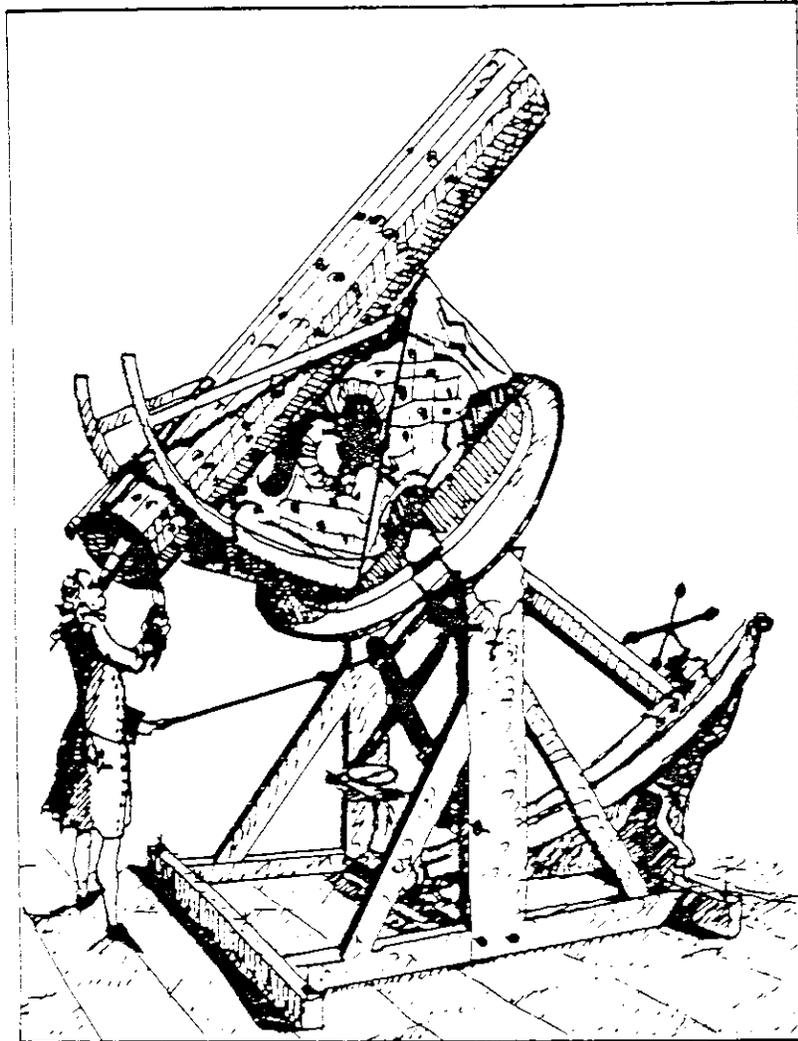


# les cahiers clairaut

bulletin du comité de liaison astronomes et enseignants



	page
Planétaire (suite et fin) .....	3
Courrier des lecteurs .....	6
Une lecture de Kepler .....	7
Lectures pour la Marquise .....	11
Mettez votre planétaire à l'heure .....	12
Réflexions autour d'une unité de formation optionnelle: astronomie .....	13
Les potins de la Voie Lactée .....	15
Semaine de planétologie .....	16
Astronomie et philosophie .....	19
Le cadran solaire de l'école de Soubise .....	21
Astronomie au CE1 .....	23
Exploitation d'une photographie du mouvement diurne .....	27
Chronique du CLEA .....	30
Ecole d'été 1984 .....	32
Assemblée Générale du CLEA .....	32
L'astronomie dans le calendrier des PTT .....	33
La mission de Pioneer 10 .....	34
Astronomie, mathématique et algorithme: I- Durée du jour et azimut du lever du Soleil .....	35

EDITORIAL

Nous poursuivons l'effort de diversification du contenu des Cahiers. Ce numéro voit l'ouverture d'une nouvelle rubrique: "les potins de la Voie Lactée" où nous entendons signaler brièvement quelques résultats de l'astronomie "en marche". Les rubriques concernant l'astronomie à l'école élémentaire se développent, grâce à l'apport de lecteurs qui nous ont adressé pour ce numéro deux articles intéressants concernant deux expériences, l'une en CE1 et l'autre en Ecole Normale.

Enfin, le CLEA est vivant et s'est manifesté par de nombreuses initiatives académiques portant sur la formation continue des maîtres que nous décrivons dans la "Chronique du CLEA" et dont une réussite particulièrement frappante est celle de Grenoble. Plusieurs planétarium "Starlab" sont en cours de financement, dans les académies de Bordeaux, Grenoble, Montpellier et Versailles.

La Rédaction

FICHE D'ADHESION AU CLEA (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: 20f ; abonnement seul (n° 21 à 24): 35f (soutien 70f)

abonnement et cotisation: 50f (soutien 80f)

prix de la collection complète des Cahiers Clairaut (n° 1 à 20): 120f

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

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

PLANETAIRE ( suite et fin )

REALISATION

1°) Le matériau: Le mieux et le plus simple est un tableau métallique en fer. Pour représenter les petites planètes on utilisera alors des boules de bois (par exemple celles des modèles de chimie) dans lesquelles on logera un petit aimant. Si l'on ne dispose pas d'un tel tableau, on peut utiliser un panneau en contre-plaqué d'un mètre de côté. Il faudra alors monter les boules de bois sur de petites tiges et percer dans le panneau, le long des orbites, tout un ensemble de trous, du diamètre des tiges, régulièrement espacés mais assez rapprochés: il faut être patient car cette technique nécessite près d'un millier de trous.

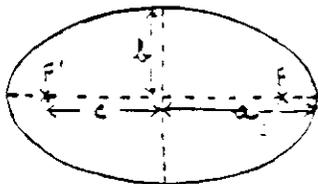
Pour les grosses planètes, Jupiter et Saturne, on pourra utiliser du polystyrène expansé, matériau qui se travaille bien et qui est léger.

Le Soleil, quant à lui, pourra être figuré par une ampoule électrique fixe au centre du tableau. Il est préférable d'utiliser une ampoule opaline et de recouvrir sa moitié supérieure d'une peinture métallique pour éviter l'éblouissement.

2°) Le repère héliocentrique: C'est un cercle de 14 cm environ de diamètre gradué en degrés dans le sens direct, centré sur le Soleil. Le zéro indique la direction du point  $\gamma$ . En raison des positions actuelles de Jupiter et de Saturne, il est commode de placer la direction 0° - 180° horizontalement avec la graduation zéro à gauche (les grosses planètes se trouveront au-dessus du tableau). Le tableau est vertical.

On fixe au centre de ce cercle gradué l'extrémité d'un fil qui, tendu en direction d'une planète, permettra de lire sa longitude héliocentrique.

3°) les trajectoires: Ce sont des ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers. Les caractéristiques de ces orbites ont été données dans le tableau n°1 (voir n° 22 des Cahiers). Remarquons tout d'abord qu'en raison de la faible valeur de l'excentricité de ces orbites, leur forme est celle d'une circonférence. En effet, si l'on appelle  $e$  l'excentricité d'une ellipse de demi grand axe  $a$  et de demi petit axe  $b$ , on a:



$$b / a = \sqrt{1 - e^2}$$

L'excentricité la plus forte est celle de l'orbite de Mercure, pour laquelle  $e = 0,2$ . On a alors  $b/a = 0,98$ , c'est-à-dire que si l'on prend  $a = 10$  cm, on trouve  $b = 9,8$  cm et l'on peut pratiquement confondre  $a$  et  $b$ .

Par contre la distance des foyers au centre de l'ellipse, que l'on appelle  $c$ , est telle que  $e = c/a$ . Pour l'orbite de Mercure, avec  $a = 10$  cm, cela donne  $c = 2$  cm, distance non négligeable.

On peut donc représenter les orbites des planètes par des cercles de rayon  $R$  mais dont les centres devront être placés à une distance  $c$  du centre du Soleil, dans une direction opposée à celle indiquée pour le périhélie dans le tableau n°1. Les valeurs de  $R$  et  $c$  sont indiquées dans le tableau suivant dans une échelle permettant de représenter commodément toutes les planètes visibles à l'oeil nu.

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne
R (cm)	10	19	26	40	135	248
c (cm)	2	0,11	0,42	3,7	6,5	13,6

Avec l'échelle adoptée, on voit que l'on peut représenter les orbites de Mercure, Vénus, la Terre et Mars sur le tableau et que l'on devra placer Jupiter et Saturne sur le mur au dessus du tableau, mais ceci n'est pas trop gênant étant donné que les périodes de ces deux dernières planètes sont grandes et donc que leurs déplacements sont lents.

Par contre, il serait bien difficile de placer les orbites de Uranus, Neptune et Pluton dont les rayons seraient respectivement de 5m, 7,8m et 10,2m. Mais ces planètes présentent moins d'intérêt puisqu'elles ne sont pas visibles à l'oeil nu.

A cette échelle, l'étoile la plus proche du Soleil,  $\alpha$  du Centaure serait à 70 km.

4°) Les planètes: Si l'on prenait l'échelle des orbites pour représenter les planètes, à partir des dimensions données dans le tableau n°1, on trouverait pour les rayons  $r$  des boules les valeurs suivantes:

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne
$r$ (cm)	$0,42 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$0,6 \cdot 10^{-3}$	$12,4 \cdot 10^{-3}$	$10,4 \cdot 10^{-3}$

On voit ainsi qu'il est impossible de représenter à la même échelle les orbites des planètes et leurs rayons. Il est pratique d'adopter pour les rayons des planètes une échelle 1000 fois supérieure à celle des orbites. Ce rapport de deux échelles simple mais grand, montre combien est faible l'espace occupé par les planètes dans l'Univers.

D'autre part, cette échelle fait apparaître nettement la différence de taille entre petites et grosses planètes: à première vue, la sphère de 25 cm de diamètre de Jupiter surprendra toujours, comparée à celle de Mercure, par exemple, dont le diamètre a moins de 1 cm.

5°) La Terre et le repère géocentrique: Pour la réalisation du repère géocentrique, on prend un disque de plexiglas de 7 cm environ que l'on pourra graver facilement avec une pointe métallique. Pour rendre ensuite les graduations visibles, il suffira de les teinter avec une encre de préférence indélébile.

a) Tracé de la graduation du disque: On trace sur le disque deux diamètres faisant entre eux un angle droit et on note à l'extrémité de l'un d'eux la graduation zéro.

On a dit précédemment que ce cercle serait gradué en ascensions droites; pour cela on trace les directions indiquées dans la colonne de la longitude écliptique  $\lambda$  du tableau de conversion ci-dessous, puis on numérote ces directions, dans le sens direct, avec les valeurs en regard de l'ascension droite  $\alpha$  ..

$\alpha$ (°)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$\lambda$ (°)	0	5,4	10,9	16,3	21,6	26,9	32,2	37,4	42,4	47,5	52,4	57,3	62,1
$\alpha$	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	
$\lambda$	66,8	71,5	76,2	80,8	85,4	90	94,6	99,2	103,8	108,5	113,2	117,9	
$\alpha$	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	
$\lambda$	122,7	127,6	132,5	137,6	142,6	147,8	153,1	158,4	163,7	169,1	174,6	180	

Il y a symétrie pour  $180^\circ < \alpha < 360^\circ$

Ce tableau a été construit en utilisant la relation:  $\text{tg } \alpha = \text{tg } \lambda \cos \varepsilon$  indiquée p. 10 du n° 22 des Cahiers.

Comme on exprime fréquemment les ascensions droites en heures on placera un trait en face de chaque graduation multiple de  $15^\circ$ . On obtiendra ainsi 24 traits que l'on numérotera de 0 à 23 heures, toujours évidemment dans le sens direct. On pourra rendre plus précise la graduation en partageant chaque intervalle d'une heure en deux ou même quatre parties égales indiquant les demi-heures et les quart d'heures.

Enfin, on inscrira sur le bord du disque les constellations du zodiaque ainsi que les signes à leur position donnée par le tableau n°3.

b) Mise en position du disque: Quelle que soit la position de la Terre, la graduation zéro du repère doit toujours rester dans la direction du point vernal  $\gamma$ . Cette direction ayant été choisie horizontale, le disque sera monté sur un petit roulement à bille et lesté convenablement en y plaçant une petite surcharge. Pour parfaire, lors de l'utilisation, l'orientation du disque, on place un petit fil à plomb attaché en un point de la direction  $90^\circ$ .

c) Graduation horaire: On a vu comment on peut calculer l'heure solaire du passage d'une planète dans le méridien d'un lieu à partir de la différence des ascensions droites de la planète et du Soleil. Ce calcul peut être remplacé par une lecture directe, si l'on ajoute sur la tige supportant la Terre un deuxième disque en plexiglas, indépendant du premier, divisé en 24 parties égales graduées en heures dans le sens direct. On oriente à la main ce disque de façon que 12 h indique la direction du Soleil; la graduation qui se trouve dans la direction de la planète donne l'heure de passage de celle-ci dans le méridien du lieu (il s'agit de l'heure solaire vraie locale).

Cette méthode plus rapide que le calcul présente cependant l'inconvénient d'être moins précise car le disque devrait être perpendiculaire aux méridiens c'est-à-dire dans le plan équatorial. Or on le place dans le plan de l'écliptique et on le gradue sans pouvoir faire la correction due à l'obliquité de l'écliptique sur l'équateur, comme on l'a

fait sur le disque précédent, car l'orientation de ce disque varie au cours de l'année (il fait un tour en un an). Toutefois l'erreur de lecture ainsi faite sur l'heure de passage d'une planète au méridien ne dépasse pas 10 minutes puisque sur le tableau de conversion ci-dessus l'écart maximal entre  $\alpha$  et  $\lambda$  est de  $2,5^\circ$  soit  $60 \times 2,5 / 15 = 10$  min.

d) Fil de visée : On attache à l'axe de la Terre un fil que l'on tendra à la main en direction d'une planète ou du Soleil, permettant ainsi la lecture sur l'une ou l'autre des deux graduations géocentriques précédentes.

6°) Position de la Terre chaque jour de l'année: On remarque que le tableau n°1 ne donne pas les longitudes héliocentriques de la Terre. Par contre, les Ephémérides donnent les ascensions droites du Soleil chaque jour de l'année. Pour trouver la position de la Terre à une date donnée, on peut donc utiliser le repère géocentrique en plaçant la Terre de façon que la graduation correspondant à l'ascension droite du Soleil à ce jour se trouve juste sous le fil de visée tendu en direction de celui-ci.

Toutefois la longitude héliocentrique de la Terre pour une date donnée varie peu d'une année à l'autre, il est donc commode de graduer l'orbite de la Terre de jour en jour. Pour cela on repère la position où se trouve la Terre le 21 mars jour de l'équinoxe de printemps: c'est le point de l'orbite qui est situé à l'opposé du point  $\gamma$ , puis on divise la trajectoire en segments correspondant par exemple à des déplacements effectués en 10 jours. Il est facile ensuite de diviser ces segments en 10 parties égales.

## UTILISATION

Présentation du système solaire: Le planétaire permet de montrer, chaque jour de l'année, la position des planètes sur leurs trajectoires et de reconnaître les positions remarquables: conjonctions, oppositions, quadratures, alignements.

Il est également utile pour faire prendre conscience des très petites dimensions des planètes par rapport aux distances qui les séparent et de rendre sensible le faible encombrement de l'espace interplanétaire.

Etude des mouvements apparents du Soleil et des planètes: C'est une application particulièrement intéressante du planétaire montrant le caractère fondamental du repère dans la définition d'un mouvement.

On montre facilement, grâce au repère géocentrique, le déplacement apparent annuel du Soleil dans le sens direct parmi les constellations du zodiaque. Comme nos horloges sont réglées sur le mouvement du Soleil (midi est l'instant de passage du Soleil au méridien du lieu) on explique ainsi pourquoi à une même heure de la nuit, on voit de jour en jour les étoiles se déplacer dans le sens rétrograde et décrire une circonférence complète ayant pour axe celui des pôles, en un an.

De même on peut suivre le cheminement d'une planète, constater qu'elle se déplace généralement aussi dans le sens direct parmi les constellations du zodiaque, mais qu'à certaines périodes ce mouvement semble s'arrêter pour devenir rétrograde puis reprendre ensuite dans le sens direct. On peut montrer que ceci se produit au moment d'une opposition pour les planètes supérieures et au moment d'une conjonction inférieure pour une planète inférieure.

Le tracé de la trajectoire apparente du Soleil et d'une planète peut faire l'objet d'un exercice pratique montrant que la trajectoire dépend du repère choisi et mettant en évidence de façon remarquable le mouvement rétrograde de la planète au moment où celle-ci passe le plus près de la Terre. Ce tracé permet également de déterminer sans calcul la période synodique de la planète.

Conditions de visibilité des planètes et des constellations du zodiaque: Le cercle horaire nous indique l'heure de passage d'une planète ou d'une constellation au méridien du lieu: on saura donc immédiatement si on pourra l'observer dans le ciel nocturne et quelles seront les heures approximatives de son lever et de son coucher.

## CONCLUSION

Ce planétaire permet d'expliquer simplement les mouvements apparents des planètes et de prévoir à quel moment on pourra les voir dans le ciel nocturne alors que ceci paraît généralement très mystérieux aux élèves. Sa mise à jour régulière est très rapide et facile. Il a donc sa place sur les murs d'une salle où les sciences physiques sont enseignées.

COURRIER DES LECTEURS

Le Club de l'Université du Maine

J.P. Rosenstiehl, principal animateur de ce club d'astronomie nous donne de bonnes nouvelles de ses activités. Une conférence publique par mois. Tous les quinze jours, une heure et demi d'astronomie sur les ondes de la radiolocale ALPA ; titre de l'émission "champ d'étoiles" ou chant, au choix ; on y traite aussi bien d'histoire de l'astronomie que de techniques d'observation. Mais, à ce propos, il n'y a pas qu'au Mans qu'il y a des radios locales... Membres du CLEA d'ici et d'ailleurs, pensez-y.

Rosenstiehl a d'autre part été chargé d'un enseignement d'astronomie à l'Ecole Normale du Mans dans le cadre du DEUG des élèves maîtres. Bravo pour toutes ces activités qui n'excluent pas, nous l'espérons bien, l'envoi de notes toujours bienvenues pour les Cahiers.

Glane Notre ami M.C. qui a toujours de bonne lecture a trouvé cette perle dans le gros livre "Choix d'oeuvres mathématiques" (Tome I, page 67 ; éd Hermann) par Jean Dieudonné:

"Il n'y a pas très longtemps, ouvrant le journal à Nice, j'ai appris qu'un jour, de bon matin, un nombre considérable de personnes avait téléphoné à l'Observatoire pour signaler un phénomène lumineux insolite : il s'agissait tout simplement de la planète Vénus qui se couchait."

Bref, même un grand mathématicien peut commettre une étourderie. Voici le commentaire de M.C.: "Sacrée Vénus qui se couche de bon matin ! Quest-ce donc qu'elle a f... cette nuit-là ?"

Une Expérience Lyonnaise: l'Astronomie dans les Ecoles Primaires.

Avant de décrire cette expérience il est bon de parler brièvement du club d'astronomie qui en est à l'origine: le Club d'Astronomie de Lyon Ampère compte aujourd'hui une soixantaine de membres et s'adresse tout particulièrement aux jeunes de plus de dix ans. Depuis toujours ce club mène une double action: développer l'astronomie d'une part, ce qui se concrétise cette année par la construction d'un observatoire, et faire connaître cette science au public d'autre part.

C'est cette seconde action qui fait l'objet de notre article. Au cours de l'année scolaire 1982-83 nous avons réalisé de nombreuses expositions et observations publiques dans des centres culturels ou des lieux publics. En voyant l'intérêt porté par les jeunes que nous avons pu rencontrer, nous avons décidé d'organiser de telles manifestations dans les écoles, à la demande des enseignants qui n'ont pas toujours le temps et les connaissances nécessaires. Dans le cadre de nos activités nous pouvons donc effectuer dans les établissements scolaires des exposés, débats, expositions ou observations publiques, le choix du contenu de l'animation étant fonction de l'âge du nombre des participants ainsi que de la durée souhaitée de celle-ci.

Une circulaire a été distribuée dans toutes les écoles de Lyon et des contacts ont été pris dès la rentrée scolaire, ce qui prouve l'intérêt que manifestent les enseignants pour cette initiative.

Nous espérons que cette expérience sera concluante et qu'elle se déroulera dans d'autres régions. Nous restons à la disposition de tous les enseignants lyonnais désireux de nous recevoir dans leur classe.

Jean-Baptiste Feldmann

(secrétaire du club d'astronomie de Lyon Ampère et élève instituteur à l'Ecole Normale)

Lecture de Kepler

Lire ou plutôt relire Kepler, est-ce vraiment intéressant ? Le sujet n'est-il pas connu, analysé, exploré dans tous ses détails depuis les travaux, entre autres, de Koyré (1) ou, plus récemment, le livre captivant de Gérard Simon (2) ? On peut prétendre que non : il est toujours instructif de revenir sur les premiers pas de la science moderne, ceux qui lui donnèrent son élan, son style, sa manière de chercher, d'équilibrer théorie et observation ou expérience. C'est aussi à partir de ces premiers temps que s'institue le fructueux dialogue entre savants aux conceptions diverses, confrontations qui font de l'histoire des sciences un patrimoine d'une extrême richesse. Tout comme celui des arts, patrimoine qui est bien celui de l'humanité toute entière.

Relisons donc Kepler, Galilée, Descartes et tous les autres peut-être moins glorieux. Mais les grands textes de Kepler ne sont pas de lecture facile. Longs et pas toujours limpides. Les traductions du latin en français par Jean Peyroux (3), seules disponibles pour le moment, aussi méritoires qu'elles soient, ne sont pas à l'abri de réserves de la part des spécialistes. Et puis, les grands ouvrages, "Astronomie nouvelle" et "L'Harmonie du Monde" sont si volumineux qu'il faut, objecteront certains collègues, être à la retraite pour s'y plonger...

Bref, j'avouerai ma prédilection pour deux textes courts dans lesquels la vivacité de l'esprit de Kepler ne paraît plus immédiatement sensible. L'un, "L'Étrenne ou la neige sexangulaire" (4), à partir de l'observation des cristaux de neige, donne les réflexions de Kepler sur la structure de la matière. Aussi originale que soit cette approche alors que la théorie atomique est encore loin de prendre sa forme moderne, cette "Étrenne" nous éloignerait trop de l'astronomie. Je me contenterai, pour le plaisir, de citer quelques lignes de la dédicace du livre à l'Empereur :

"Je ne suis pas sans savoir combien vous aimez le Rien... Quel que soit l'objet qui vous agrée comme évocation du Rien, il faut qu'il soit de mince importance, de petite taille, de prix minime, et qu'il ne soit guère durable, c'est à dire qu'il soit presque Rien..."

Pour justifier une recherche sur le fragile cristal de neige, voici une forme d'humour sans doute assez rare dans les mémoires scientifiques. Quelle serait la réaction de la Cour des Comptes à la lecture d'un rapport du CNRS sur Rien ?

Revenons plutôt à l'astronomie ; la "Conversation avec le messager céleste" nous y ramène, et de la meilleure façon (5). Texte savoureux écrit au fil de la plume en cinq jours et dans l'enthousiasme provoqué, chez Kepler, par la lecture du "Siderius Nuncius" de Galilée. Le texte de Kepler est admirablement traduit et annoté par un spécialiste d'histoire des sciences, Edward Rosen, professeur à la City University of New York. Malheureusement pour nous, Rosen a traduit l'original latin en anglais et je ne connais pas de traduction en français.

C'est à ce texte anglais que je me référerai dans la suite, essayant de traduire les quelques citations que j'en ferai. Puissè-je faire sentir au lecteur des Cahiers la vivacité des réactions de Kepler devant le texte de Galilée qui, lui, est plus facilement accessible au lecteur français(6). En suivant cette "conversation" par écrit, c'est un peu comme si nous assistions à un séminaire et qu'après l'exposé de Galilée, ce soit la réplique de Kepler que nous écoutons. Ce n'est pas tous les jours qu'on peut assister à un dialogue entre deux savants de cette taille.

Les circonstances Nous sommes donc en 1610. Kepler occupe la charge de "mathématicien impérial" à Prague à la cour de Rodolphe II. Un prince qui, à la mode du temps, s'intéresse un peu aux sciences et qui a eu le grand mérite d'accueillir et de protéger Tycho Brahé puis Kepler quand l'un et l'autre devaient trouver refuge contre la persécution. Il était donc tout naturel que Kepler lui ait dédié son "Astronomie nouvelle" et tout dernièrement sa curieuse "Etrene".

Pendant ce temps, Galilée a commencé à observer le ciel avec ses nouveaux instruments ; il a découvert des merveilles ; il a publié, vite et bien, ce "Sidereus Nuncius" qu'il faut traduire "Message céleste" mais que l'on peut feindre de comprendre, comme le fait Kepler, "Messager céleste" avec une trace de galanterie.

Le premier exemplaire, destiné à l'Empereur, parvient à son destinataire au début d'avril 1610. Rodolphe demande aussitôt à Kepler de lui dire ce qu'il en pense. Mais Galilée est encore plus impatient de connaître l'avis de Kepler ; il charge l'ambassadeur de Toscane à Prague de remettre un exemplaire en mains propres à Kepler, ce qui est fait le 8 avril ; et le 13, l'ambassadeur presse Kepler de lui donner sa réponse le 19 jour du départ du courrier pour Florence.

Kepler est bousculé mais il réagit bien et en cinq jours il rédige cette lettre à Galilée, cette "Conversation avec le Messager céleste", parce que, de toute évidence, il éprouve un grand plaisir à dialoguer avec un savant comme Galilée.

Cela n'empêche pas quelques petits mouvements d'humeur. Kepler était en effet impatient d'avoir l'avis de Galilée sur son "Astronomie nouvelle". Mais, déjà en 1595, il lui avait adressé son "Mystère cosmographique" et Galilée n'avait jamais répondu. De même, et c'est plus surprenant, aucune réaction devant l'Astronomie nouvelle. Cependant, aujourd'hui (en avril 1610), ces petites rancœurs d'amour propre sont vite balayées, les découvertes annoncées par Galilée sont trop importantes pour n'être pas examinées et discutées très attentivement par un homme comme Kepler qui en mesure bien la portée.

Le texte Kepler est d'autant plus heureux de lire le "Sidereus Nuncius" que ce qu'on lui avait raconté des découvertes de Galilée le déconcertait. Ne parlait-on pas de quatre nouvelles planètes ? Or son ingénieux système des polyèdres réguliers exposé dans le "Mystère cosmographique" ne permettait l'exis-

tence qu'à six planètes. Il faut se méfier des informations de seconde main. Au contraire, on peut faire confiance à Galilée qui n'est pas homme à dire autre chose que ce qu'il a dûment observé. Son témoignage est valable, son livre participe au bon combat contre la doctrine figée des traditionalistes.

D'ailleurs l'idée des quatre satellites de Jupiter, l'idée non l'existence, enchante Kepler. La Lune satellite de la Terre n'est plus un cas unique dans le système solaire. Pourquoi ne découvrirait-on pas des satellites autour de Saturne, de Mars et de Vénus ? Le Cardinal Nicolas de Cusa et Giordano Bruno n'ont-ils pas avancé l'idée de la pluralité des mondes ?

Si j'avais une lunette, ajoute Kepler, peut-être découvrirais-je deux satellites à Mars et six ou huit à Saturne ... un peut-être à Vénus et à Mercure. On notera le curieux pronostic des deux satellites de Mars, idée reprise par Swift au XVIII<sup>ème</sup> siècle ; Kepler serait donc, sur ce point, le premier à avoir prédit juste !

Ceci dit, suivons pas à pas l'analyse du Sidereus telle que la mène Kepler.

La lunette La première partie du S.N. (Sidereus Nuncius) traite de la lunette. À quoi correspond la partie IV de la "Conversation". Les parties I, II et III racontent les circonstances résumées ci-dessus et expliquent pourquoi K (Kepler) s'est finalement résolu à éditer sa lettre à Galilée : c'était une façon commode de donner à tous ceux qui le lui demandaient son avis sur le S.N.

Tout d'abord, K nous rappelle que dans son optique (les "Compléments à Vitellion" ont paru en 1604), il donne tout ce qui permet d'expliquer le fonctionnement de la lunette. Il a en effet dégagé la notion de rayon lumineux émis par la source lumineuse et non par l'oeil qui le perçoit, rayon qui se propage en ligne droite, aux réfractions près.

"Je ne cite pas ces références à mes propres travaux, ajoute-t-il, pour diminuer le mérite de l'inventeur de la lunette [ qu'il soit Della Porta ou qui d'autre] Je suis bien conscient de la différence qu'il y a entre la spéculation théorique et l'expérience visuelle, entre la discussion de Ptolémée sur les antipodes [non, dit Rosen, ce n'est pas dans Ptolémée, c'est dans Plin] et la découverte du Nouveau Monde par Christophe Colomb et, de même, entre n'importe quel tube à deux lentilles et l'instrument avec lequel, vous, Galilée, avez percé les cieux."

Lui-même, quand il avait appris l'invention de Della Porta, il avait imaginé de s'en servir pour observer le ciel mais une idée a priori l'en avait empêché : il pensait que l'air était dense et d'autant plus bleu qu'on regardait plus loin ce qui devait déformer les images. Idée curieuse car, enfin, à l'oeil nu, les étoiles sont bien visibles ! Kepler admire donc Galilée d'avoir osé tourner la lunette vers le ciel et

il reconnaît rétrospectivement que l'air est incroyablement tenu ; en 1618, il écrira même que l'espace qui nous sépare des étoiles est vide (son argument : si l'éther avait la moindre densité, la lumière des astres lointains serait éteinte et ne pourrait nous parvenir).

K discute ensuite de la possibilité de corriger les aberrations, soit par une autre taille des lentilles, soit par l'adjonction de lentilles supplémentaires. Il y a là deux pages un peu techniques qui intéressent les historiens de l'optique.

Kepler en arrive aux utilisations astronomiques de la lunette. Il rappelle sa discussion avec Johannes Pistorius (7) qui pensait qu'un jour on trouverait le moyen d'améliorer la précision des mesures de Tycho Brahé. Lui, Kepler, ne le croyait pas, la précision atteinte par Tycho lui paraissant indépassable. Aujourd'hui, il doit reconnaître que Pistorius avait en partie prédit vrai. Avec le sextant de Tycho, K avait pu montrer qu'à son coucher, le Soleil était relevé de 34' (première évaluation de la réfraction atmosphérique). Avec la lunette, dit Kepler, on doit pouvoir faire mieux.

Il imagine aussi qu'en mesurant avec plus de précision la portion de Lune assombrie lors d'une éclipse, il pourra améliorer les données sur les distances et les dimensions du Soleil et de la Lune. Ceci devait figurer dans un ouvrage intitulé "Hipparque", consacré à l'histoire de l'astronomie et que Kepler laissa inachevé à sa mort.

Avec la lunette, Kepler aurait pu mieux voir le transit de Mercure devant le Soleil qu'il prétendit avoir observé le 28 mai 1607. Galilée le contesta, sans doute avec raison ; K a dû confondre Mercure avec une tache solaire. On sait que la première observation d'un transit de Mercure fut obtenue par projection, avec une lunette, par Cassendi en 1631.

Enfin Kepler pense qu'avec une lunette on pourrait mesurer la parallaxe des comètes ce qui résoudrait, pense-t-il, le problème de la nature de ces objets, astres extérieurs à notre atmosphère ou météores ; à l'époque, on était loin d'être fixé (8).

Ceci dit, Kepler entreprend de discuter point à point les découvertes astronomiques annoncées par le Sidereus Nuncius. Si cela ne vous lasse pas, nous y reviendrons dans le prochain numéro des Cahiers.

K. Mizar

#### Notes

- (1) Alexandre KOYRE : "La Révolution astronomique, Copernic, Kepler, Borelli" ; 528 p, format 14/21 cm, broché ; éd Hermann, Paris 1961.
- (2) Gérard SIMON : "Kepler, astronome astrologue", collection Bibliothèque des sciences humaines ; 488 p, format 14/22 cm, broché ; éd Gallinard, Paris 1979.
- (3) Jean KEPLER : "Astronomie nouvelle", 452 p, format 20,5/29 cm, broché ; "L'Harmonie du Monde", 428 p, même format, broché ; éd Blanchard, Paris 1979.

- (4) Johann KEPLER : "L'Étrenne ou la neige sexangulaire", traduction du latin en français par Robert Halleux ; 170 p, format 13,5/21,5 cm, broché, éd Vrin, Paris 1975.
- (5) Edward ROSEN : "Kepler's conversation with Galileo Sidereal Messenger", traduction du latin en anglais, avec notes; 164 p format 14/22 cm ; relié ; éd Johnson reprint corporation, New York, 1965.
- (6) GALILÉE : "Sidereus Nuncius, le message céleste"; traduction du latin en français par Emile Namer ; 128 p format 13,5/21 cm broché ; éd Gauthier-Villars, Paris 1964.
- (7) Johannes Pistorius (1546-1608) était un savant pragois plutôt orienté vers l'histoire et la théologie. Catholique militant, il eut de nombreux échanges avec Kepler qu'il aurait voulu convertir. Curieux esprit, ce Pistorius ; il écrivit un gros livre d'astrologie, il était fort versé sur la Cabale et il écrivit plusieurs ouvrages de médecine. Ne serait-ce que par ses interventions auprès de l'empereur Rodolphe en faveur de Kepler, il méritait que nous citions son nom.
- (8) Voir en particulier sur ce sujet le beau livre "The Controversy on the comets of 1618" qui contient des textes de Galilée, de Horation Grassi, de Mario Guiducci et de Kepler traduits du latin en anglais par S.Drake, et C.D.O'Malley ; 380 p , format 14/21 cm; relié ; éd University of Pennsylvania Press, Philadelphia 1960.

---

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

Il y a des périodes où seulement les gros livres apaisent notre soif de lecture ; d'autres périodes, au contraire, ce sont des ouvrages plus courts, des articles de revue qui, par leur diversité, leur caractère plus incisif peut-être, composent ce que les gastronomes appelleraient un menu composite de saison. Tel est le cas pour ce numéro des Cahiers.

Mon premier livre de physique par Michel FOULMONDE ; 46 p, format 19,5/25 cm, cartonné ; illustrations en couleurs de Andrée Bienfait ; éd Etudes Vivantes-Epigones, Paris 1985. niveau I classe A

Dans le Cahier 21, j'ai dit tout le bien que je pensais du "Premier livre d'astronomie" par le même auteur, professeur à l'Ecole Normale d'Etioilles. Avec la même réussite, il conduit ses jeunes lecteurs à la découverte de la physique. Non pour leur faire apprendre par coeur des définitions plus ou moins compréhensibles, mais en leur proposant des expériences simples, à réaliser avec un matériel courant comme on en trouve dans toutes les maisons. Comme il a aussi la bonne idée de rappeler au bon moment l'exemple de quelques savants, son livre, illustré d'images simples et claires, participe à une véritable formation culturelle.

Quelques exemples. La chaleur : mélange de récipients de capacités égales ou non à des températures différentes ; fonte des glaçons et effet de la pression ; applications au

fonctionnement du réfrigérateur, de l'autocuiseur ou du patin à glace. La lumière : la réflexion et le Kaléidoscope, la réfraction et le principe de Fermat, la loupe et l'appareil de photo, le télescope de Newton. L'astronomie est souvent présente et pas seulement dans le chapitre sur le système solaire.

Aux grincheux qui disent que les activités d'éveil sont trop souvent endormantes, je leur conseille de s'inspirer de ce livre qui, avec le premier livre d'astronomie, leur évitera tout engourdissement intempestif.

#### Des exercices d'astronomie

Une bonne surprise m'était réservée quand j'ai ouvert le nouveau manuel de mathématiques pour les Terminales C et E rédigé par une équipe de l'IREM de Strasbourg (éd ISIRA). Dans le tome "Analyse et statistiques", je trouve plusieurs exercices d'astronomie proposés par Agnès Acker et l'équipe ERTEA que nous connaissons bien.

Dans le chapitre sur la fonction exponentielle, une étude des lois du rayonnement stellaire. Dans le chapitre sur les logarithmes, une étude des magnitudes d'étoiles simples ou doubles et une jolie présentation de la loi de Bode que je reproduis partiellement :

- première formule  $a_1 = (n_1 + 4)/10$
  - deuxième formule  $a_2 = 0,4 + 0,3 \times 2^{n_2}$
  - troisième formule  $\log a_3 = 0,24 [(n_3 - 3) + 0,3 \sin n_3 \cdot 60^\circ]$
- Le livre donne les valeurs à choisir pour les indices  $n_1$ ,  $n_2$  et  $n_3$  respectivement, mais je trouve plus amusant de vous laisser les deviner. Et conclure.

#### "Le mètre est mort, vive la lumière"

Tel est le titre d'un article très remarquable du Professeur C. RUHLA de l'Université Claude-Bernard (Lyon 1), paru dans le Bulletin de l'Union des Physiciens (n°655, juin 1983).

L'histoire des systèmes d'unités, les étalons de longueur et de temps en particulier, est passée en revue. Avec de nombreuses remarques fort pertinentes (exemple, cette phrase sur les marées : "Il existe deux bourrelets océaniques l'un dirigé vers la Lune, l'autre dans la direction opposée, et la Terre tourne à l'intérieur de ces deux bourrelets qui agissent comme des patins de frein.") Après l'ère classique, l'ère atomique et enfin celle du laser. Pour aboutir enfin à la révolution de 1983 avec le choix comme étalon, non d'une longueur, mais de la vitesse de la lumière dans le vide : le système CKS. Dans lequel l'équation aux dimensions du travail s'écrit  $[W] = [M][C]^2$ . Vous admettrez que si ce n'est pas miraculeux, c'est sécurisant ; comme l'écrit Ruhla "Einstein avec nous !" [Les astronomes pointilleux ou maniaques relèveront dans la rédaction de Ruhla trois expressions malheureuses ; elles n'enlèvent rien à la valeur de l'ensemble.]

G. Walusinski

\* \* \* \* \*  
METTEZ VOTRE PLANETAIRE A L'HEURE

Au 1er janvier 1984, les longitudes héliocentriques des planètes seront les suivantes :  
Mercure: 105,7°; Vénus: 178,7°; Mars: 172,0°; Jupiter: 263,3°; Saturne: 219,1°.

REFLEXIONS AUTOUR D'UNE UNITE DE FORMATION OPTIONNELLE  
ASTRONOMIE

Au delà de son intérêt premier, à savoir accéder à une plus grande connaissance de notre univers, l'enseignement d'astronomie nous a semblé riche d'autres potentialités pour les futurs pédagogues que sont nos élèves. Ce sont ces potentialités, "à creuser", que nous voudrions évoquer, après un descriptif sommaire de l'unité de formation.

1-DESCRIPTIF SOMMAIRE:

D'une durée de 60 heures, l'UF s'est équilibrée autour de trois grandes préoccupations:

1-1) Apports visant à la restructuration des connaissances sur notre univers (cours et TD).

- a)- Les objets de l'univers: caractéristiques et distances. L'histoire de l'astronomie: des débuts à Newton.
- b)-La mécanique du système solaire: gravitation, lois de Kepler, repérage d'un point dans l'univers.
- c)-Les rayonnements: quelques éléments
- d)-La cosmologie: origine du système solaire, évolution de l'univers depuis le big bang.

1-2) Prise en charge par les normaliens de tâches bien déterminées:

- a)-Approfondissement des thèmes: les satellites, les caractéristiques des planètes, les OVNI, l'astrologie, l'évolution d'une étoile, le futur de l'astronomie, exobiologie, les livres d'astronomie pour enfants, l'astronomie à l'école primaire.
- b)-Préparation de visite: CNES
- c)-Réalisation de maquettes ou d'instruments: système solaire, planétaire, phases de la lune, héliographe, cadrans solaires, nocturlabes.

1-3) Observations nocturnes: oeil nu et instruments (trop réduite, trop peu exploitées pour des impératifs horaires...)

2-QUELQUES REFLEXIONS VARIEES:

2-1)Astronomie et espace: la troisième dimension a toujours été difficile à intégrer, aussi bien pour l'enfant, dans sa maîtrise du monde environnant, que pour l'adulte dans ses représentations utilitaires quotidiennes, représentations tant mentales que matérialisées par une maquette ou un dessin sur un plan. Bien que la description de l'espace en astronomie soit à la fois plus conceptualisée et d'un modèle différent (le concept de distance n'est pas aussi prioritaire), c'est dans ce dernier cas (dessin sur un plan) qu'apparaît un aspect intéressant, voire formateur. Les plans particuliers sont légion en astronomie (équatorial, écliptique, méridien...) et la première difficulté consiste à leur mise en place dans l'esprit de chacun. A la suite de quoi, voire en même temps, il faut choisir un plan pertinent pour la représentation d'un phénomène qui a lieu dans l'espace (par pertinent, il faut entendre qui rend compte du maximum d'aspects du phénomène observé).

La présentation immédiate des schémas "explicatifs" courants puisés dans les ouvrages habituels, ne nous a pas paru à la longue très opérationnelle. Les évaluations formatives intermédiaires ont révélé que nos élèves étaient certes capables de reproduire ce type de schéma, mais non par exemple d'y intégrer des aspects supplémentaires. C'est par l'élaboration progressive de schémas dans divers plans (avec l'aide éventuelle de maquettes) que pourrait s'acquérir une meilleure maîtrise des phénomènes astronomiques, et plus généralement de l'espace et de ses représentations.

2-2) La présentation des connaissances: une des caractéristiques des sociétés évoluées est de multiplier à faible coût la masse d'information dont elle dispose, le tout étant rendu possible par des moyens de transmission et la mémorisation sans précédent.

L'information est donc en passe de devenir l'élément prépondérant de cette fin de siècle et son accès se doit d'être rapide et si possible agréable.

Les travaux personnels réalisés par nos élèves nous ont permis d'attirer leur attention sur la variété des supports (maquettes, interview, films, diapositives, documents de presse ou d'enfants, qui ne privilégient pas le traditionnel exposé oral ou écrit) en veillant toujours à rechercher une cohérence entre ces supports et l'objectif de l'information, ceci d'autant plus que les connaissances ne sont pas toujours évocatrices en elles-mêmes (distances énormes, échelles de temps difficiles à imaginer, termes scientifiques à l'aspect ésotérique... etc ...).

2-3) La restructuration de connaissances disciplinaires dans un contexte plus large: L'école donne traditionnellement la vision d'un monde fragmenté par les disciplines, et rarement l'occasion se présente de donner un éclairage multiple à un événement, surtout scientifique. Or l'astronomie se trouve être au carrefour des sciences, certes, mais aussi de la philosophie, de la technique, des arts... Présenter l'historique des débuts de l'astronomie en les reliant aux événements historiques, artistiques, scientifiques, économiques, techniques ... de la même époque permet de faire des rapprochements très suggestifs pour l'élaboration des connaissances. Mais encore faudrait-il que cette pratique se développe de façon que nos élèves, quel que soit leur âge, puissent discerner dans une série d'événements ceux qui sont déterminants. En ce qui nous concerne, nous intégrons cette pratique dans notre enseignement ou nos expérimentations depuis peu, mais elle nous semble riche de promesses.

C'est d'ailleurs dans cette perspective que le CDI de l'école a présenté une exposition sur le thème "astronomie", résultat d'une collaboration étroite entre la documentaliste, le CRDP, les classes de l'école annexe, les professeurs de diverses disciplines. Ainsi ont pu être présentés des secteurs tels que "astronomie et littérature", "astronomie et art" (philatélie, BD, peintres cosmiques...), productions de normaliens, "livres pour enfants". Ceci nous a valu de nous enrichir de nouveaux documents, en particulier venant des parents d'élèves des écoles concernées.

D'autre part ce type de travail nous paraît devoir contribuer à l'avènement d'une culture technique véritable qui permettra de transformer le regard désabusé porté sur les objets qui nous entourent en quelque chose de plus enthousiaste parce que plus complet.

2-4) Modèle et réalité: L'enfant aussi bien que l'adulte non averti confond souvent modèle permettant une explication scientifique et réalité. En tant que tel, le modèle est "vrai", donc explique tout et n'évolue pas. C'est là une représentation bien figée mais fréquente. A travers l'évolution des modèles du système solaire des cosmologies antiques à nos jours, on perçoit clairement le va-et-vient entre expérience et modélisation, va-et-vient qui fait avancer la connaissance. Apparaît aussi la possibilité d'utiliser un modèle plus ou moins approché en fonction du type de travail alors que la tendance générale est d'utiliser le modèle le plus performant. L'approximation héliocentrique circulaire suffit pour comprendre le mouvement rétrograde de certaines planètes. Elle ne suffit plus si on veut avoir la position précise de ces mêmes planètes. Cerner cette nuance fait prendre conscience de la différence entre réalité et modèle.

2-5) Mathématique et technologie: rendre l'enfant capable de quantifier des expériences par des mesures diverses fait partie des objectifs de l'école primaire, et par conséquent c'est une activité que l'on retrouve au niveau de la formation des normaliens. Les mesures astronomiques (essentiellement mesures d'angles, de distances et de temps) renouvellent considérablement l'attrait de ce secteur, entre autre par l'accès à des grandeurs qu'on n'imaginait pas pouvoir atteindre. La réalisation des "instruments" de mesure donne lieu de ce fait à des recherches technologiques et mathématiques avec un intérêt qui ne se départit jamais, recherches qui nous paraissent devoir être très formatrices tant pour l'adulte que pour l'enfant.

Cette activité offre de plus la possibilité de replacer ces instruments dans leur contexte historique et social, et de mesurer l'intérêt de la chose. La technologie a trop souvent analysé les objets en dehors de tout contexte - réduction pour le moins dommageable - pour ne pas manquer de signaler cette porte ouverte.

3 - CONCLUSION :

Les "thèmes" évoqués sommairement au cours de ces réflexions (structuration de l'espace, information, documentation, technologie ... ) nous tenaient déjà à coeur pour la plupart avant le déroulement de l'UF. Nous avons donc analysé cette UF sous un certain angle, et il est certain que d'autres thèmes doivent pouvoir être dégagés. L'astronomie paraît être une discipline mineure à l'heure actuelle. C'est difficile à admettre si l'on remarque que les astres font partie de notre environnement au même titre que les animaux ou les centrales nucléaires ... Ça le sera encore moins si l'on peut faire état sérieusement d'apports moins directs mais plus fondamentaux, comme notre modeste expérience nous le laisse entrevoir. C'est peut-être là une façon de réhabiliter cet enseignement.

Janine Duverneuil PEN Toulouse  
Patrice Venturini PEN Toulouse

\* \* \* \* \*

LES POTINS DE LA VOIE LACTEE

*Dans cette rubrique, nous désirons faire écho à des nouvelles de la science. En choisissant les travaux ou les découvertes qui peuvent trouver place dans notre enseignement. Par conséquent sans trop de technicité. Quant au titre de la rubrique, vous savez qu'il y a 25 siècles, on a prétendu que cette Voie Lactée, c'était bien le lait d'une déesse qui s'était répandu dans le ciel. Ce que nous raconterons ici, ce seront des potins, des nouvelles toutes fraîches qui, demain, peuvent être corrigées par de nouvelles découvertes. L'astronomie est une science vivante... Et la Voie Lactée, Galilée a bien vu que ce n'était pas du lait.*

RESPIRONS-NOUS L'AZOTE DES ENVELOPPES DE NOVAE ?

Selon un astronome américain, Robert E. Williams (Observatoire Steward de l'université d'Arizona), il y aurait une proportion inhabituelle d'azote dans les enveloppes éjectées autour d'une nova. C'est tout au moins ce qu'il a observé dans l'enveloppe de la nova CP Puppis dont l'explosion a été observée en 1942.

Selon un modèle généralement admis, l'explosion d'une nova serait due à un transfert de matière dans un système binaire serré, une étoile en train de devenir une géante rouge et une naine blanche très proche. Les régions externes de la géante sont attirées par l'attraction gravitationnelle intense de la naine blanche, formant autour d'elle un disque d'accrétion. Le gaz y est accéléré, atteint une très grande vitesse et entre en collision avec la surface de la naine blanche. D'où production d'énergie sous forme explosive: le gaz de la naine blanche étant dégénéré, la pression gazeuse y est indépendante de la température, le gaz ne peut modifier son état thermodynamique pour s'adapter à une augmentation de température et les réactions thermonucléaires s'emballent.

L'énergie libérée en quelques heures est considérable.

Williams a comparé le nombre de novae et de nébuleuses planétaires (une autre source d'éléments lourds dans le milieu interstellaire) dans les Nuages de Magellan et dans M31; il en déduit que la plus grande part de l'azote dans ces galaxies provient des novae.

S'il en est ainsi dans notre Galaxie, on pourrait prétendre que dans l'air que nous respirons, les quatre cinquième sont des effluves de novae. Mais Williams lui-même corrige cette assertion. Selon le modèle des explosions de novae, les deux isotopes 14 et 15 de l'azote sont en proportions semblables. Or, dans la Galaxie, leur proportion est comme 300 à 1. Alors ou bien les novae ne sont pas la source de notre azote ou bien le modèle des explosions de novae doit être révisé. La question reste pour nous passionnante car nous aimons respirer et les planètes aiment aussi l'azote.

William de Cirrus

SEMAINE DE PLANETOLOGIE

BRUXELLES - AOÛT 1983

A l'initiative de l'Association Internationale de Planétologie s'est tenue à Bruxelles une "semaine" du 8 au 13 août, avec le patronage de nombreux organismes scientifiques belges. René Dejaiffe, astronome à l'Observatoire Royal de Belgique, avait excellemment organisé ce colloque, malgré les irritants obstacles créés par les questions de visas et de devises. Cette remarque n'a rien à voir avec la planétologie, bien entendu, mais on ne dira jamais assez à quel point ces entraves gênent l'activité culturelle internationale.

Une géologie élargie.

Comme le nom l'indique assez clairement, la planétologie n'est autre chose qu'une géologie, étendue aux planètes et à leurs satellites. Certes, une telle étude n'avait pas attendu que le mot fût créé pour exister et se développer ; l'observation, visuelle ou photographique, la spectroscopie, la polarimétrie en avaient jeté les bases. Mais les résultats obtenus, bien que certains fussent déjà remarquables, apparaissent à présent presque dérisoires, quand ils ne sont pas infirmés, devant l'avalanche d'informations recueillies par l'exploration spatiale sous toutes ses formes. L'article que publiaient les numéros 7 et 8 des Cahiers Clairaut aurait été, il y a une vingtaine d'années, une révélation profondément perturbatrice pour les gens qui (comme moi) étaient censés enseigner la "cosmo". Et ce n'est pas une simple boutade de dire qu'après avoir affirmé : "Saturne est la seule planète ceinturée d'anneaux", on se demande plutôt aujourd'hui s'il existe vraiment des planètes dépourvues d'anneaux.

Je n'entreprendrai évidemment pas, dans le cadre de cet article, de relater dans le détail les communications fort diverses présentées au cours de cette réunion ; cela m'imposerait d'ailleurs une réflexion préalable qui risquerait d'être longue et ardue. J'essaierai seulement d'être fidèle à l'essentiel.

Une collecte d'observations.

Comme la géologie sa mère, la planétologie se fonde d'abord sur la collecte d'observations concernant le relief du sol, la composition chimique de ses éléments, leur texture, éventuellement l'atmosphère et ses mouvements (parfois très violents, comme sur Mars). On sait qu'elle a même essayé de détecter la vie, mais avec des résultats jusqu'ici décevants. Certaines de ces études sont ponctuelles, centrées systématiquement sur tel site d'atterrissage des engins américains ou soviétiques. D'autres essaient de découvrir des structures plus générales, embrassant de vastes régions comme les highlands de Vénus, voire la surface entière de la planète concernée : comment par exemple sont disposées les lignes de fracture de cette surface, comment se répartit la cratérisation. Des mesures de température, de rayonnement, de gravimétrie,

de magnétisme apportent les premiers renseignements sur l'état présumé de l'intérieur planétaire ; on se rappelle la surprise causée par la température superficielle de Jupiter, dont l'interprétation doit faire appel à des sources d'énergie internes. Ce sont les matériaux ainsi accumulés qui permettront un jour de dégager une vision d'ensemble ; du moins peut-on l'espérer.

#### Une interprétation diachronique.

Comme la géologie encore, la planétologie s'efforce de reconstituer, à partir des observations présentes, une histoire conjecturale de la planète. Chacun sait par exemple que les traces assez nettes d'érosion fluviatile sur Mars plaident en faveur d'une plus grande abondance d'eau dans le passé ; on se demande si certaines chaînes de montagnes sur Vénus n'auraient pas une origine tectonique de type compressif, etc. Et il semble bien que, dans leur vieille querelle au sujet de l'origine des cratères, "impactistes" et "volcanistes" puissent être renvoyés dos à dos. Le grand nombre d'énormes cratères sur la quasi-totalité des planètes ou satellites de type tellurique témoigne d'un intense bombardement météoritique, sans doute très ancien, et souligne du même coup le faible rôle joué par l'érosion sur ces planètes ; mais des activités d'ordre volcanique sont certainement responsables de cratères plus récents ; et l'éruption sur Io, saisie au vol par Voyager, ne laisse aucun doute sur le fait que cette activité n'est pas totalement éteinte.

Même de grands thèmes cosmogoniques ont pu être abordés au cours du colloque, comme une théorie tourbillonnaire de la formation du système solaire, ou la simulation en laboratoire de la synthèse et de l'évolution de la matière organique des chondrites carbonées.

#### Une géologie comparée.

La valeur propre des résultats ainsi engrangés est indéniable ; mais elle est encore accrue du fait que la géologie au sens strict avait été jusqu'ici une science confinée à notre Globe, sans possibilités sérieuses de comparaison. Or c'est cette comparaison qui est instructive, tant par les différences que par les analogies.

Ainsi les microtextures des régolithes lunaires entrent en général dans les types déjà connus sur la Terre, mais certaines n'avaient jamais été rencontrées chez nous : c'est un détail, mais il n'est pas sans importance. A une tout autre échelle, si la tectonique des plaques jouit d'une grande vogue dans la science actuelle de la Terre, elle ne paraît guère applicable aux autres planètes telluriques (sauf peut-être pour les chaînes plissées de Vénus ?). Dans un ordre d'idées voisin, les anomalies de pesanteur, beaucoup plus sensibles sur nombre d'autres planètes, font penser à des globes figés dans leur rigidité, alors que la Terre manifeste une plasticité suffisante pour s'adapter aux surfaces équipotentielles de sa pesanteur - et cela même à très grande profondeur, mais tout de même avec un retard de l'ordre de la dizaine de millions d'années dans le manteau inférieur ! Et il est vraisemblable qu'elle ne tourne pas tout-à-fait d'un bloc.

Au chapitre des ressemblances, j'avoue avoir entendu avec beaucoup de satisfaction la géophysicienne Nadezda Stovickova (Prague) exposer qu'en dépit de l'extrême diversité des conditions de surface et des agents tectoniques locaux, l'orientation générale des grandes structures semble étroitement gouvernée par la mécanique céleste via la rotation de la planète (c'est une de mes idées fixes).

#### Un peu d'épistémologie.

Il revenait à René Dejaiffe de souligner combien le "fait observationnel" a évolué. Naguère soumis presque exclusivement aux contraintes de la mécanique céleste, il a dû successivement satisfaire à celles de l'hydrodynamique, de la géologie, de l'astrophysique, de la géochimie, de la géochronologie, ainsi qu'à celles qui découlent de l'étude des météorites, de celle des abondances isotopiques... bref, nous nous trouvons devant "un des plus grands défis de synthèse scientifique, qui a nom la planétologie". Inutile de dire que des équipes pluridisciplinaires sont plus indispensables que jamais.

Même dans des domaines restreints et aisément mathématisables, le foisonnement des données requiert visiblement de puissants moyens de calcul. Cependant, je crois qu'il ne faut pas non plus décourager "l'amateur éclairé" - pourvu qu'il ait la sagesse de borner ses ambitions. Travaillant de longue date en amicale collaboration avec le géologue André Cailleux, président sortant de l'Association de Planétologie, j'avais fait pour cette "semaine" une très modeste étude sur l'équilibre interne de la Terre ; or, je me suis contenté de ma petite calculatrice programmable, déjà vieille de six ans, donc largement dépassée ! Quand on fait de la géologie, on ne doit pas craindre d'apporter même son petit caillou.

#### L'aspect "grand public".

En marge de la "semaine" mais en liaison avec elle, deux conférences ont attiré une nombreuse assistance bruxelloise, malgré les vacances et une diffusion tardive de l'information. Il faut dire que la causerie de Stephen Saunders (Jet Propulsion Laboratory) était illustrée par les photographies de grosses planètes, de satellites lointains, d'anneaux torsadés - déjà célèbres, mais qu'on ne se lasse pas d'admirer. De son côté, Audouin Dollfus (qu'il est inutile de présenter aux lecteurs français) en exposant les grandes interrogations de l'astronomie, a su faire partager son enthousiasme coutumier.

Cette vulgarisation de haut niveau, qui répond à l'attente d'un public plus nombreux qu'on ne pense, ne saurait être négligée par la science d'avant-garde : ne pas se cloîtrer dans un certain hermétisme est à la fois son intérêt et son devoir. On ne peut que féliciter l'Association Internationale de Planétologie d'agir en ce sens.

J.M. CHEVALLIER

ASTRONOMIE ET PHILOSOPHIE  
EINSTEIN ET LE CONCEPT D'UN UNIVERS FINI

Lorsqu'en 1919 Einstein entreprit la rédaction de ses "Considérations Cosmologiques", Hubble n'avait pas encore découvert le "Royaume des Galaxies", le monde cosmique s'identifiait avec notre propre Galaxie et sa diversité même excluait le concept précis d'univers qui devait résulter quelques années plus tard du principe d'uniformité.

Dans ces conditions le problème cosmologique n'était pas différent, par son esprit du moins, sinon par son échelle, de n'importe quel autre problème de mécanique céleste, science triomphante de la seconde moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle.

Dans un cadre rigide et infini (l'espace euclidien de la géométrie), le mathématicien savait définir le mouvement du point matériel par rapport à un temps absolu s'écoulant d'un passé infini à un futur infini. Par exemple, sous l'action de la force de gravitation, le mouvement des planètes, assimilées à des points matériels, était prédit avec une extraordinaire précision. Etendre cette dynamique newtonnienne à toutes les étoiles du ciel, la cosmologie d'alors n'avait pas d'autres prétention. Mais on remarquera que, dans cette attitude, fondamentalement, les concepts d'espace et de temps restaient des êtres mathématiques. Ils existaient a priori comme le décor du théâtre où allait se jouer l'aventure de l'existence universelle. Par là même, le temps et l'espace étaient infinis, a priori également comme les structures mathématiques censées les représenter, (représentation de l'espace par la géométrie "ouverte" d'Euclide, donc infinie et application de l'ensemble des instants cosmiques sur l'ensemble ordonné des nombres réels de  $-\infty$  à  $+\infty$ ).

S'il est vrai que le génie ressemble à une prémonition, telle semble bien la démarche intellectuelle d'Einstein qui, près de dix ans après la preuve que devait en apporter Hubble avec les clichés du Mont Wilson, posait comme préalable à ses "Considérations Cosmologiques", que malgré sa diversité apparente, l'univers à grande échelle *devait* être uniforme, à l'image d'un gaz, dont le désordre local des molécules n'interdit nullement de définir la densité, paramètre macroscopique qui apparaît alors constant et bien défini malgré les mouvements browniens internes.

Mais cette notion de densité uniforme de l'univers, que toutes les découvertes ultérieures de l'astrophysique devaient confirmer de façon éclatante, se heurtait alors à une irréductible difficulté dans la théorie cosmologique de la dynamique newtonnienne dont nous venons de parler.

D'après cette théorie, et dans le cas d'un milieu à densité uniforme, le potentiel de gravitation est défini par une célèbre relation, l'équation de Poisson. Cette équation montre alors très simplement que si le potentiel de gravitation a, localement, la forme que nous lui connaissons bien et qui rend compte si précisément du mouvement des planètes, alors la densité de l'espace s'annule à l'infini, contrairement au principe cosmologique qui pose les propriétés du cosmos identiques à elles-mêmes en tout point de l'espace.

Devant ce dilemme, fallait-il renoncer à la théorie de Newton et au magnifique édifice de la mécanique céleste ? Il n'en était évidemment pas question. Fallait-il alors renoncer au postulat de l'uniformité de l'espace ? Pour Einstein il n'en était pas davantage question car l'uniformité cosmique n'était pas seulement pour lui une intuition de physicien mais aussi un profond attachement à l'idée de la rationalité de la nature: la raison est apte à comprendre aussi bien les phénomènes à l'échelle cosmique qu'à l'échelle locale mais pour ce faire elle a besoin d'un concept précis d'univers, basé sur la notion d'uniformité.

Frappé de ce que, devant les exigences de la loi de Newton d'une part, du principe d'homogénéité d'autre part, l'irréductible difficulté résidait seulement à l'infini, Einstein commença à douter de l'infinitude de l'espace. C'était, faut-il le rappeler, par un attitude en tout point semblable que, quelques années plus tôt, il devait renoncer

à l'"évidence" ancestrale du temps absolu pour concilier les exigences de la mécanique rationnelle avec son principe d'invariance de la vitesse de la lumière, imposé par l'expérience.

Par ailleurs, avec un sens très profond de la physique, Einstein répugnait à admettre aveuglément le concept d'un univers purement mathématique, d'un cadre, d'une géométrie préalables à tout processus physique. L'idée maîtresse de sa conception de l'univers est empruntée au principe de Mach, selon lequel la géométrie de l'espace est entièrement *déterminée* par son contenu matériel.

En dehors de la matière-énergie existante, il n'y a ni espace ni temps. L'idée de la relativité générale n'est pas autre: dans cette théorie, ce n'est plus cette mystérieuse action à distance qu'est la force d'attraction newtonnienne qui retient une planète sur son orbite, c'est la masse du Soleil qui déforme la géométrie de l'espace autour d'elle et incurve la trajectoire inertielle de la planète, à l'image de la cuvette d'une roulette qui oblige la bille à des trajectoires circulaires.

Quelle ne fut pas la surprise de retrouver alors, quantitativement, toute la théorie newtonnienne de la gravitation comme une première approximation de la relativité générale ! Quelle ne fut pas, en seconde approximation, la surprise de prédictions étonnantes de la théorie qui devaient bientôt expliquer les résidus, irréductibles en théorie newtonnienne, des avances périhéliques de Mercure et laisser entrevoir une déviation des rayons lumineux eux-mêmes au voisinage des masses, déviations que l'on a maintes fois vérifiées depuis au voisinage du Soleil, en photographiant au cours d'une éclipse totale le fond du ciel étoilé près du bord solaire. Ces éclatants succès de la relativité générale confirmaient Einstein dans la croyance au principe de Mach, en cette influence directe de la réalité matérielle sur la géométrie de l'espace. Mais alors si la gravitation n'était plus qu'un aspect géométrique de l'espace, son potentiel était aussi un être géométrique et l'équation de Poisson était une ébauche d'expression quantitative du principe de Mach puisqu'elle liait le potentiel, donc la géométrie, à la densité de matière.

Utilisant des procédés mathématiques sur lesquels nous ne pouvons pas nous étendre, Einstein établit une expression plus générale du principe de Mach, dont l'avantage par rapport à l'équation de Poisson était d'être définie indépendamment du système de référence particulier de tel ou tel observateur. Cette généralisation allait dans le sens du principe cosmologique. C'est la célèbre équation tensorielle du champ ( sous entendu du champ de gravitation).

Ainsi une grande convergence d'idées conduisait Einstein à ses "considérations cosmologiques". Pourquoi ne pas renoncer à la géométrie euclidienne comme image de l'espace cosmique puisqu'on peut, avec la relativité restreinte, renoncer avec le succès que l'on sait au cadre du temps absolu et que, localement, une géométrie, courbée par la présence des masses, explique si bien la gravitation? Pourquoi ne pas rechercher comme image de l'univers une géométrie courbe qui referme l'univers sur lui-même et lève du coup l'irréductible difficulté gravitationnelle de l'infini?

La solution résidait dans les équations du champ qu'Einstein venait d'établir et, après la géniale idée directrice, le calcul devait se dérouler sans difficulté spéciale.

Einstein montra que pour obtenir une telle géométrie fermée de l'espace, il fallait seulement adjoindre dans l'équation du champ un terme où figurait une constante qu'il appela et qu'on appelle encore aujourd'hui la constante cosmologique.

Beaucoup plus tard, le mathématicien Elie Cartan devait montrer que l'équation du champ prenait ainsi sa forme la plus générale.

Mais en 1917 Einstein se souciait seulement de construire un modèle d'univers dont l'espace se refermât sur lui-même. C'était le modèle statique d'Einstein que nous décrirons une prochaine fois.

LE CADRAN SOLAIRE DE L'ECOLE DE SOUBISE

On sait que toute nouvelle construction scolaire, école, lycée ou collège, comporte une oeuvre d'art qu'on appelle souvent "le 1%" parce que tel est le pourcentage de la subvention qui doit obligatoirement être réservé à la dite oeuvre d'art.

Le 1% est le plus souvent une oeuvre abstraite, une forme à bosses, rondeurs et creux, qui provoque parfois la réflexion, plus rarement l'admiration, souvent le sourire, voire l'hilarité, ou, pire, l'indifférence.

A Soubise, on a délibérément choisi une oeuvre figurative: il s'agit d'un cadran solaire. Il y a encore un siècle, son but était de donner l'heure: l'héliochronomètre, qui servait à régler l'heure des gares jusque vers 1900, était un cadran solaire. Ici, si le cadran solaire donne l'heure, et il la donne, c'est par dessus le marché.

On a pensé qu'un cadran solaire alliait bien l'esthétique et l'utilitaire, en ce sens que c'est un objet pédagogique, qui incite les maîtres à réfléchir et à faire réfléchir leurs élèves sur le mouvement quotidien du Soleil, en attirant en particulier leur attention sur les irrégularités de ce mouvement. Le mouvement annuel du soleil apparaît clairement : une graduation en mois permet de le souligner.

Le cadran de Soubise a été calculé spécialement pour l'endroit où il se trouve: latitude  $45,9^\circ$ , longitude  $1^\circ$  ouest, mur orienté à  $191,5^\circ$ , c'est-à-dire à  $11,5^\circ$  du sud. Il a été peint par M.F. de Christen, peintre restaurateur des monuments historiques. C'est une peinture à fresque, en couleurs, exécutée d'après une technique d'origine romaine, très rare de nos jours.

Il comprend une partie purement décorative, constituée d'une frise de dessin très simple, qui encadre à droite et à gauche le cadran proprement dit. Celui-ci comprend des droites horaires, noires pour les heures, ocres pour les demi-heures, coupées par les hyperboles diurnes, de couleur verte. Enfin une courbe rouge en forme de huit, la méridienne, permet de corriger l'heure solaire locale, pour obtenir le Temps Universel et donc l'heure légale.

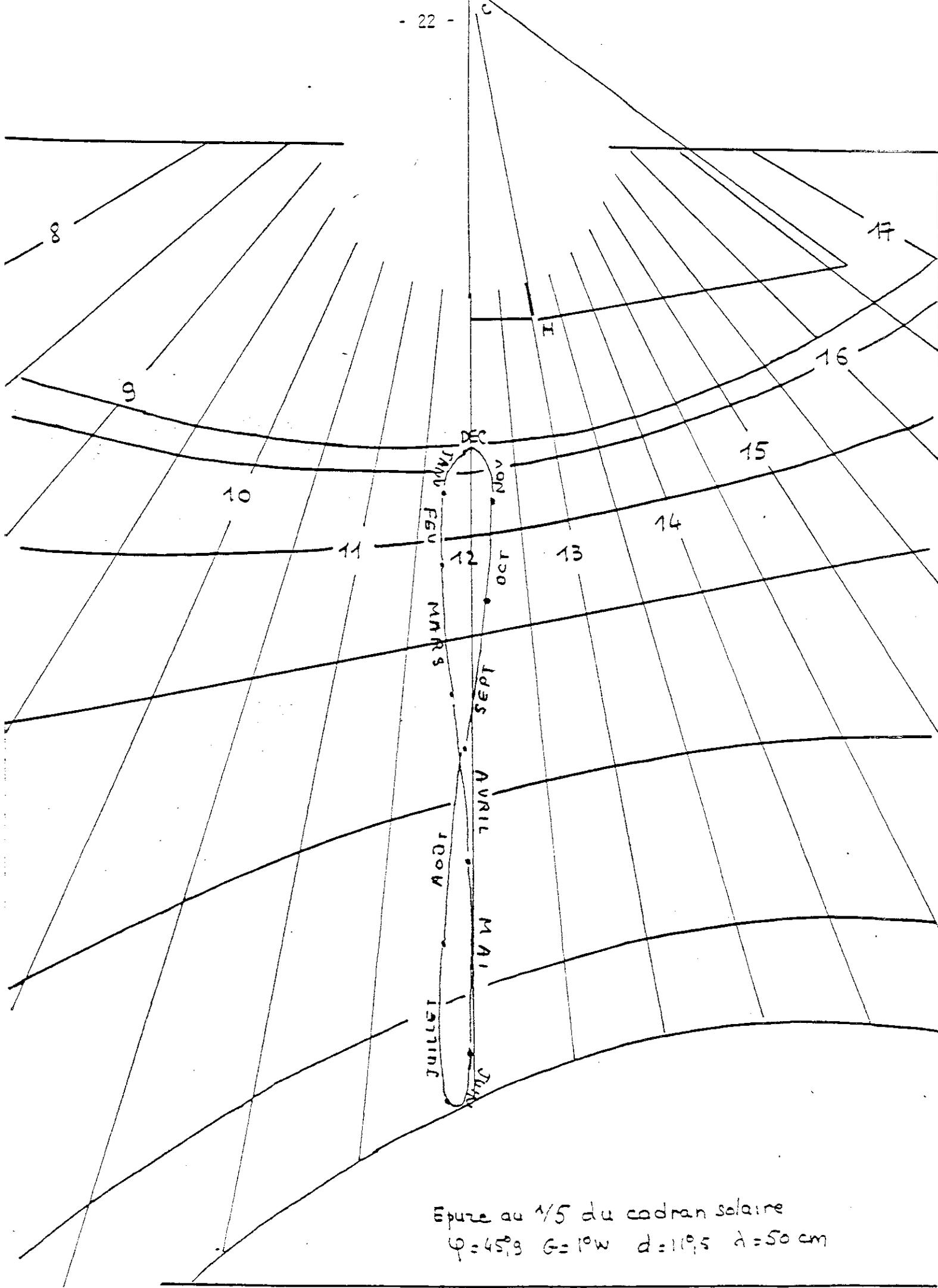
La seule partie qui ne soit pas peinte à fresque est le style. C'est une tige métallique, orientée avec précision vers le pôle céleste, dont l'ombre donne vie au cadran.

Enfin, une devise a été peinte sur la base du cadran. Elle veut être un hommage à la généreuse donatrice grâce à laquelle l'école de Soubise n'a pas coûté un sou à ses habitants: "ILLIS LUX ILLA TIBI SICUT ALTERA".

Comprenne qui pourra.

Capitaine de Vaisseau Grezzillier

*Ce texte nous a été communiqué par René Guillot, professeur de mathématiques en retraite et lecteur des Cahiers Clairaut; nous l'en remercions. Nous tenons à la disposition des lecteurs intéressés le document technique qui a permis à Monsieur Grezzillier de construire le cadran solaire au moyen d'une calculatrice Casio FX 702 P programmable.*



Epure au 1/5 du cadran solaire  
 $\varphi = 45^{\circ}9$   $G = 10^{\circ}W$   $d = 110,5$   $\lambda = 50 \text{ cm}$

ASTRONOMIE AU C.E.I

A/ L'ESPACE.

L'objectif de ces trois séquences relatives à l'espace était d'exploiter le feuilleton télévisé: "Il était une fois l'espace" pour aborder une étude plus élaborée de l'astronomie. Ce feuilleton avait suscité chez un très grand nombre d'enfants un véritable désir de partir à la découverte de "mondes" parfois irréels.

Séquence I.

Les questions suivantes ont été posées aux enfants afin de mettre en évidence ce que représentait pour eux l'espace.

§ Quand avez-vous entendu parler de l'espace?  
.....

- par les feuilletons télévisés:(il était une fois l'espace, cosmos 1999, goldorak, albator, ulysse 31,.....).
- par les films: ET, la planète des singes,.....
- par la lecture:Tintin, petites encyclopédies,.....
- par des reportages TV :lancements de fusées,.....

§ Pour vous qu'est-ce que l'espace ?  
.....

Réponses obtenues:-c'est tout ce qui nous entoure.

- le ciel
- la nuit (car on voit les étoiles la nuit).
- c'est un endroit où il n'y a pas d'air.

§ Que trouve-t-on dans l'espace ?  
.....

- des grottes, des trous, des nuages, des étoiles, des météorites.
- des terres, des morceaux de terre, la lune, le soleil, des planètes.
- des extra-terrestres.
- des trous noirs (film de Walt Disney).
- des satellites, des fusées, des engins.
- la nuit, l'univers.
- un enfant a identifié l'espace à un personnage.

§ Va-t-on dans l'espace ? De quelle manière ?  
.....

- avec des avions, des hélicoptères, des fusées (Ariane), la navette.
- avec des engins (science fiction). Pour certains enfants, ces engins existent réellement. D'autres pensent qu'ils sont imaginaires, mais sont persuadés que si l'homme les fabriquait, ils pourraient "voler".

§ Comment vit-on dans l'espace ?  
.....

- les êtres humains peuvent vivre dans l'espace, mais ils diffèrent de nous par les vêtements et les accessoires nécessaires à la respiration (les élèves sont intrigués par le cordon reliant le cosmonaute au vaisseau).
- l'homme ne vit pas de la même manière à l'intérieur et à l'extérieur du vaisseau spatial.
- les maisons de l'espace existent (Columbia), on peut construire des maisons de différentes formes.

### Séquence 2.

J'ai demandé aux élèves de dessiner ce qu'ils pensaient trouver dans l'espace.

J'ai mis une légende à chaque dessin en respectant les termes employés par chacun.

La majorité des enfants a représenté le ciel (de nuit) avec la lune, le soleil, des étoiles, des étoiles filantes, des vaisseaux spatiaux des fusées. Six ont dessiné saturne avec un anneau et quatre la terre.

### Séquence 3.

Observation de photographies, discussion.

Ces observations ont suscité diverses questions aux quelles nous n'avons pas toujours apporté de réponse.

- pourquoi l'espace existe-t-il ? A quoi sert l'espace ?
- pourquoi y a-t-il une lune, des planètes ?
- pourquoi n'y a-t-il pas d'air dans l'espace ?
- quelle est la grandeur de l'espace ? réponses d'élève : c'est l'infini - c'est très loin - c'est quelque chose qui ne finit jamais comme les nombres.
- y a-t-il des poids dans l'espace ? (problème de la pesanteur)  
Jérôme a comparé cet état avec un corps qui flotte dans l'eau.
- quelle est la forme de l'espace ? Pour tous les enfants l'espace est immense mais tout de même limité. Il est carré ou rond.
- pourquoi l'espace est-il noir ? Pourquoi le ciel est-il bleu et l'espace noir ?
- fait-il jour dans l'espace ? non, c'est le noir, tout ce qui est dans l'espace est éclairé par le soleil.

Pendant la discussion les réponses ont été apportées soit par les élèves soit par moi-même. Toutes les questions posées n'ont pas eu de réponses. On se heurte très rapidement à un vocabulaire et à une explication de phénomènes physiques et techniques incompréhensibles au niveau du cours élémentaire.

### Conclusion.

Tous les enfants connaissent de nombreux termes relatifs à l'espace (planète, satellite, galaxie, météorite, ...) mais leur signification reste vague et bien souvent ne correspond pas à la réalité.

## E/ LA LUNE.

.....

### Séquence I.

questions sondage (posées avant toute observation de documents).

§ Pour vous qu'est-ce que la lune ?

.....

- pas de réponse (nombre 5).
- une planète (5).
- un morceau de soleil ou de terre (5).
- une boule (2), c'est la nuit (2).
- un être vivant (pour les poètes) deux élèves représentent la lune avec nez, bouche, oeil et bonnet.

§ quand voit-on la lune ?

.....

- la nuit (8).
- le matin et le soir (7).
- jour et nuit (2).
- le soir ou le matin (2).
- quand il n'y a pas de nuages.

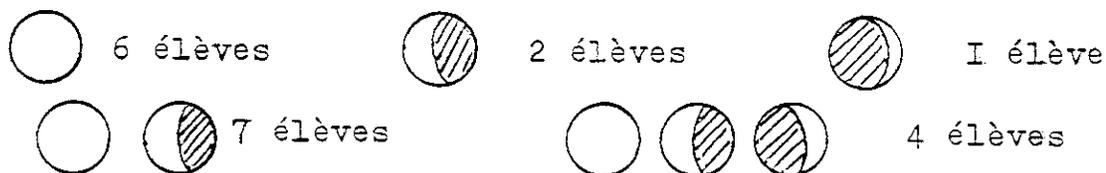
§ La lune est-elle toujours au même endroit ?

- pas au même endroit (13).
- au même endroit (8).

§ D'après vous qu'y a-t-il sur la lune ?

- des trous (8).
- des cratères (6).
- des cosmonautes (2).
- rien (2).
- des crevasses, des hommes qui ne sont pas habillés comme nous.

§ Dessinez la lune



Pour la plupart des enfants ayant représenté deux ou trois phases il existe deux ou trois lunes. Certains pensent que la lune se coupe en deux morceaux qui se recollent par la suite.

Séquence 2. Observation

L'objectif principal de l'observation de la lune était de mettre en évidence la notion de cycle (les lunaisons). Cette observation s'est prolongée sur plusieurs mois (de février à fin juin).

Les enfants, particulièrement intéressés, ont pris une part active à l'établissement des relevés qu'ils ont eu à effectuer pendant cette période.

- Tous les jours pendant une lunaison chaque élève devait:
- observer le ciel, rechercher si la lune était présente, la représenter par un dessin.
  - noter le jour et l'heure d'observation sous chaque schéma.

Par la suite, ce travail a été effectué à tour de rôle, les renseignements obtenus étant consignés sur un tableau collectif.

De ces observations les élèves ont tiré les constatations suivantes:

- la lune peut être observée à différents moments de la journée. Elle est visible soit le matin, soit dans la journée, soit le soir ou la nuit.
- la lune n'a pas toujours la même forme.
- la couleur de la lune varie (blanche dans la journée, jaune la nuit).
- la lune n'est pas toujours au même endroit, elle se déplace. d'après ses différentes positions nous avons constaté que la lune se déplaçait de jour en jour vers l'Est.
- qu'au bout de 29,30 jours les même formes réapparaissent.

Les différentes phases de la lune ont été mises en évidence et assez bien comprises des enfants. Le vocabulaire s'est enrichi: premier quartier, pleine lune, dernier quartier, nouvelle lune.

Enfin une étude sur le calendrier a fait apparaître la correspondance des dessins des différentes phases de la lune. Certains enfants se demandaient ce qu'étaient les ronds noirs sur le calendrier.

Les enfants ont pu calculer la durée d'une lunaison et le nombre de lunaisons dans l'année.

Séquence 3.

- Observation de la lune aux jumelles
- Etude de photos et projection de diapositives.

C/ LES PLANETES.

Séquence 1. Questions sondage.

§ Qu'est-ce qu'une planète ?

- pas de réponse (6). - c'est une terre (4).
- c'est rond (2). - un monde inconnu (4).
- là où vivent des gens (4). - elles sont grandes et volent (1).

§ En connaissez-vous ? Lesquelles ?

- Mars (18). (les petits martiens font toujours recette).
- Jupiter (10). - Terre (6). - Mercure (2).
- Pluton, Saturne, Lune, Etoile polaire (1).

Dans l'ensemble pas de confusion avec les étoiles.

§ Qu'y a-t-il sur terre ?

- des maisons (14). - des pays (8).
  - des gens (5). - des voitures (4).
  - des villes, des mers, des écoles (et oui!) (3).
  - des enfants, des animaux, des jardins (2).
- puis tout y passe: bateaux, herbe, île, champs, montagne et ..... du thym (Provence oblige).

On peut remarquer que les humains ne représentent que 14% des réponses. L'homme ne serait-il plus le centre du monde ?

§ Qu'est-ce que le soleil ?

- une boule de feu (12). - du feu (4).
- un volcan, de la chaleur, un rond avec des rayons, un radiateur (1).

Séquence 2. Le système solaire.

Les photos de "Voyager" ont permis une exploration partielle du système solaire et de faire connaissance avec les principales planètes.

Grand étonnement et réelle surprise des enfants qui ont découvert que les planètes Mars, Jupiter, Saturne étaient très différentes de ce qu'ils imaginaient. (déception d'apprendre qu'elles n'étaient pas habitées).

Saturne a littéralement subjugué les enfants (à cause des anneaux)

Comment les planètes se déplacent-elles ?

L'organisation d'un jeu "la ronde des planètes" a permis une meilleure compréhension du système solaire. Neuf enfants portant chacun le nom d'une planète ont essayé d'évoluer autour du soleil. La lune tournait autour de la terre. Le reste des élèves symbolisait les étoiles.

Bien qu'étant à des distances différentes du soleil, les élèves-planètes se sont déplacés de façon anarchique d'où télescopages.

Pour y remédier j'ai alors relié chaque enfant-planète au soleil par une cordelette (différente pour chaque planète). Immédiatement les enfants ont suivi un chemin "tout rond" autour du soleil. Nous avons ensuite remplacé chaque cordelette par un tracé sur le sol.

La différence entre planète et satellite n'a été qu'effleurée.

Séquence 3. La planète Terre.

Observation de photos prises depuis des satellites. Masses sombres (continents), masses bleues (océans) zone limite entre jour et nuit.

CONCLUSION

L'ensemble de ces séquences s'est déroulé dans une ambiance enthousiaste quelquefois passionnée. Toutes ont été très appréciées et suivies avec attention.

Il reste cependant que les enfants réalisent difficilement l'étendue de l'univers. Ils paraissent dépassés et écrasés par ce monde merveilleux qui est encore considéré par certains comme imaginaire. Julia m'a demandé: "mais c'est vrai tout ce que l'on a vu et tout ce que l'on vient de dire".

Cette longue étude était accompagnée de poésies et de lectures sur la lune et les étoiles.

Mme SIMIAN

EXPLOITATION D'UNE PHOTOGRAPHIE DU MOUVEMENT DIURNE

I - LE CLICHE :

Dans la nuit du 6 au 7 février 1983 au Mans, un appareil photographique muni d'un objectif "grand angle",  $f = 28$  mm, dirigé vers le pôle nord céleste enregistre sur film Ektachrome 400 pendant 30 minutes des traînées stellaires. La diapositive en couleurs tirée ... en noir et blanc dont le document ci-joint (Doc. 1) est une photocopie. Ainsi le fond du ciel est blanc et les étoiles laissent des traînées noires.

II - EXPLOITATION DU DOCUMENT :

1°) Position du pôle nord céleste:

A l'aide d'un compas et d'une règle on trace les médiatrices des cordes correspondant à plusieurs arcs de cercles. Bonne précision si deux de ces médiatrices se coupent à peu près perpendiculairement.

2°) Identification des constellations:

En utilisant une carte céleste (par exemple la Revue des Constellations, Doc 2) on arrive à reconnaître la Petite Ourse, diverses parties du Dragon, de Céphée, de Cassiopée. On joint les débuts des traces d'une même constellation. On obtient l'aspect du ciel au début de la prise de vue: instant  $t_D$ .

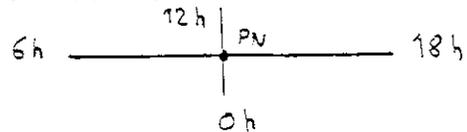
3°) Rotation sidérale:

On détermine la durée que met la sphère céleste pour faire un tour complet par utilisation d'un rapporteur et du temps de pose. C'est la durée de la rotation sidérale de notre planète.

4°) Mesure des coordonnées équatoriales de quelques étoiles:

a) ascension droite: les méridiens célestes sont représentés sur le cliché par des droites passant par le pôle nord céleste qui vient d'être déterminé (PN). On choisit une étoile au bord du champ:  $\gamma$  Cas. Pour l'instant  $t_D$  on joint  $\gamma$  Cas au pôle nord. Or l'ascension droite de  $\gamma$  Cas est environ 0h 56min, soit  $14^\circ$ . On en déduit le tracé de la ligne 0h - 12h (droite de référence).

Puis avec un rapporteur on peut mesurer l'ascension droite de n'importe quelle étoile ( $1h = 15^\circ$ )



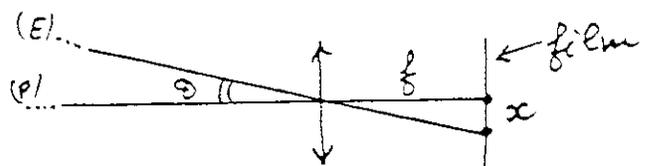
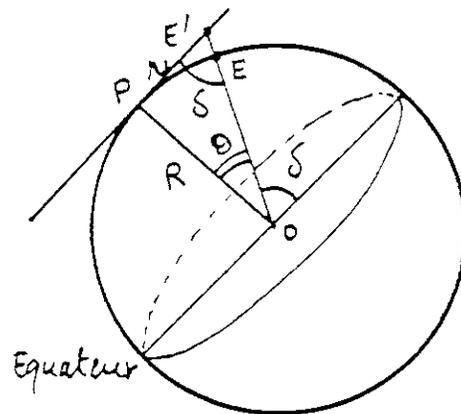
b) déclinaison : A la prise de vue le plan du film était parallèle à l'équateur céleste. Pour l'appareil photo comme pour l'observateur, tout se passe comme si l'étoile E était en E' dans le plan tangent à la sphère céleste au pôle nord.

$PE' = r$        $OP = R$   
 $\text{tg } \delta = R/r$  car en E' on retrouve l'angle  $\delta$   
 Pour l'appareil photo,  $r$  est figuré par  $x$  tel que  $\text{tg } \theta = x/f$ ; or  $\theta + \delta = \pi/2$   
 ainsi  $x/f = 1/\text{tg } \delta$  et  $x = f/\text{tg } \delta$

Sur le document,  $x$  est remplacé par  $Gx$ ,  $G$  étant le grandissement utilisé pour le tirage.  $X = Gx$

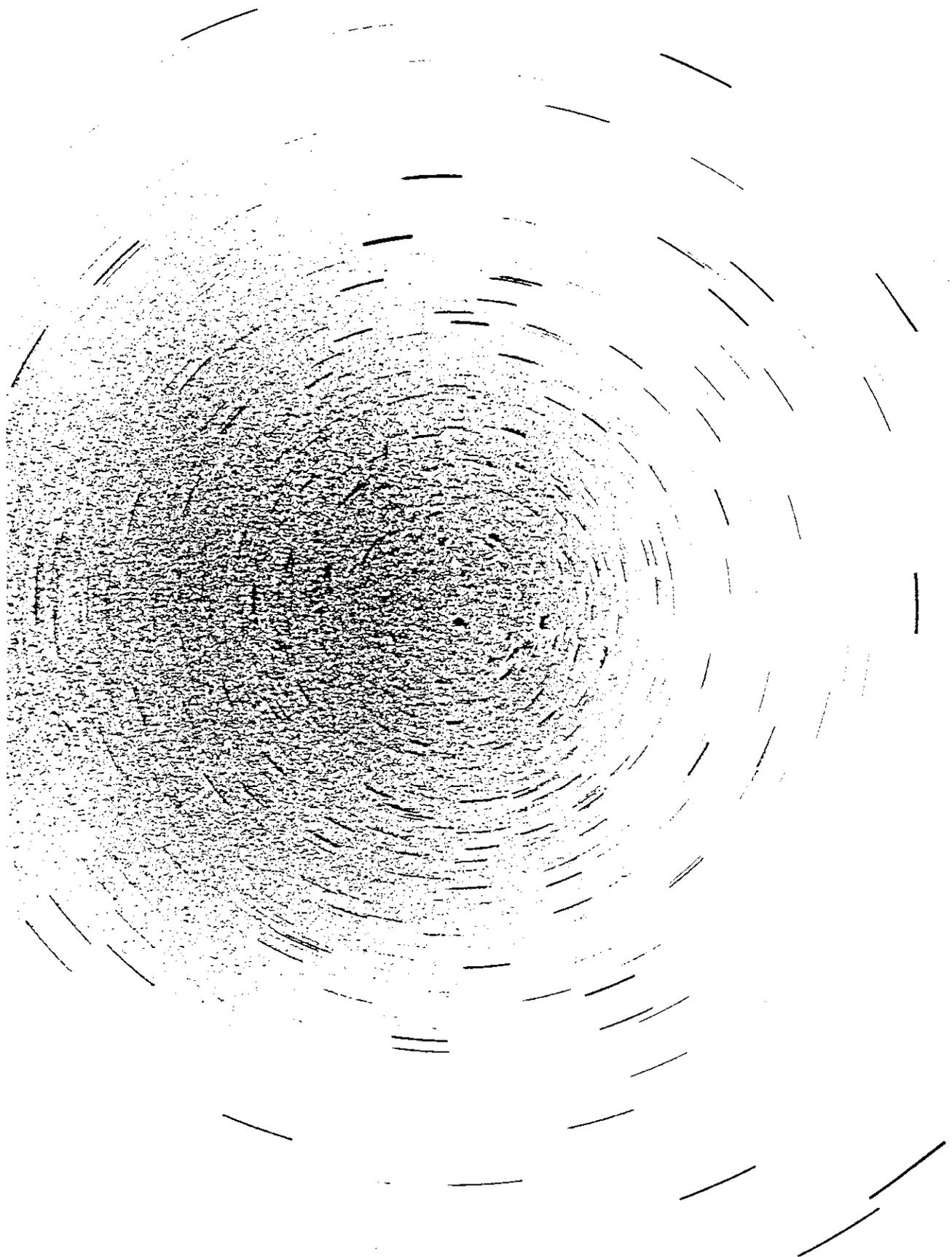
En définitive:  $\text{tg } \theta = Gf/X$

avec:  $G =$  grandissement (ici  $G = 8,2$ )  
 $f =$  focale (  $f = 28$  mm)  
 $X =$  distance de l'image d'une étoile au point PN sur le document



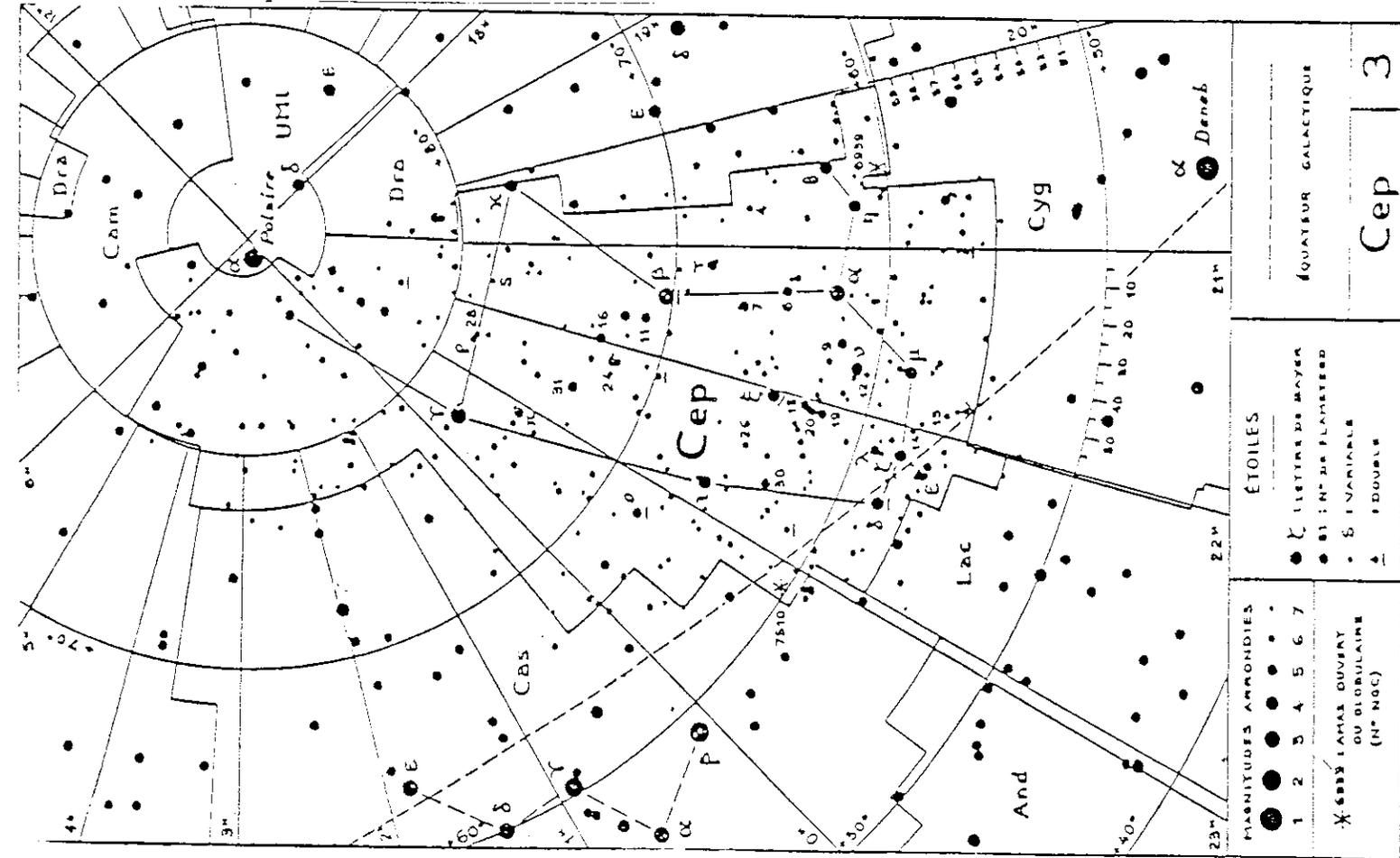
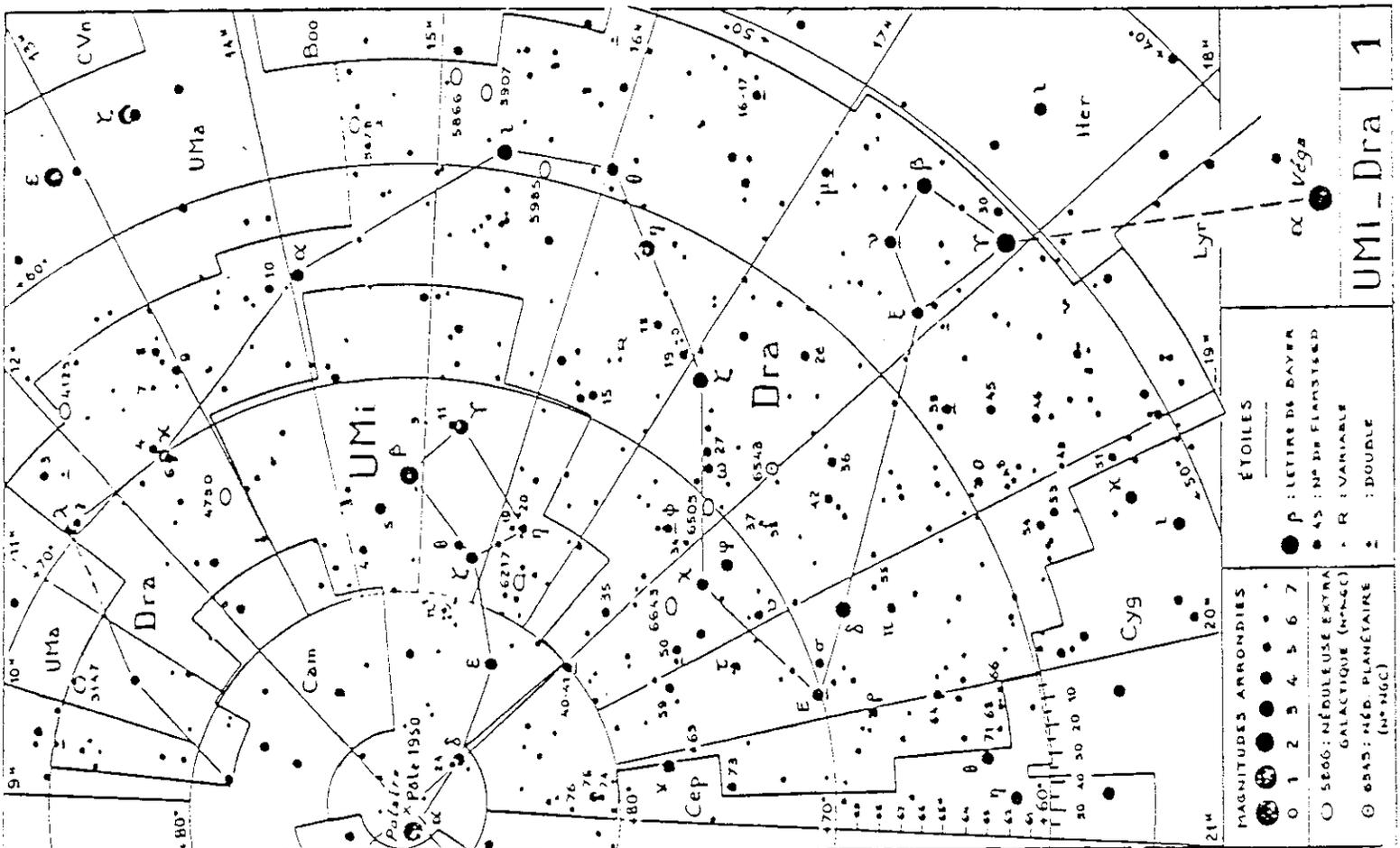
5°) Calcul de l'instant du début de prise de vue:

Le document comporte à gauche la trace d'un plan vertical au moment où la photographie a été prise. On mène par PN la parallèle à cette trace. On obtient la trace du méridien. Un rapporteur fournit l'ascension droite correspondante et donc le temps sidéral local à l'instant  $t_D$ . On en déduit  $t_D$  en TU.



Nuit du 6 au 7 février 1983  
Pose: 30 minutes  
Le Mans:  $\lambda = -48^{\circ}$

plan  
vertical



Chronique du CLEA

En somme de bonnes nouvelles et des signes encourageants à poursuivre l'effort entrepris :

Président d'honneur à l'honneur

Le CLEA est très heureux et très fier d'annoncer que son président d'honneur, Evry Schatzman, vient de recevoir la plus grande distinction scientifique française : la médaille d'or du CNRS. Elle vient couronner la carrière d'un des plus grands astrophysiciens, père de l'astrophysique française, à qui tant de jeunes astrophysiciens doivent leur formation. Nous lui disons notre joie et notre amitié.

L'école d'été de Grasse (25 août-3 septembre)

a connu un très bon succès : beaucoup de travail positif malgré un temps médiocre. Les 90 stagiaires venaient d'horizons très variés : plusieurs instituteurs, professeurs de collège, de lycée, d'école normale et même de math.spé. ; les disciplines étaient aussi très variées physique, math, mais aussi lettres, arts plastiques... Plusieurs stagiaires ont beaucoup apprécié que l'on "n'ait pas porté sa discipline sur sa casquette". Bref, les matheux étaient si peu discernables des physiciens que beaucoup de stagiaires les ont cru absents ! Le "must" de l'école a sans doute été le cours de cosmologie de Béatrice Sandré.

L'école d'été 1984 est programmée du 4 au 13 juillet. Elle se tiendra probablement à Formiguières, près de Montclouis. L'équipe a eu beaucoup de peine à trouver un centre adéquat pour nous accueillir. Décision définitive après le voyage de Francette Delmas sur place.

Les stages de formation

A ne citer que ceux dont nous connaissons l'annonce, on a déjà une belle idée de l'activité des membres du CLEA dans les académies.

- BESANCON : stage de construction de huit télescopes de 200 mm; stage de trois fois trois jours pris en charge par la MAF assuré par J-P.Parisot, J-P.Marchand, F.Suagher et l'association astronomique de Franche-Comté ; en mars 84 le CRDP organise une manifestation sur l'espace avec le CNES (écrire à Marchand ou Parisot pour plus de détails).

- CAEN : stage de 5 jours en 82-83 organisé par l'IPR de math et assuré par l'équipe d'Orsay (grand succès, 40 professeurs de lycée déchargés ; publication d'un compte rendu) ; en 83-84 stage de 5 jours pour les enseignants du 1<sup>er</sup> cycle organisé par l'Union des Physiciens et animé par l'équipe d'Orsay et l'Association Normande d'Astronomie.

- GRENOBLE : à l'instigation de la correspondante CLEA dans l'académie, Andrée Richelme, un stage de 7 jours (4+3) a été organisé dans le campus universitaire (du 5 au 8 octobre, les 28 novembre 83 et 1<sup>er</sup> mars et 18 mai 84), stage assuré par A.Richelme, A.Omont et P.Baussand ; 56 participants déchargés sélectionnés parmi un grand nombre de demandes ; soutien actif de la MAF et du CRDP. Succès total, tous les participants demandent une "suite"; C. Barathon, devenue "Madame Starlab", et M. Bonneton, toutes deux anciennes des écoles d'été, ont apporté leur concours; l'organisatrice, Andrée Richeime est épuisée, mais heureuse!

- LIMOGES : à l'instigation de la correspondante académique du CLEA, également responsable UdP, Liliane Sarrazin, stage de 3 jours programmé en mai 84, assuré par C.Astruc, C.Dumoulin, L. Sarrazin avec l'équipe d'Orsay et G.Paturel.
- LYON : M.Ruhla, responsable des actions de formation en physique a présenté un PAF en astronomie : 2 heures de cours par semaine (A.Hayli), 3 séances d'observation nocturne et 3 ateliers pratiques assurés par C.Piguet et G.Paturel.
- Le MANS : voir le Courrier des lecteurs dans ce cahier.
- MELUN : Cl.Balpe, professeur de physique à l'école normale, organise un stage destiné aux formateurs d'instituteurs du 7 au 10 novembre 83 avec 3 journées ultérieures (30, 31 janvier et 2 février 84); encadrement par C.Balpe, A.Campadieu, C. Roudil et l'équipe d'Orsay ; une journée à Meudon avec A.Dargencourt.
- MEUDON : les "mercredis de Meudon" ont reçu en 82-83 un très bon accueil, toutes les demandes n'ont pu être satisfaites ; ils sont reconduits en 83-84 avec une organisation nouvelle, autour d'une dominante pédagogique ; toujours sous le responsabilité d'Alain Dargencourt.
- MONTPELLIER : le stage 82-83 s'est très bien passé, 10 stagiaires déchargés ; il est reconduit en 83-84, six séances de 3 heures ouvertes à 10 stagiaires avec décharge rectorale et à des volontaires bénévoles ; organisation et animation par l'équipe du laboratoire d'astronomie ; comme auparavant, il est prévu une partie théorique (discussion autour d'un texte photocopié distribué à l'avance), une partie consacrée à la réalisation pratique d'expériences simples et une dernière partie de réflexion pédagogique sur l'insertion de l'astronomie dans l'enseignement.
- NANÇAY : l'observatoire organise avec l'école normale de Bourges un stage ouvert aux instituteurs, comme en 82-83 ; il organise aussi (Y.Leblanc et J.Humbert) des journées d'astronomie destinées soit aux instituteurs soit aux professeurs ; est également prévue une animation en mars autour du Starlab.
- ORSAY : le stage habituel d'initiation à l'astronomie est reconduit en 83-84, soit 18 heures en 6 mercredis en novembre et décembre (ouvert à 45 stagiaires bénévoles) ; un second stage d'approfondissement (18 heures en 3 mercredis) est prévu en janvier 84, assuré par l'équipe d'Orsay, A.Dargencourt et B.Sandré.
- STRASBOURG : le 28 juin 83, le 50 000 ème visiteur du planétarium fut représenté par la classe de Troisième du collège Gambetta de Riedisheim, à qui il fut offert une lunette PERL par la maison MEDAS ; fin septembre 83, le planétarium a reçu, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1982, 60 359 visiteurs dont 37 557 scolaires (16 918 élèves en 83) ; le nouveau programme, "Sommes nous seuls dans l'Univers ?" est présenté sous une version simplifiée à l'usage des écoles primaires ; le fascicule "collection Planétarium" correspondant est sous presse. Pour 1984, 5 demi journées sont programmées à l'intention des professeurs certifiés sortant du CPR (sur la gravitation universelle, les distances et le temps) ; d'autres journées

sont prévues par la MAF et l'IPR de physique. Des visites de la grande coupole de l'Observatoire complètent les séances de planétarium.

Rappelons aussi l'organisation du COLLOQUE DES PLANETARIUMS EUROPEENS, du 7 et 8 mai 1984, colloque ouvert à tous les enseignants et animateurs en astronomie.

Inscriptions avant le 1<sup>er</sup> janvier 1984 ; planétarium de Strasbourg, rue de l'Observatoire 67000 Strasbourg?

- VERSAILLES : le directeur de l'école normale, M. Simondin, organise un stage d'une semaine (25 au 27 janvier 84) ouvert aux formateurs d'instituteurs ; stage national assuré par l'équipe d'Orsay et V. Tryoën.

#### Publications

Le numéro spécial "Astronomie" du Bulletin Inter-IREM est en cours d'édition ; son contenu est axé sur le programme de l'option astronomie de Terminale A. S'adresser à C. Dumoulin, à l'IREM de Limoges.

L'observatoire de Meudon a réalisé un diaporama sur l'astronomie qui a été présenté à l'école d'été par Alain Dargencourt ; il a suscité un très vif intérêt. L'observatoire de Meudon a réalisé quelques copies qu'il vend au prix coûtant soit 250 F ; s'adresser à A. Dargencourt à l'observatoire de Meudon.

#### Cahiers Clairaut et CLEA

Plus de deux cents abonnés nouveaux aux Cahiers, c'est encourageant, mais beaucoup de retards dans les réabonnements des anciens abonnés ; cela complique le travail de la Trésorière. Le nombre des abonnés reste ainsi au voisinage de mille : tous les membres du CLEA doivent s'efforcer de faire connaître les Cahiers et trouver ainsi de nouveaux abonnés.

Quant au CLEA lui-même, au 15 septembre 1983, il comptait 619 membres. C'est honorable après une petite année d'existence mais c'est aussi dérisoire quand on pense au nombre des enseignants et des astronomes qui s'intéressent à l'enseignement de l'astronomie. Il est évident que le CLEA et les Cahiers Clairaut ne sont pas connus : demandez des tracts de propagande (ou plutôt de simple information) et des exemplaires des Cahiers en écrivant au secrétaire du CLEA, Gilbert Walusinski, 26 Bérengère, 92210 Saint-Cloud.

#### ECOLE D'ETE 1984

Elle se déroulera dans la première quinzaine de juillet (probablement du 4 au 13) à Formiguières (près de Montlouis). Le prix du séjour en pension complète est de l'ordre de 140 f; les possibilités de camping sont à l'étude. Comme chaque année, l'organisation de l'école comprendra un enseignement théorique et un enseignement pratique. Toute demande d'inscription est à adresser avec une enveloppe timbrée pour la réponse à L. Gouguenheim DERADN Observatoire de Meudon 92190 MEUDON; les demandes seront prises dans l'ordre d'arrivée.

#### ASSEMBLEE GENERALE DU CLEA

Samedi 21 janvier 1984 à partir de 10h Université Paris XI Orsay  
Bât. 426 salle 029 (rez de chaussée) station RER Orsay ou le Guichet  
Les membres du CLEA recevront une convocation avec l'ordre du jour  
Les sympathisants sont cordialement invités; qu'ils se fassent connaître pour obtenir l'ordre du jour et s'inscrire. (L. Gouguenheim DERADN Observatoire de Meudon 92190 MEUDON).

L'ASTRONOMIE DANS LE CALENDRIER DES PTT

L'astronomie, la plus ancienne de toutes les sciences doit ce titre au fait que ses phénomènes répétitifs ont permis de définir des unités de temps. La révolution de la Terre autour du Soleil ramenant les saisons a permis de définir une année, l'intervalle de temps entre deux nouvelles lunes a donné le mois, l'intervalle entre deux phases consécutives de la Lune a engendré la semaine, et la culmination du Soleil au dessus de l'horizon sud en milieu de journée a donné le rythme des jours. Pour les unités plus faibles, ce ne sont vraisemblablement pas des phénomènes astronomiques qui sont en jeu. C'est probablement les pulsations de notre coeur qui sont en jeu car la coincidence est frappante...

Le but de cette recherche est de retrouver grâce au calendrier des estimations de paramètres astronomiques. Si l'estimation de certains est immédiate, comme celle du mois lunaire par exemple, un examen plus détaillé permet d'évaluer des quantités aussi inattendues que l'année tropique, la longitude de Paris, l'excentricité de l'orbite terrestre ou la masse de la Lune.

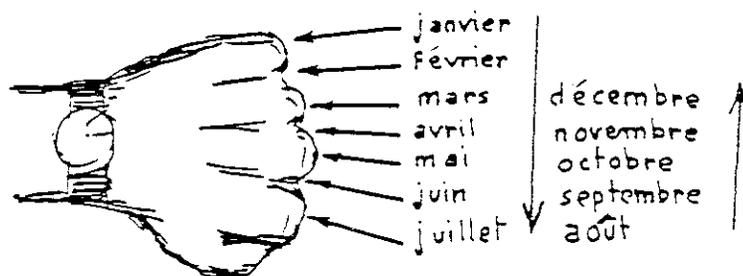
Il conviendra d'utiliser le calendrier des postes de l'année en cours, éventuellement celui de l'année précédente. Dans nos exemples, c'est le calendrier 1982 qui a servi.

Pour faciliter la lecture, les questions abordées n'ont pas été rangées par difficulté croissante mais par thème. Après quelques généralités, on recherchera les indications du calendrier concernant le mouvement de la Terre, autour du Soleil puis sur elle-même, avant d'aborder le mouvement de la Lune.

I - LES NOMS DU CALENDRIER.

1°) Les mois: L'année est divisée en 12 mois de longueurs inégales valant respectivement (31, 28, 31, 30, 31, 30, 31, 31, 30, 31, 30, 31 jours). Pour savoir si un mois donné a 30 ou 31 jours, on utilise parfois les articulations des phalanges.

L'année comporte donc:  
4 mois de 30 jours soit 120 j  
7 mois de 31 jours soit 217 j  
1 mois de 28 jours soit 28 j  
donc un total de 365 j  
Ce nombre n'étonnera sans doute personne. Cette durée correspond approximativement à la durée de la révolution de la Terre autour du Soleil, pour cette raison, notre calendrier sera dit solaire.



Bien sûr, la révolution de la Terre autour du Soleil ne se fait pas dans un nombre entier de jours, ce qui va tout compliquer ; nous reviendrons à la durée de l'année un peu plus loin.

Les noms des mois forment un groupe hétérogène; en effet les premiers: janvier, février, mars, avril, mai, juin sont liés à des noms latins, divinités pour la plupart: Janus, Februs, Mars, Aprilis (la Terre qui s'ouvre) ou Aprilem (le second) (quelques uns disent aussi Aphrodite, mais alors c'est un nom grec), Maia, Junon; ils nous viennent directement du calendrier mis en place par Jules César en 42 avant J.C. et appelé calendrier julien. En souvenir de cette réforme du calendrier, juillet porte le nom de Jules César; août porte le nom d'un autre empereur romain: Auguste.

Les quatre derniers mois de l'année correspondent à un numérotage (septembre: le septième, octobre: le huitième, novembre: le neuvième, décembre: le dixième) ils sont en fait les neuvième, dixième, onzième et douzième mois, car l'année n'a pas toujours commencé au premier janvier mais au premier mars.

L'année romaine primitive commençait effectivement le 1er mars et le choix du début de l'année au 1er janvier date en France de 1563, sous le règne de Charles

IX, dit le Fou.

2°) Les jours de la semaine: Le découpage en semaines de 7 jours semble lié à la durée approximative d'une phase lunaire.

Le nom des jours évoque celui des astres du système solaire connus des anciens:

- lundi: jour de la Lune
- mardi: jour de Mars
- mercredi: jour de Mercure
- jeudi: jour de Jupiter
- vendredi: jour de Vénus
- samedi: jour de Saturne
- dimanche: jour du Soleil

Ces deux dernières interprétations ne sont pas évidentes dans les noms français. On retrouve pourtant le jour du Soleil avec Sunday en anglais ou Sonntag en allemand et celui de Saturne avec saturday en anglais. Ce sont les premiers chrétiens qui ont baptisé dimanche le jour du Seigneur. Il semble que la dénomination des jours de la semaine provienne des babyloniens. L'ordre surprend; il ne correspond même pas à l'énumération des planètes à partir de la Terre dans l'ancien système géocentrique (Terre, Lune, Mercure, Vénus, Soleil, Mars, Jupiter, Saturne). Pour avoir plus de détails sur l'ordre des jours, il est conseillé de se reporter à l'excellent livre de Paul Couderc "Le calendrier" dans la collection "Que sais-je?".

3°) Remarque: Les jours n'étant pas toujours numérotés dans le cours de l'année, on aura tout avantage, pour chercher l'intervalle de temps entre deux dates, à compter le nombre de semaines entières et à compléter.

4°) Les fêtes fixes et les fêtes mobiles: Noël, Nouvel An, la Fête Nationale ont lieu à des dates fixes: ce sont les fêtes fixes. Par contre Pâques, l'Ascension, la Pentecôte sont célébrées à des dates variables: ce sont les fêtes mobiles. Ces fêtes mobiles sont toutes liées à la date de Pâques, elle-même fixée pour des motifs religieux, depuis l'an 325, au concile de Nicée, au premier dimanche qui suit la première pleine lune après le 21 mars. Simple n'est-ce pas ? On pourrait écrire tout un chapitre sur la détermination de la date de Pâques, mais ce n'est pas notre propos aujourd'hui. Disons simplement que cette détermination est étroitement liée à l'histoire de notre calendrier.

(... à suivre)

Jean-Paul Parisot, François Puel et Françoise Suagher

\* \* \* \* \*

La mission de Pioneer 10 La grande presse a annoncé, le 14 juin 1983 que Pioneer 10, la sonde américaine envoyée vers Jupiter le 3 mars 1972 allait sortir du système solaire ... à 8 h 47 (comme disait Courteline).

Précision évidemment abusive, le système solaire n'ayant pas un bord, une ligne ou surface frontière en deçà de laquelle on est dedans, au delà de laquelle on est dehors. Mais l'admiration est justifiée pour la prouesse technologique que représente la longévité du fonctionnement de l'engin. N'oublions pas que c'est lui qui a ouvert la voie, si l'on peut dire, aux découvertes des sondes Voyager.

De plus, les spécialistes espèrent que Pioneer 10 continuera encore longtemps à émettre et pourra être reçu par les antennes de 64 m du Deep Space Network jusqu'en 1994.

G. W.

ASTRONOMIE, MATHÉMATIQUE ET ALGORITHME  
I - DURÉE DU JOUR ET AZIMUT DU LEVER DU SOLEIL

On veut étudier les variations de l'azimut du lever du soleil et de la durée du jour en fonction de la latitude du lieu considéré et de la date.

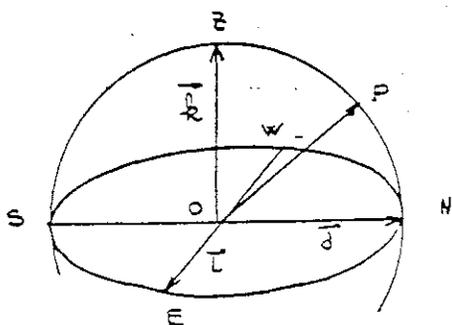
Pour calculer l'azimut du lever et son angle horaire on fait souvent appel aux relations entre coordonnées horizontales et coordonnées horaires (cf p.30 des éphémérides du bureau des longitudes). Ces relations se déduisent elles-mêmes très simplement des formules élémentaires de la trigonométrie sphérique (cf Cahiers Clairaut n° 6). Mais on peut trouver ces dernières trop rébarbatives ou trop loin des programmes actuels de mathématique.

Il est possible de calculer l'azimut et l'angle horaire du soleil à son lever en n'utilisant que les notions élémentaires de calcul vectoriel enseignées en classe de 1ère. Ce qui, autour d'un thème astronomique, est un bon exercice sur les notions suivantes : coordonnées - angles orientés - géométrie sur la sphère - trigo.

Les calculs qui suivent ont été le point de départ pour des élèves du Lycée Berthollet d'Annecy pour étudier à l'aide d'un micro-ordinateur les variations de l'azimut du lever du soleil et de la durée du jour.

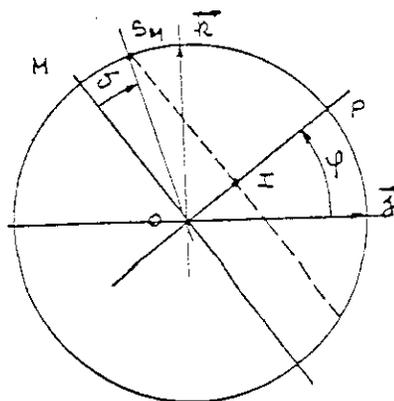
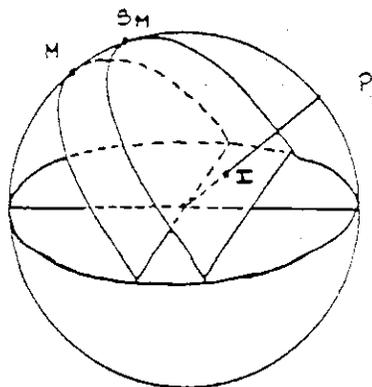
1 - Repère utilisé

Pour un lieu donné  $O$  on considère le repère orthonormé direct  $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$  ; la sphère céleste a pour rayon  $l$ .  $P$  est le Pôle céleste



2 - Position du "petit cercle diurne"

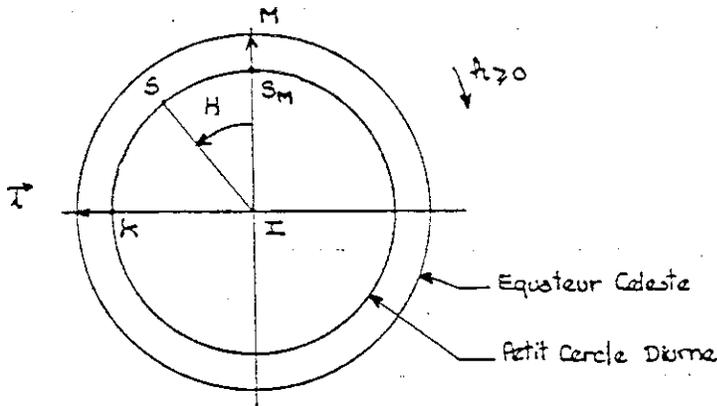
(cercle décrit par le soleil pour une date donnée)  
 $\psi$  est la latitude,  $\delta$  la déclinaison du soleil,  $S_M$  le passage du soleil au méridien.



$$\begin{array}{l|l} \vec{OP} & \begin{array}{l} 0 \\ \cos \varphi \\ \sin \varphi \end{array} \\ \hline \vec{OM} & \begin{array}{l} 0 \\ -\sin \varphi \\ \cos \varphi \end{array} \\ \hline \vec{OI} = \sin \delta \vec{OP} & \\ \hline \vec{OI} & \begin{array}{l} 0 \\ \sin \delta \cos \varphi \\ \sin \delta \sin \varphi \end{array} \end{array}$$

3 - Position du soleil sur ce "petit cercle diurne"

H est l'angle horaire du soleil :  $H = \langle \vec{IS}_M, \vec{IS} \rangle$  sens rétro.



4 - Position du soleil en fonction de  $\varphi$ , H et  $\delta$

$$\vec{IS}_M = \cos \delta \vec{OM} \text{ et } \vec{IK} = \cos \delta \vec{i} \text{ (cf. figures ci-dessus)}$$

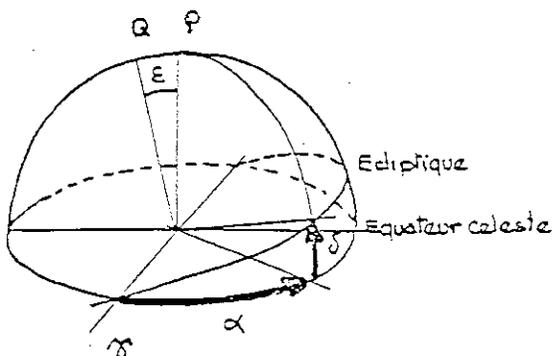
$$\begin{aligned} \vec{IS} &= \cos H \vec{IS}_M - \sin H \vec{IK} && \text{(cf. figures ci-dessus - attention à l'orientation de H !)} \\ &= \cos H \cos \delta \vec{OM} - \sin H \cos \delta \vec{i} \end{aligned}$$

$$\vec{IS} \begin{array}{l} - \sin H \cos \delta \\ - \cos H \cos \delta \sin \varphi \\ \cos H \cos \delta \cos \varphi \end{array}$$

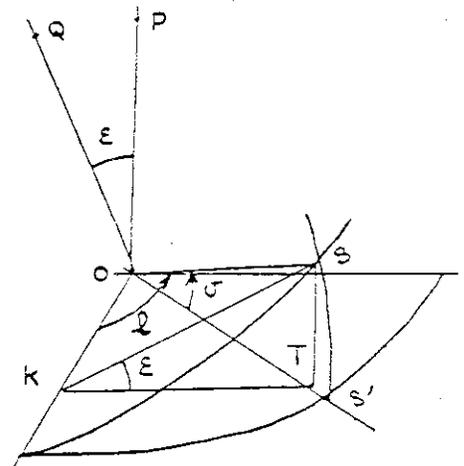
$$\vec{OS} = \vec{OI} + \vec{IS}$$

$$\vec{OS} \begin{array}{l} - \sin H \cos \delta \quad (1) \\ \sin \delta \cos \varphi - \cos H \cos \delta \sin \varphi \quad (2) \\ \sin \delta \sin \varphi + \cos H \cos \delta \cos \varphi \quad (3) \end{array}$$

5 - Variation de  $\delta$  avec la date



$\alpha$ : ascension droite,  $\delta$ : déclinaison



$$ST = \sin \delta \quad , \quad ST = SK \sin \epsilon \quad \text{et} \quad SK = \sin \ell \quad \Rightarrow \quad \sin \delta = \sin \ell \sin \epsilon$$

$$\sin \delta = \sin \ell \sin \epsilon$$

$\ell$  varie de  $360^\circ$  en 365.25 jours ; si  $n$  est le nombre de jours écoulés depuis le dernier équinoxe de printemps (S en  $\delta$  et  $\ell = 0$ ) alors :

$$\ell = n \times \frac{360}{365.25} \quad \text{ou} \quad \ell = n \times \frac{2\pi}{365.25}$$

Conclusion : la date donne  $n$  d'où l'on déduit  $\ell$  puis  $\delta$

## 6 - Application

### 6.1 - Durée du jour

Le soleil se lève si  $z = 0$

$$z = 0 \Leftrightarrow \sin \delta \sin \varphi + \cos H \cos \delta \cos \varphi = 0 \Leftrightarrow \cos H = -\text{tg} \delta \text{tg} \varphi \quad (4)$$

Remarque : on exclut  $\varphi = 90^\circ$

l'heure de lever est donc donnée par :

$$\begin{cases} \cos H = -\text{tg} \delta \text{tg} \varphi & (4) \\ H \in [-180, 0] \end{cases}$$

Remarques : - si  $\text{tg} \delta \text{tg} \varphi > 1$ , (4) n'a pas de solution, il n'y a pas de "levé" la durée du jour est de 24 heures

- si  $\text{tg} \delta \text{tg} \varphi < -1$ , (4) n'a pas de solution, il n'y a pas de "levé" la durée du jour est de 0 heures

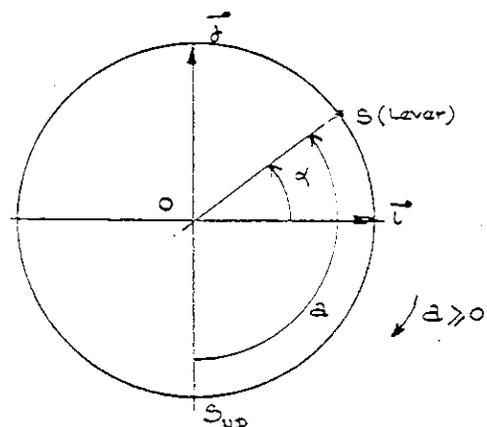
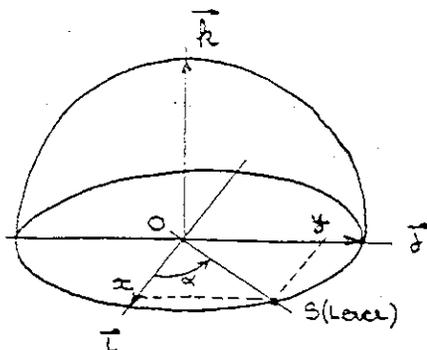
- Pour  $\varphi = 0$  on retrouve bien  $H = -90^\circ$

- Pour  $\delta = 0$  (Equinoxe) on retrouve bien  $H = -90^\circ$

La durée du jour sera donc  $2 |H|$  à convertir en heures

### 6.2 - Azimut du lever

$z = 0$  donne  $H$  ; (1) et (2) donnent  $x$  et  $y$  ;  $\text{tg} \alpha = \frac{y}{x}$  donne  $\alpha = \langle \vec{i}, \vec{OS} \rangle$



L'azimut du lever est l'angle  $a = \langle -\vec{j}, \vec{OS} \rangle$  orienté dans le sens indirect  
 $a = -(\alpha + 90^\circ)$

