force vient de quelque cause qui pénètre jusqu'au centre du Soleil et des planètes, sans rien perdre de son activité... Je n'ai pu encore parvenir à déduire des phénomènes la raison de ces propriétés de la gravité et je n'imagine point d'hypothèses. Car tout ce qui ne se déduit point des phénomènes est une hypothèse : et les hypothèses soit métaphysiques soit physiques soit mécaniques soit celles des qualités occultes ne doivent pas être reçues dans la philosophie expérimentale. Dans cette philosophie, on tire les propositions des phénomènes et on les rend ensuite générales par induction." (tome II, p.179)

Clairaut, qui avait conseillé la Marquise de très près (de trop près jugeait perfidement Voltaire) dans son travail de traduction ajouta à l'ouvrage, de son cru, un "exposé abrégé du système du monde" qui lui permit en particulier de développer ses propres travaux sur la figure de la Terre.

Pour conclure

===== Je vois dans cette addition le discret hommage des savants du XVIII<sup>ème</sup> siècle tout imprégnés de la pensée newtonnienne. Comme nous le sommes encore : si nous rejetons facilement la fixité du centre des masses du système solaire, ne restons-nous pas habitués par la notion d'un temps absolu, le t des équations de la mécanique newtonnienne qui n'est qu'une variable mathématique,  $t \in ]-\infty, +\infty[$  ...

Un mot encore : il est temps d'arrêter ici ce feuilleton sur les errances qui se voulait introduction à un exposé sur les mécaniques rédigé pour l'Ecole d'été 1982. Feuilleton et exposé ne sont pourtant que faibles prolégomènes à une étude qui devrait être approfondie et développée sur le sujet "mécanique et astronomie".

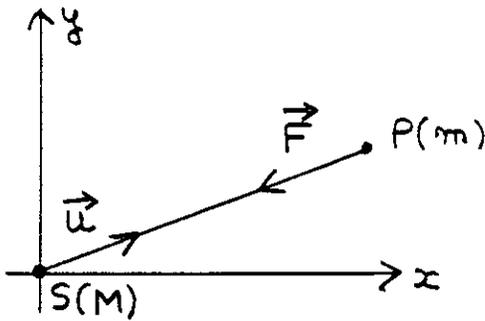
K.Mizar

Indications bibliographiques : A.Koyré "Etudes newtonniennes" (éd Gallimard, Paris 1968) ; E.N. da C. Andrade Sir Isaac Newton (éd Collins, London 1954),...

DE NEWTON A KEPLER ... AVEC UNE CALCULETTE

BUT: Il ne s'agit pas de renverser le cours de l'histoire, ni celui du temps ! On se propose simplement de retrouver graphiquement les lois de Kepler en partant de la loi d'attraction universelle (loi de Newton). Le jeu consiste à lancer une planète P de masse m située à la distance SP = r du Soleil dont la masse est M. Le lancement se fait avec une vitesse V. On ne tient compte que de l'attraction exercée par S sur P et on cherche l'orbite relative de P par rapport à S par une méthode de calcul numérique.

PRINCIPE: A l'instant t, P subit l'attraction de S donnée par:



$$\vec{F} = - \frac{G m M}{r^2} \vec{u}$$

Les composantes de  $\vec{F}$  sont:

$$F_x = - G m M \frac{x}{r^3} = m \frac{dv_x}{dt}$$

$$F_y = - G m M \frac{y}{r^3} = m \frac{dv_y}{dt}$$

$$\text{avec } r^2 = x^2 + y^2$$

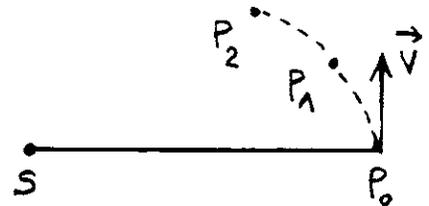
$$\text{ainsi } \frac{dv_x}{dt} = - G M \frac{x}{r^3} \quad \text{et} \quad \frac{dv_y}{dt} = - G M \frac{y}{r^3}$$

Par un choix d'unités, posons  $G M = 1$ ; les composantes de l'accélération de P deviennent:

$$a_x = - \frac{x}{r^3} \quad ; \quad a_y = - \frac{y}{r^3}$$

On part de  $P_0(x_0, y_0)$  à l'instant  $t = 0$ ; la vitesse de lancement est  $\vec{V}(v_{x_0}, v_{y_0})$ ; ainsi  $r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}$

$$\text{et } a_{x_0} = - \frac{x_0}{r_0^3} \quad ; \quad a_{y_0} = - \frac{y_0}{r_0^3}$$



On choisit un intervalle de temps, soit  $t$ , (le pas) ce qui permettra l'intégration numérique; celle-ci sera d'autant plus précise que le pas est plus petit.

$$\begin{cases} v_{x_1} = v_{x_0} + a_{x_0} \frac{t}{2} \\ v_{y_1} = v_{y_0} + a_{y_0} \frac{t}{2} \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} x_1 = x_0 + v_{x_1} t \\ y_1 = y_0 + v_{y_1} t \end{cases}$$

Ainsi, on obtient une nouvelle position  $P_1(x_1, y_1)$  et  $\vec{V}_1(v_{x_1}, v_{y_1})$  et on recommence:

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \quad ; \quad a_{x_1} = - \frac{x_1}{r_1^3} \quad ; \quad a_{y_1} = - \frac{y_1}{r_1^3}$$

$$\begin{cases} v_{x_2} = v_{x_1} + a_{x_1} t \\ v_{y_2} = v_{y_1} + a_{y_1} t \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} x_2 = x_1 + v_{x_2} t \\ y_2 = y_1 + v_{y_2} t \end{cases}$$

ce qui représente la position  $P_2(x_2, y_2)$  et  $\vec{V}_2(v_{x_2}, v_{y_2})$

et on continue...

Prenons un exemple numérique:

$$x_0 = 0,5 \quad y_0 = 0 \quad v_{x_0} = 0 \quad v_{y_0} = 1,7 \quad t = 0,1$$

on obtient successivement:

$$r_0 = 0,5 \quad a_{x_0} = -\frac{0,5}{(0,5)^3} = -4 \quad a_{y_0} = 0$$

$$\begin{cases} v_{x_1} = 0 - 4 \times 0,05 = -0,2 \\ v_{y_1} = 1,7 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_1 = 0,5 - 0,2 \times 0,1 = 0,48 \\ y_1 = 0 + 1,7 \times 0,1 \end{cases}$$

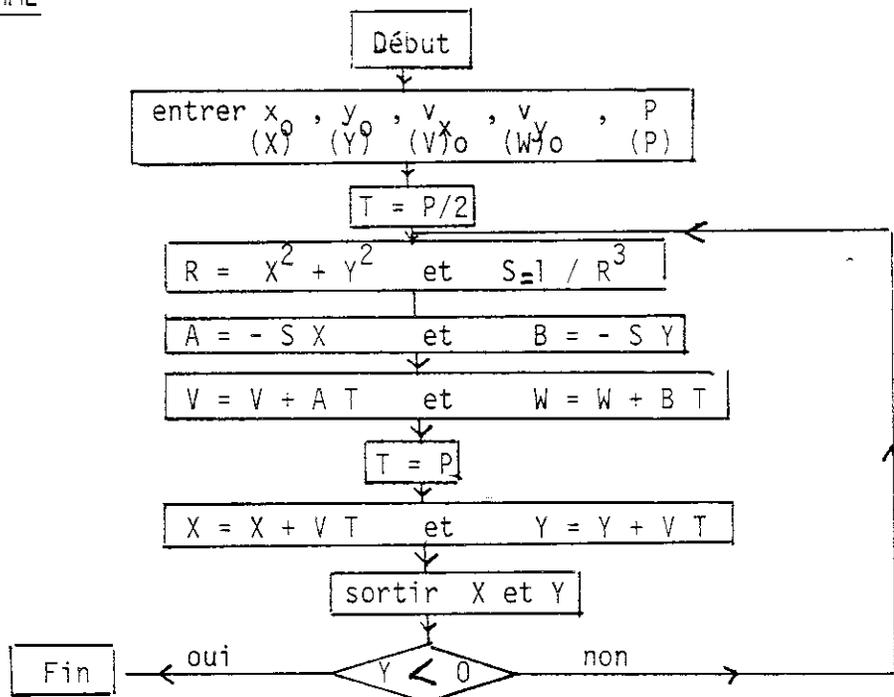
$$\text{puis } r_1 = \sqrt{(0,48)^2 + (0,17)^2} = 0,509$$

$$a_{x_1} = -\frac{0,48}{(0,509)^3} = -3,639 \quad a_{y_1} = -\frac{0,17}{(0,509)^3} = -1,289$$

$$\begin{cases} v_{x_2} = -0,2 - 3,639 \times 0,1 = -0,564 \\ v_{y_2} = 1,7 - 1,289 \times 0,1 = 1,571 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_2 = 0,48 - 0,564 \times 0,1 = 0,423 \\ y_2 = 0,17 + 1,571 \times 0,1 = 0,327 \end{cases}$$

etc... (les valeurs successives de x et y figurent dans le tableau 1 donné ci-dessous)  
On voit que la méthode est très simple, mais elle demande beaucoup de calculs numériques: la calculatrice programmable convient parfaitement car pour ce travail fastidieux on fait des boucles.

### ORGANIGRAMME



La figure 1 a été faite avec les valeurs du tableau 1 après multiplication par 100 et report en mm. A mesure que les points sont mis en place, on constate que les arcs successifs parcourus en des durées égales (égales au pas) sont de plus en plus faibles: la planète ralentit à mesure qu'elle s'éloigne du Soleil; la loi des aires devient presque "tangible" !

Tableau 1

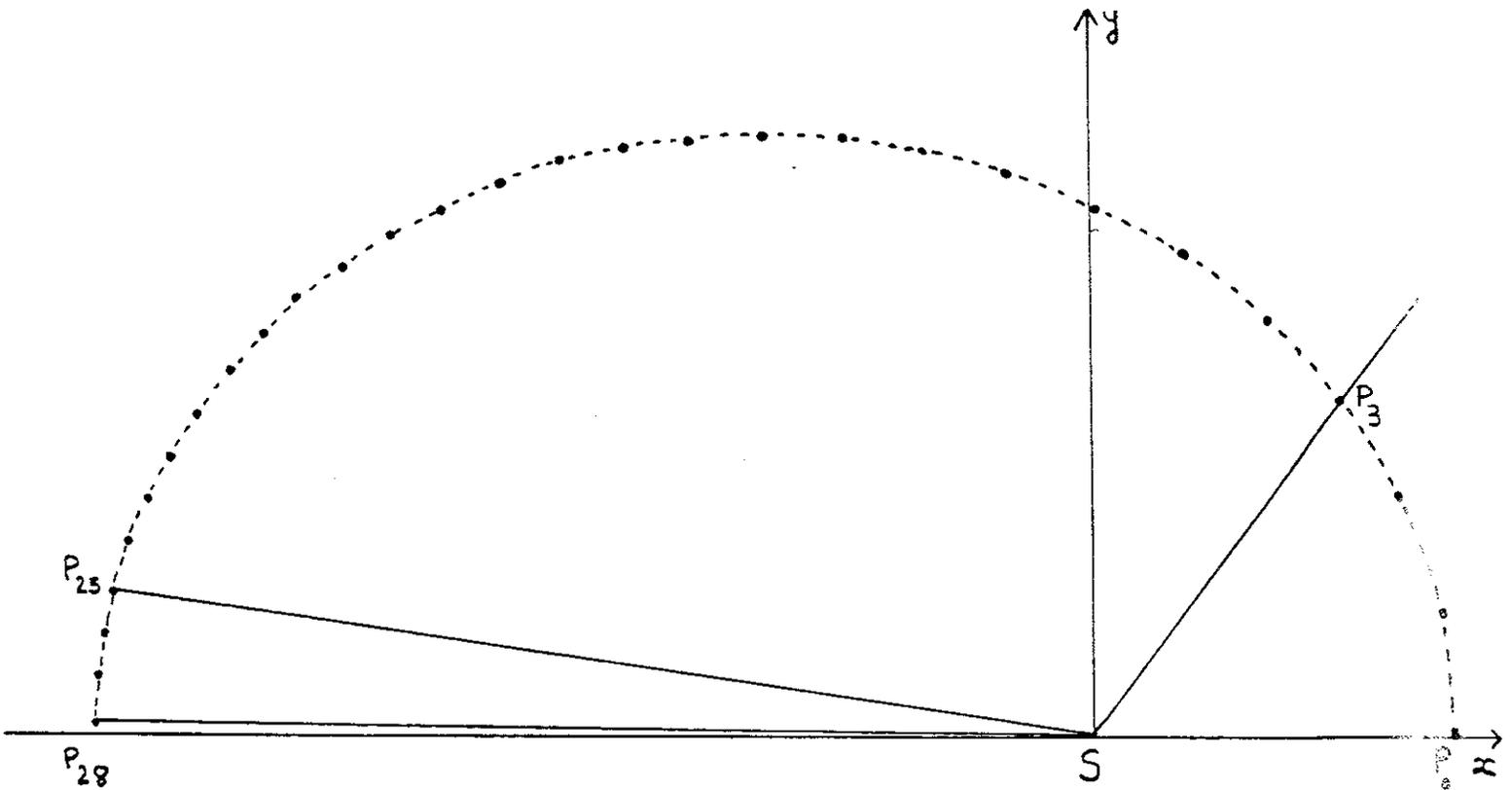
$x_0 = 0,5$  ;  $y_0 = 0$  ;  $v_{x_0} = 0$  ;  $v_{y_0} = 1,7$

x	0,5	0,480	0,423	0,339	0,237	0,125	0,009	-0,106	-0,22	-0,33
y	0	0,170	0,327	0,462	0,574	0,661	0,727	0,774	0,804	0,821
x	-0,435	-0,535	-0,630	-0,718	-0,801	-0,878	-0,948	-1,013	-1,072	-1,125
y	0,826	0,821	0,807	0,786	0,758	0,724	0,686	0,643	0,597	0,547
x	-1,173	-1,214	-1,251	-1,281	-1,306	-1,325	-1,339	-1,348	-1,351	
y	0,495	0,440	0,383	0,325	0,265	0,203	0,142	0,079	0,016	

Tableau 2

x	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
y	0,83	0,825	0,810	0,785	0,748	0,698	0,631	0,542	0,416	0,191

Figure 1



VERIFICATION DES LOIS DE KEPLER

a) On trace sur papier millimétré transparent "l'ellipse théorique" d'équation

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad \text{avec } a \text{ et } b \text{ déterminés sur la figure 1}$$

ici  $a = 0,925$  et  $b = 0,83$

La superposition avec la trajectoire expérimentale est très suggestive: le recouvrement est presque parfait (le dessin est très beau !)

b) Loi des aires

Entre  $P_0$  et  $P_3$  la surface balayée est environ:

$$\begin{aligned} \Delta S_1 &= SP_0 \times SP_3 \times \Theta \times \frac{\pi}{360} \\ &= 50 \times 57,5 \times 54 \times \frac{\pi}{360} = 1354,8 \text{ mm}^2 \approx 13,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Entre  $P_{25}$  et  $P_{28}$  elle est:

$$\Delta S_2 = 135 \times 57,5 \times 54 \times \frac{\pi}{360} = 1341,8 \text{ mm}^2 \approx 13,4 \text{ cm}^2$$

L'une et l'autre a été balayée en 3 pas (le balayage est régulier !)

c) Loi harmonique

La figure 1 montre que la demi ellipse expérimentale est parcourue en 28 pas environ soit  $T/2 = 2,8$  (car le pas est 0,1). Ainsi,  $T = 5,6$ .

La troisième loi de Kepler donne:  $T^2 / a^3 = \frac{4 \pi^2}{G (M + m)}$  ici  $T^2 = 4 \pi^2 a^3$

$$\text{et } T = 2 \pi a^{3/2} = 2 \pi (0,925)^{3/2} = 5,589$$

On voit que l'accord avec la loi harmonique est presque parfait (la musique est belle!)

REMARQUES COMPLEMENTAIRES

- On peut tracer de nombreuses trajectoires différentes avec la même méthode en modifiant les conditions initiales (position du point de lancement et vitesse de lancement).

- Les collègues physiciens qui enseignent en 2de pourraient faire tracer les vecteurs vitesses en différents points de l'ellipse.

- Examiner le cas où  $\vec{V}(0, \sqrt{2})$  et  $\vec{V}(0, 2)$   
si  $\vec{V} \perp SP$  et  $V = \sqrt{2}$ , la trajectoire est un cercle

si  $\sqrt{2} < V < 2$ , la trajectoire est une ellipse de foyer S proche de  $P_0$

si  $V > 2$ , la trajectoire est une hyperbole

si  $V < \sqrt{2}$ , la trajectoire est une ellipse de foyer S loin de  $P_0$ .

Chronique du CLEA

1. Stages académiques

Dresser un tableau aussi complet que possible des stages sur l'enseignement de l'astronomie organisés dans le cadre des Missions Académiques de Formation (MAF) serait fort utile pour tous nos lecteurs. C'est malheureusement difficile tant les situations sont variées d'une académie à une autre : académies où il y a des astronomes préoccupés par l'enseignement élémentaire de leur science, académies sans astronomes mais où beaucoup d'enseignants sont intéressés par l'astronomie, académies où l'on semble ignorer l'intérêt de l'astronomie. Le CLEA est bien placé pour centraliser cette information et aussi pour faciliter les liaisons entre astronomes et enseignants comme son nom le dit bien.

Il faudrait aussi distinguer ce qui a pu être réalisé dès cette première année des MAF (1982-83) et ce qui est effectivement projet pour l'année scolaire suivante. Citons avec joie les académies où, dès cette année, il y a eu des animations astronomiques : Aix-Marseille, Besançon, Bordeaux, Caen, Lyon, Montpellier, Orléans, Nantes, Reims, Strasbourg, Versailles (le stage d'Orsay). Si nous en oublions, écrivez-le nous.

Nous comptons aussi sur tous les adhérents du CLEA pour nous informer avec précision sur les projets en cours.

2. L'école d'été de Grasse (26 août-5 septembre 1983)

Il a fallu refuser plus de 80 candidatures tout en acceptant cent inscriptions ce qui est la limite des possibilités d'accueil et de bon fonctionnement de l'école elle-même.

Malheureusement, pas de prise en charge nationale des frais de déplacement et de séjour pour les participants, contrairement à ce qui nous avait été promis. Les participants sont donc invités à négocier avec la MAF de leur académie pour obtenir au moins un "ordre de mission".

3. Evaluation du "Starlab"

La mission du Musée de La Villette a confié au CLEA une mission d'évaluation du "Starlab", un stellarium portatif dans une structure gonflable, de fabrication américaine. Cela a permis une animation astronomique importante à Orsay, Meudon, Saint-Germain en Laye, Toulouse, Le Mans, Aix en Othe, Reims et Charleville. Nous aurons l'occasion d'en reparler dans les Cahiers.

4. Adhésions et abonnements

Au 30 avril, le CLEA comptait 430 adhérents. Au bout de trois mois de recrutement effectif, c'est un début ; nous devrions être mille à la rentrée d'automne.

Pour les Cahiers, il y avait 939 abonnés en fin d'abonnement avec le n°20. Il faut donc penser aux renouvellements et à la prospection de nouveaux abonnés. Des Collègues ont pris d'heureuses initiatives :

- grâce à J-M.Prime, instituteur à Chérancé, la Fédération des Oeuvres laïques de la Mayenne distribue le tract du CLEA dans toutes les écoles primaires du département ;



NOTIONS ELEMENTAIRES SUR L'ESPACE EN CM1

Cette expérience pédagogique a été réalisée avec 28 élèves de CM1 de l'Ecole du Roussillon par Madame Sarrazin, professeur d'Ecole Normale, et Madame Leclerc, Institutrice de la classe.

PREMIERE SEQUENCE : "DANS QUEL SENS TOURNE LA TERRE ?"

La maitresse (M) vérifie, grâce à quelques questions, que les élèves (E) savent bien que le Soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest. Cette notion, ainsi que le fait que la Terre tourne, sont bien connus des élèves.

M : *Et dans quel sens tourne la Terre ?*

Les réponses sont très contradictoires, fantaisistes, irréalistes.

*On pourrait le voir avec les nuages*

*Il faut aller dans l'espace*

M : *Mais où se lève le Soleil ?*

E (unanimes): *à l'est; la Terre tourne d'est en ouest.*

tous les enfants se trompent.

M : *essayons de nous représenter cela.*

Les E sont partagés en trois groupes; pour chaque groupe, le Soleil est un projecteur de diapositives qui éclaire un globe terrestre. La recherche est très active et les E font tous tourner le globe dans le mauvais sens.

La M leur fait localiser l'est (l'URSS) et l'ouest (l'océan Atlantique) par rapport à Limoges.

M : *Quand on va se baigner à Royan, où se couche le Soleil ?*

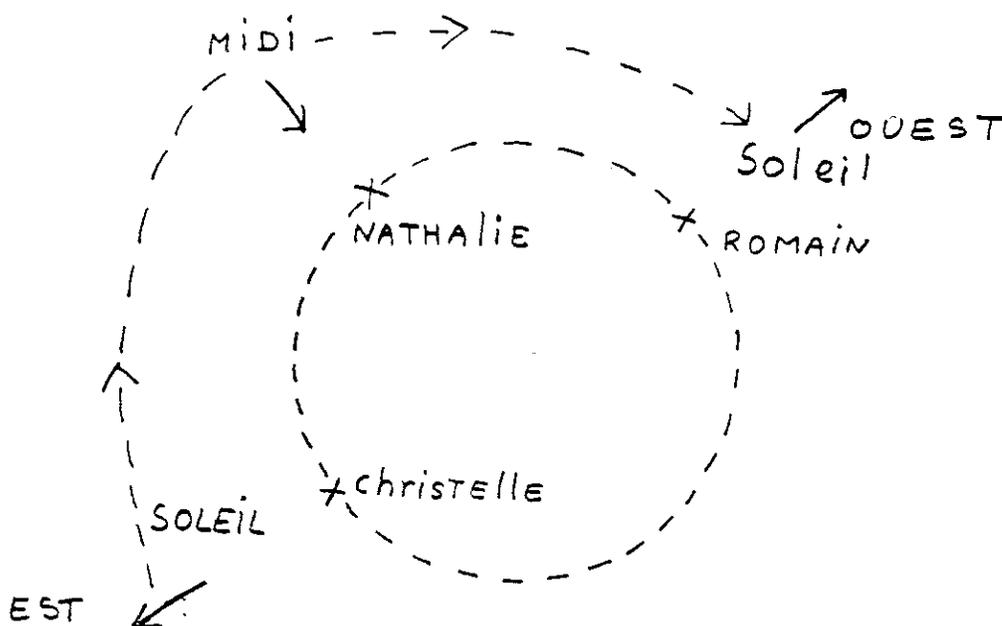
E : *Sur la mer.* Un E met le doigt sur Royan et fait remarquer qu'il faut alors tourner le globe d'ouest en est.

La M décide de vérifier si cette notion est bien acquise.

Les E forment une grande ronde dans la classe; cette ronde représente la Terre.

Un E représente le Soleil et se place dans un coin de la classe, en direction de l'est.

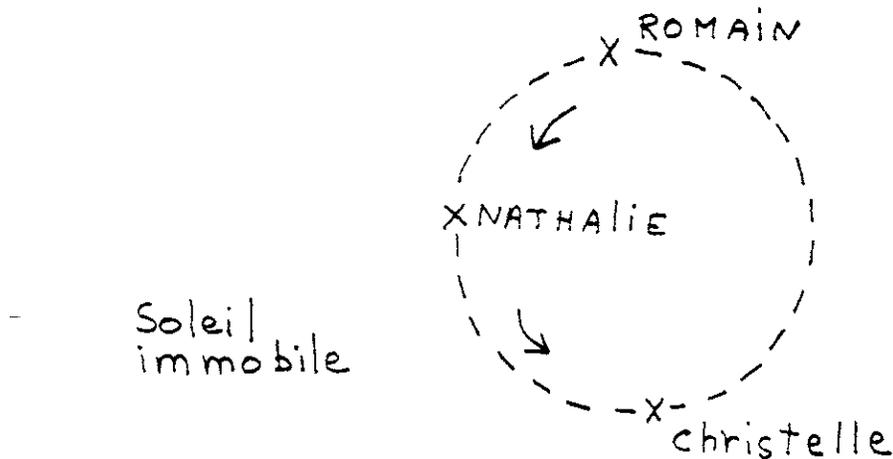
Puis il tourne pour se placer dans la direction de l'ouest tandis que la ronde est immobile. Au cours de son mouvement, il précise auprès de quel camarade il passe.



Les E sont ravis et suggèrent que le Soleil reste immobile, puisque c'est la Terre qui tourne

M : *Mais dans quel sens ?*

Les E réfléchissent très fort puis tournent dans le bon sens car il faut que Christelle, puis Nathalie, puis Romain passent successivement devant le Soleil.



DEUXIEME SEQUENCE : LES FUSEAUX HORAIRES.

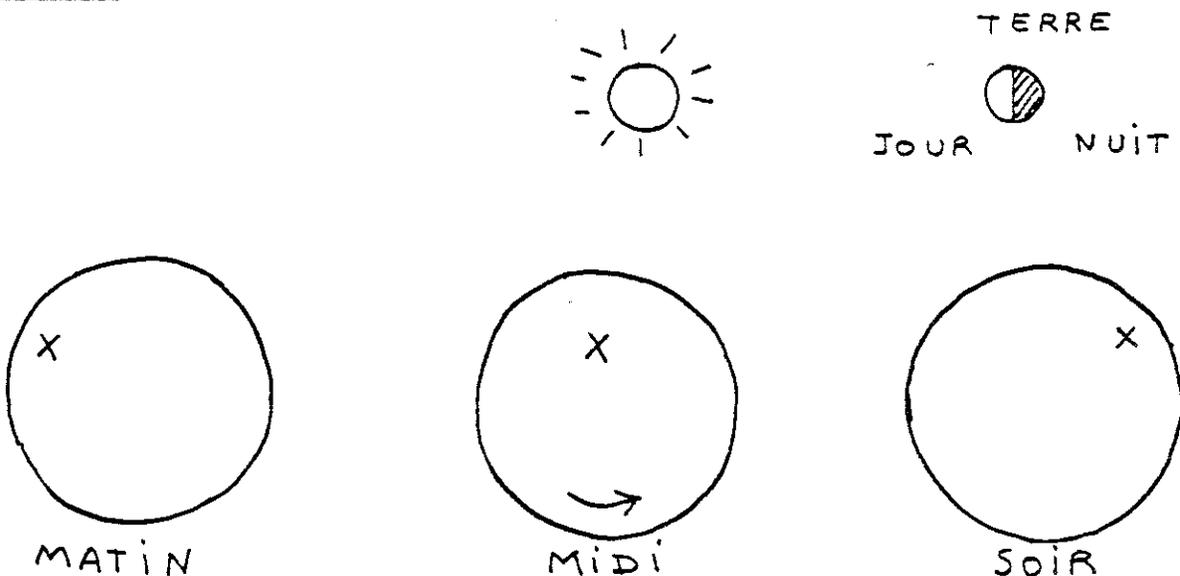
Matériel : globes - projecteurs de diapositives.

La M propose aux E de chercher quelle heure il est à New York, Moscou, Los Angeles, Changhaï, sachant qu'il est midi à Paris ; puis 19 heures à Paris.

Les E constatent qu'il faut ajouter les heures si les villes sont à l'est et les retrancher si les villes sont à l'ouest; qu'un fuseau horaire correspond à une heure. Le problème de changement de jour est également abordé.

Les réponses sont correctes et cette réflexion sur le sens de rotation de la Terre nous paraît être assimilée. Il faut reconnaître que cette notion de mouvement relatif est délicate, mais fondamentale: le Soleil a un mouvement apparent d'est en ouest mais c'est la Terre qui tourne d'ouest en est !

Trace écrite:



TROISIEME SEQUENCE : LES SAISONS.

Les E connaissent les caractéristiques des 4 saisons et ils expriment avec conviction leurs idées

E : - *Quand c'est l'été, la Terre est près du Soleil*

- quand c'est l'été chez nous, c'est l'été partout
- le Soleil ne peut pas être des deux côtés de la Terre en même temps
- quand c'est l'été en haut, c'est l'hiver en bas (du globe)

M: que se passe-t-il au pôle nord ?

E- il y a le Soleil de minuit

- il y fait nuit longtemps

M- et au pôle sud ?

E- il doit y faire plus chaud, puisque c'est au sud

Bref, ces réponses nous désarçonnent car nous ne savions pas que les E étaient aussi ignorants à ce sujet.

Avant de continuer la séquence, il faut que les E lisent des histoires dans lesquelles il est question de nuit polaire, climat au pôle sud...

LECTURES: "Croc Blanc", "l'appel de la forêt" de Jack London  
"Nomades du Nord" de J.O. Curwood  
"Ma petite amie des neiges" Paluel Marmont

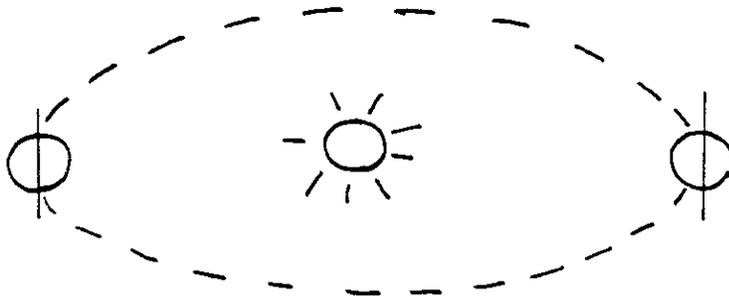
Les E ont donc lu qu'en hiver on ne voyait pas le Soleil au pôle nord et que, par contre, il ne se couchait pas en été ! Cela les passionne

M : on va essayer de voir de quelle manière la Terre bouge autour du Soleil

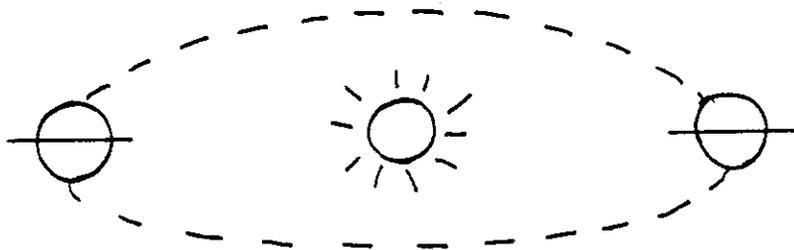
On décide que le Soleil sera le projecteur de diapositives au milieu de la classe (un élève va le tourner pour toujours éclairer la Terre). La M tient le globe et va tourner autour du Soleil. Elle place intentionnellement l'axe de la Terre vertical (cela ne choque personne). A chaque quart de tour, elle s'arrête et les E disent le nom de la saison. Puis un tour s'est écoulé.

E : un an est passé

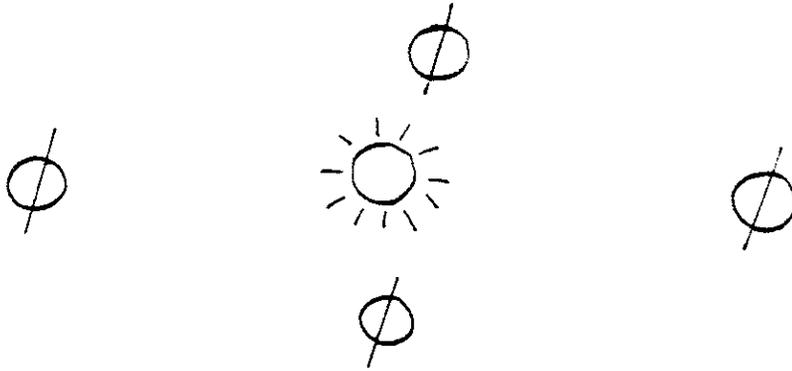
Recommençons: (les rideaux sont tirés, les E sont plus attentifs à la zone d'éclairage du Soleil sur le globe). Les remarques fusent: *le pôle nord est toujours éclairé* discussions intenses.



Changeons la direction de l'axe de rotation de la Terre; est-il horizontal ?



Vives protestations des E : *une partie de la Terre ne verrait jamais le Soleil !*  
Quelques E malins remarquent que l'axe de rotation du globe est incliné et proposent de faire tourner la Terre en le laissant incliné. Après quelques tâtonnements, on arrive au résultat !



Plusieurs tours sont effectués et, à chaque saison, les E vérifient comment s'est déplacée la zone d'éclairciment, en particulier aux pôles.

REMARQUE: le sens du mouvement de la Terre est le sens direct (sens inverse des aiguilles d'une montre). Les E ne peuvent pas le découvrir tous seuls.

#### COMPLEMENT D'INFORMATION:

L'axe des pôles de la Terre est incliné d'un angle de  $23^\circ$ . Si on prolongeait l'axe de rotation de la Terre au-delà du pôle nord, on arriverait à l'étoile polaire.

- comment reconnaître l'étoile polaire dans le ciel ? (en prolongeant 5 fois la distance séparant les "gardes" de la Grande Ourse).

#### QUATRIEME SEQUENCE : INEGALITE DES JOURS ET DES NUITS

Nous pensons qu'il faut insister sur cette notion d'autant plus que des petites vacances peut-être estompé quelques souvenirs. Les E ont, par groupe, un projecteur de diapositives et un globe.

M : *Limoges est-il éclairé de la même manière toute l'année*

Les recherches sont actives: une E tient le globe, un autre le projecteur de diapositives; chaque fois qu'un quart de cercle est effectué, l'E tenant le globe s'arrête et les E font tourner la Terre (dans le bon sens).

Les réponses fusent : Limoges est éclairé moins longtemps en hiver qu'en été !

- *les jours sont plus longs en été et les nuits plus courtes*
- *par contre, c'est le contraire dans l'hémisphère sud*

Nous pensons que pour démontrer pourquoi il fait moins chaud en hiver (alors que nous sommes plus près du Soleil) qu'en été, il faut constater les variations de l'ombre d'un piquet au cours de l'année et introduire ainsi la notion d'inclinaison des rayons lumineux.

Durant cette séquence, en joignant le projecteur de diapositives à Limoges au cours des 4 saisons les E comprennent que le Soleil est plus bas en hiver qu'en été. Nous nous contentons de cette constatation:

- *lorsque le Soleil est haut dans le ciel, il fait plus chaud que lorsqu'il est bas.*

#### CINQUIEME SEQUENCE : QUE SAVEZ-VOUS DES ETOILES ?

Nous décidons de laisser de côté les questions au sujet de la Lune qui fait l'objet d'observations (lorsque le temps le permet). Les E ont des connaissances très variées et très confuses sur l'univers

- *il y a des étoiles sur place et des filantes*
- *elles ont des flammes qui font des branches*
- *il y a des galaxies et des trous noirs*

M - *pourquoi voit-on les étoiles la nuit ?*

E - *la Lune les éclaire !!!*

Encore une fois, nous revoilà désarçonnées.

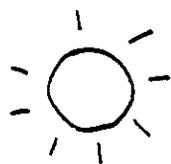
Il faut que les enfants vérifient que même quand la Lune n'est pas là on voit les étoiles.

E - *Les étoiles sont des boules de feu*  
- *des morceaux de Soleil*

M - *oui, il y a de grosses étoiles, bien plus grosses que le Soleil. Mais pourquoi paraissent-elles si petites*

E - *parce qu'elles sont loin*

Et si on dessinait le Soleil, la Terre et les étoiles ?

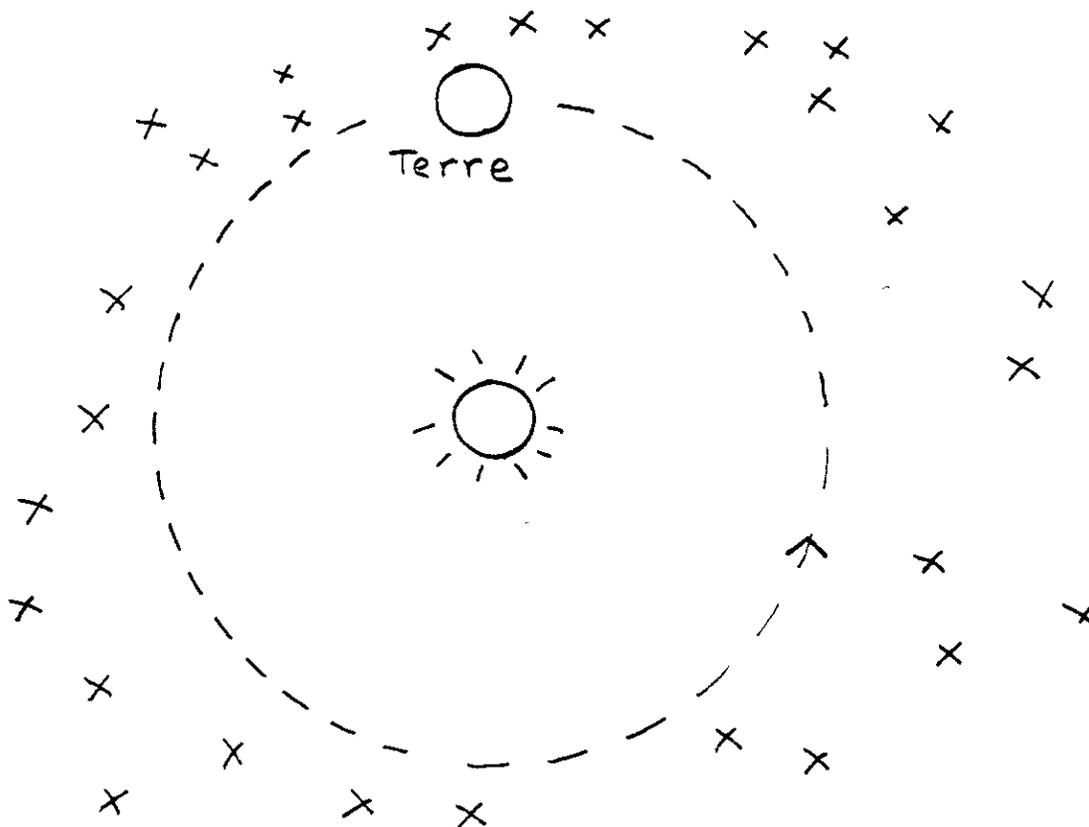


Etoiles

M - *rappelons-nous: que fait la Terre autour du Soleil ?*

E - *elle tourne*

E - *ah! oui: il y a des étoiles tout autour de la Terre !*



COURRIER DES LECTEURS

Calendriers et ordinateurs En premier lieu, une remarque ironique de Maurice Carmagnole à propos de son article sur le calendrier. Il imagine que la secrétaire des Cahiers Clairaut qui a tapé son article est anglaise puisque partout où il avait écrit "langage" elle a tapé "language". La vérité est que les Cahiers n'ont pas de secrétaire, que l'astronome qui a effectivement tapé la faute a subi la contamination de l'anglais qui sévit particulièrement en informatique, en rougit de honte et promet de ne plus jamais recommencer !

Carmagnole relève aussi p 17 de ce n°20 une coquille ; au lieu de  $\pi = 31$ , il fallait lire  $\pi \geq 31$  mais il ajoute "le lecteur qui n'aura pas rectifié de lui-même est prié de se borner à la lecture de Bécassine."

Un collègue, J.Couvret, qui enseigne à La Ferté Bernard, nous a envoyé depuis le programme qu'il a effectivement rédigé en ISE et qui lui a donné correctement les calendriers désirés. Nous l'avons mis en relation avec Carmagnole qui, lui, enseigne à Pierrefeu du Var : Normandie, Provence, mêmes calendriers !

Intérêt des clubs En nous adressant des articles sur des réalisations simples du club qu'il anime à l'Université du Maine, J-P.Rosenstiehl, professeur au lycée Montesquieu, Le Mans, nous écrit : "L'un des aspects les plus positifs, quand on s'occupe d'un club d'astronomie qui se réunit chaque semaine, c'est qu'on se trouve sans cesse confronté à des nouvelles questions (ou anciennes mais posées de façon différente !). La tendance naturelle, peut-être, est de spécialiser les activités dans des domaines où on cherche à aller le plus loin possible et de négliger quelque peu les premiers pas de ceux qui commencent à s'ouvrir à l'astronomie. Je crois qu'il ne faut pas avoir honte de faire des choses simples, nous aurions tort de les considérer comme simplistes, elles sont instructives pour tous."

La preuve, ce travail pratique simple sur le repérage de la polaire qu'on lira dans ce numéro.

Deux rectifications Dans le compte rendu de l'assemblée générale du CLEA, nous avons commis deux erreurs (au moins) que nous tenons à rectifier.

Notre amie Agnès Acker nous avait dit le succès des séances qu'elle organise au planétarium installé à l'observatoire de Strasbourg. Succès mesuré par l'affluence : chaque mois, 2500 élèves du secondaire et du primaire bénéficient de ces séances. Nous avons omis la mention "chaque mois" qui, justement, précise l'ampleur de cette activité remarquable.

Nous signalions par ailleurs que les astronomes du CERGA, au-dessus de Grasse, accueillent un mercredi par mois les instituteurs de la région. Il fallait mieux dire les enseignants, ce qui correspond tout à fait à notre idée de la formation continue : en réunissant des enseignants qui exercent aux divers niveaux, on fait mieux profiter chacun de l'expérience des autres.

Le centre culturel Camille Flammarion

La municipalité de Juvisy se propose de transformer l'ancienne propriété de Camille Flammarion en un centre culturel qui fera, évidemment, une place privilégiée à l'astronomie. Ce projet intéressera tous les lecteurs de l'Astronomie populaire qui auront plaisir à visiter ce centre comme les lecteurs de J.-H. Fabre visitant l'Harmas à Sérignan du Comtat. Fabre, Flammarion, Jean Rostand, Paul Couderc, des noms à rappeler aux personnes qui nient l'importance de la bonne vulgarisation scientifique.

Courrier divers

Loin de nous l'idée de nous plaindre de l'abondance du courrier reçu. Mais si nous apprécions tous les envois, nous regrettons de recevoir tant de demandes pour l'école d'été alors qu'il n'y a plus de place. Moralité : ne pas attendre la fin de janvier pour se renseigner.

Un regret plus terre à terre mais qui a son importance : ne pas oublier de joindre une enveloppe timbrée pour la réponse ; non seulement cela économise les maigres finances des Cahiers mais cela accélère l'expédition du courrier.

Citons aussi le cas de ce correspondant qui demande, pour une "bibliothèque privée" sur laquelle il ne donne aucun renseignement, le service gratuit des Cahiers. Il est probable que cette bibliothèque est pauvre, mais les Cahiers ne vivent que des abonnements de leurs lecteurs, dont beaucoup d'abonnements de soutien. C'est une règle saine du journalisme indépendant mais elle ne permet pas les services gratuits.

Il y a cinquante ans,

le 12 mars 1932 exactement, le Directeur de l'Observatoire de Paris, Ernest Esclagon, inaugurait l'horloge parlante qui a fonctionné sans interruption depuis lors. Mais, à mon avis, il ne faut pas tout à fait croire ce qu'elle dit. Si vous appelez 16 (1) 463 84 00, vous l'entendez qui déclare "au quatrième top, il sera exactement ..." En réalité, ne devrait-elle pas dire "au début du quatrième top, il sera, à un centième de seconde près, ..." Au centième près ou mieux, je ne sais pas. Mais, exactement, sûrement pas. [question posée par notre correspondant fervent de précision, K.Spié]

Il y a trois cents ans

"Picard et Römer avaient souvent proposé de déterminer les ascensions droites des astres par leurs passages à un grand quart de cercle mural placé dans le plan du méridien. Ce projet autant de fois abandonné que proposé fut enfin effectué au mois d'avril 1683 par les soins de La Hire. Quelques années après, Flamsteed fit exécuter un arc de cercle à peu près semblable dont il commença à se servir en 1689." A. Pingré ("Annales célestes du dix-septième siècle")

"Si les bergers Chaldéens avaient eu nos puissants télescopes, ils n'auraient rien appris de la science maîtresse. Il n'est pas bon que le pouvoir d'observer se développe plus vite que l'art d'interpréter." Alain (Propos sur l'éducation, LXI)

ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE

*Nous ouvrons aujourd'hui un "feuilleton de la cosmologie" que nous propose Henri Andriillat, professeur à l'Université de Montpellier et membre du CIEA. Il s'agit des textes de causeries radiophoniques, diffusées en 1973-1974 à l'occasion du 500ème anniversaire de la naissance de Nicolas Copernic. Et, pour commencer, nous reproduisons l'introduction écrite par H. Andriillat.*

\* \* \* \* \*

Si toutes les sciences de la nature contribuent à l'enrichissement de notre pensée philosophique, l'astronomie occupe de ce point de vue, parmi elles, une place de choix.

Au cours de la patiente histoire de la science, que de fausses évidences, profondément enracinées en nos esprits par notre intuition première des choses, n'a-t-il pas fallu détruire!

Il fallut à l'homme des millénaires pour découvrir qu'il ne vivait pas sur une terre plate et des siècles pour renoncer à l'idée que la terre était le centre fixe du monde.

En cette année 1973 du 500ème anniversaire de la naissance de Nicolas Copernic, quel plus bel hommage à rendre à l'astronome polonais que de décrire l'extraordinaire essor de la cosmologie moderne, qu'il avait rendu possible et qui, sous l'impulsion de la pensée d'Einstein d'une part, et grâce au perfectionnement des techniques d'observation d'autre part, devait bouleverser nos idées philosophiques sur l'espace, le temps, l'origine et le devenir de l'univers, la place de la vie et de la pensée.

Au cours de ces quelques articles, je voudrais essayer de rendre accessibles à tous la remarquable et exhaustive étude épistémologique de ces questions que Jacques Merleau-Ponty a publiée dans un livre dont je recommande la lecture aux plus avertis de nos lecteurs (Jacques Merleau-Ponty.- Cosmologie du XXème siècle Gallimard 1965). Puissent-ils y découvrir cet inégalable enrichissement qu'est la joie de connaître !

EN POLOGNE - SUR LES TRACES DE COPERNIC

En cette année 1973, au mois de septembre, la Pologne invita l'Union Astronomique Internationale à une Assemblée extraordinaire, tenue lors du 500ème anniversaire de la naissance de Nicolas Copernic.

Ce fut l'occasion de colloques très spécialisés traitant principalement de cosmologie et des développements les plus récents de la théorie de la relativité. Nous essayerons ultérieurement d'en dégager les idées les plus importantes. Mais parallèlement aux réunions scientifiques, les autorités polonaises organisèrent pour les congressistes un long périple, véritable pèlerinage dans les diverses villes où vécut Copernic. C'est à ce voyage culturel que je vous convie.

Lorsqu'on évoque le nom de Copernic, on se représente trop souvent l'illustre savant comme exclusivement préoccupé d'astronomie et de mathématiques et cette réputation est amplement justifiée. Après des siècles d'erreur où la théorie de Ptolémée considérait la terre comme le centre fixe du monde, autour duquel tournait même le soleil, quel courage et quel génie ne fallut-il pas en effet à Nicolas Copernic pour "arrêter le soleil et faire tourner la terre autour de lui"? La découverte copernicienne devait ouvrir la voie à toute la physique moderne, à la mécanique, à la cosmologie.

Mais pourtant, l'astronomie n'était pour Copernic qu'un objet de méditations philosophiques, à laquelle il consacra seulement le peu de loisirs que lui laissaient ses charges de Chancelier et d'Administrateur du Chapitre de Warmie.

C'est cette attachante et pittoresque région de la Pologne que nous eûmes le plaisir de découvrir.

C'est une région de collines boisées et de lacs qui contraste heureusement avec la monotonie habituelle de la plaine polonaise. Les échappées sur le littoral de la Baltique sont même parfois grandioses. Cette province résista longtemps à la cruauté et aux pillages des Chevaliers Teutoniques, dès leur intrusion en Pologne en 1226, sur l'ordre de Conrad de Masovie, qui voulait alors se défendre de la Tribu des Prusses.

C'est peut-être cette volonté d'indépendance farouche qui valut à la Warmie d'être érigée en diocèse par le Saint-Siège. Les évêques siégèrent à Lidzbark d'abord, à Frombork ensuite. C'est là que nous verrons Copernic méditer sur le système du monde, reprendre les observations des astres qui devaient lui permettre de corriger le calendrier de son siècle et découvrir enfin le mouvement de toutes les planètes autour du soleil.

Il était né le 19 février 1473 dans une riche maison bourgeoise de Torun et la vieille ville polonaise s'énorgueillit encore du bel hôtel de ville où le père de Copernic était échevin. La partie la plus ancienne de la ville nous livre l'évocation presque intacte du passé; ses places, ses ruelles étroites sont interdites à la circulation automobile et rien ne vient défigurer les belles façades gothiques des maisons anciennes. Ce n'est pas sans émotions que nous pénétrons dans celle qui vit naître Copernic. C'est maintenant un musée à sa mémoire, où l'on peut notamment admirer plusieurs portraits de lui qui ont donné lieu en cette année à des éditions de timbres qui font le bonheur des philatélistes. On ne quittera pas Torun sans une visite à la cathédrale Saint-Jean où il fut baptisé et qui fut sa première école. La ville moderne s'énorgueillit d'une grande université et d'un observatoire, tous deux dédiés à la mémoire de Copernic(\*).

L'illustre astronome poursuivit ses études à Cracovie, de 1491 à 1495 à la célèbre université Jagellonne. Par bonheur, les ravages de la dernière guerre épargnèrent Cracovie qui reste le joyau de la Pologne. Peut-être parce que, des luttes barbares livrées à l'Ordre Teutonique, il ne reste que de très rares vestiges, comme la formidable Barbacane ou la Porte Saint-Florian, on a l'impression que le souffle de la Renaissance n'a pas encore cessé sur Cracovie. Les anciens bâtiments gothiques qui font la gloire de l'ancienne capitale polonaise portent partout cette influence italienne, peut-être apportée pour la première fois par la reine Bona Sforza, épouse de Sigismond 1er qui fit reconstruire dans le style Renaissance le château royal du Wawel. La cour du Wawel est justement célèbre. C'était une cour de tournois, avec trois étages de galeries. Les Dames de la Cour y apparaissaient sous de belles rangées d'arcades, aux colonnades élancées, appuyées à de gracieuses balustrades de pierre ajourée. En fallait-il davantage pour que, dans toute la ville, le sévère gothique s'illuminaît, ici de balcons à colonnettes, de portails sculptés ou de fenêtres à meneaux, là de plafonds à caissons voulant imiter le célèbre plafond aux têtes du Wawel et pour que, sur les toits des anciennes constructions gothiques fleurissent les attiques Renaissance.

Copernic avait vingt ans quand, sous ses yeux, flamboyait cet âge d'or de Cracovie. Partout le renouveau fleurissait comme un printemps. Était-il atmosphère plus propice pour repenser le système du monde, pour arracher son secret au ciel, vers lequel les grandes flèches gothiques des cathédrales obligeaient sans cesse à lever le regard?

---

(\*) L'équipe de rédaction des Cahiers ne résiste pas au plaisir qu'elle a de mentionner que l'une de nos plus fidèles lectrices, Cecilia Iwaniszewska, est astronome à l'Observatoire Nicolas Copernic de Torun et professeur à l'Université de Torun. Membre dynamique du Comité d'Organisation de la Commission "Enseignement" de l'Union Astronomique Internationale, elle a assuré cet été à Patras une publicité (gratuite!) aux CC parmi les membres de la Commission... et offert son dernier exemplaire au collègue de Chine Populaire

La vieille université fondée en 1364 par Casimir le Grand fût détruite par un incendie. Dès 1492 elle fut reconstruite dans ce style Renaissance. C'est le "Collegium Maius" qu'on admire encore aujourd'hui et qui abrite les souvenirs les plus précieux de Copernic. Dans l'album studiorum, on peut lire encore les formalités d'inscription de l'étudiant Nicolas Copernic et le manuscrit inestimable du "De revolutionibus" s'y trouve conservé.

Copernic voulut achever ses études de mathématiques, d'astronomie et surtout de droit en Italie et il ne revint en Warmie qu'en 1503, après plusieurs années de séjour à Bologne, à Padoue et à Ferrare.

Elevé alors au grade de docteur en droit, il put s'initier à la vie politique de la province, en aidant, au titre de secrétaire, son oncle l'évêque de Warmie, qui résidait alors à Lidzbark. Ce château épiscopal est une lourde forteresse gothique et l'on comprend que, lorsque Copernic eut à son tour, en qualité de Chancelier, la charge du Chapitre de Warmie, il préférât s'installer à Frombork.

La cathédrale gothique est aussi entourée de hauts murs et de tours de défense mais, du haut des remparts, la vue s'étend, magnifique, sur une large baie qui va de l'embouchure de la Vistule à la Baltique. C'est dans ce décor, sans doute dans le logement que le chanoine Copernic occupait dans la tour d'angle, qu'il écrivit les six livres du "de revolutionibus". Peut-être même était-ce depuis cette tour qu'il effectuait parfois ses observations astronomiques pour confirmer sa nouvelle théorie. Il vécut là près de trente ans et c'est là qu'il mourût en 1543. Il fut enterré dans la cathédrale, sous les dalles d'une nef latérale. Mais l'invasion suédoise du XVIIème siècle détruisit une partie de la cathédrale aujourd'hui reconstruite et les fouilles les plus récentes ne permirent pas de mettre à jour le tombeau de Copernic.

Si Frombork devint ainsi la dernière résidence de Copernic, on retrouve encore sa trace au château d'Olsztyn où ses charges d'administrateur l'obligèrent à séjourner par deux fois de 1516 à 1519 puis de 1520 à 1521.

On revoit encore au château, la tourelle qui lui servait d'observatoire et, sur les murs d'une galerie, gravées de sa main, les trajectoires observées de l'image du soleil, jour par jour, au voisinage de l'équinoxe, qui lui permirent de rétablir le décalage du calendrier julien, pour pouvoir dater alors avec précision les événements principaux du mouvement des planètes..

Au château, Copernic habitait une chambre gothique que l'on visite encore aujourd'hui. Elle est sobrement décorée de quelques portraits et d'instruments astronomiques anciens. En son centre, un écritoire, une plume d'oie, un manuscrit inachevé semblent encore attendre l'entrée de l'astronome. La voûte gothique, façonnée en facettes, accroît l'impression du mystère.

La dernière page du grimoire ne sera jamais tournée.

H. Andrillat

\* \* \* \* \*

LES CAHIERS CLAIRAUT - Bulletin de liaison du CLEA

Directeur de la publication: L.Gouguenheim Université de Paris-Sud

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

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

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

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